

**PENGEMBANGAN MODEL SEKOLAH HIJAU (*GREEN SCHOOL*) PADA
PROGRAM KEAHLIAN TEKNIK OTOMOTIF DI SMK**



**Oleh:
WARJU
NIM 14702269005**

Disertasi ini ditulis untuk memenuhi sebagian persyaratan
untuk mendapatkan gelar Doktor Pendidikan

**PROGRAM STUDI S3 PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGEMBANGAN MODEL SEKOLAH HIJAU (*GREEN SCHOOL*) PADA
PROGRAM KEAHLIAN TEKNIK OTOMOTIF DI SMK

WARJU
NIM 14702269005

Dipertahankan di depan Dewan Penguji Disertasi
Program Pascasarjana Universitas Negeri Yogyakarta
Tanggal: 28 Juni 2018

DEWAN PENGUJI

Prof. Dr. Marsigit, M.A.
(Ketua/Penguji)

Dr. Zainal Arifin, M.T.
(Sekretaris/Penguji)

Prof. Slamet P.H., M.A., M.Ed., M.A., M.LHR., Ph.D.
(Pembimbing Utama/Penguji)

Prof. Soenarto, M.Sc., M.A., Ph.D.
(Pembimbing/Penguji)

Drs. Wardan Suyanto, M.A., Ed.D.
(Penguji)

Prof. Dr. Ir. Djoko Kustono, M.Pd.
(Penguji)

16/7/18

29/6-18

30/6-18

29/6-18

29/6-18

2/7-18

Yogyakarta, 28 JUN 2018

Program Pascasarjana

Universitas Negeri Yogyakarta

Direktur,



Prof. Dr. Marsigit, M.A.
NIP 195707191983031004

ABSTRAK, Warju, Pengembangan Model Sekolah Hijau (*Green School*) Pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK. Yogyakarta: Program Pascasarjana Universitas Negeri Yogyakarta, 2018

Salah satu usaha strategis untuk mengajarkan pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan adalah dengan mengimplementasikan program adiwiyata atau sekolah hijau (*green school*) melalui pendidikan formal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan model sekolah hijau (*green school*) yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.

Jenis penelitian adalah penelitian dan pengembangan (R&D). Prosedur penelitian dan pengembangan yang dipakai dalam penelitian ini mengikuti 10 tahapan yang dikembangkan oleh Borg & Gall (1983). Tempat penelitian di SMK Semen Gresik, Jawa Timur. Subyek penelitian adalah guru, siswa, tenaga kependidikan, dan petugas layanan khusus sekolah. Sedangkan obyek penelitian adalah mesin Toyota Kijang tipe 7K berteknologi *metallic catalytic converter*, mesin Isuzu C190 berteknologi *diesel particulate filter*, mesin Toyota Kijang tipe 5K berteknologi *eco-muffler*, dan *oil filter cleaner*. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui kuesioner, observasi, survei, eksperimen, dan dokumentasi. Untuk mendapatkan data yang valid dan reliabel digunakan peralatan dan instrumen penelitian seperti *exhaust gas analyzer*, *smoke opacity meter*, *sound level meter*, *fuel flow meter*, *stopwatch*, *thermocouple*, *digital thermometer*, *digital tachometer*, *U-tube manometer*, dan *blower*. Standar pengujian emisi gas buang berdasarkan SNI 09-7118.1-2005. Standar pengujian opasitas gas buang berdasarkan SNI 09-7118.2-2005. Standar pengujian tingkat kebisingan berdasarkan ISO/FDIS 5130:2006(E). Sedangkan standar pengujian konsumsi bahan bakar berdasarkan SNI 7554:2010. Teknik analisis data menggunakan metode deskriptif kuantitatif.

Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa: (1) model kajian lingkungan sekolah (KLS) disusun melalui survei tentang konsumsi bahan bakar di bengkel otomotif sekolah dan konsumsi bahan bakar untuk moda transportasi warga sekolah untuk menghitung potensi total beban emisi seperti CO, HC, NO_x, SO_x, PM, and CO₂ dalam ton/tahun. Selain itu, juga diperlukan survei tentang limbah oli yang dihasilkan oleh sekolah; (2) teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom dapat mereduksi emisi CO dan HC rata-rata sebesar 95,35% dan 79,28%; (3) teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* dapat mereduksi opasitas gas buang rata-rata sebesar 90,85%; (4) teknologi *eco-muffler* jenis *off-set tube type muffler* dapat mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 15,10%; (5) teknologi *oil filter cleaner* dapat mereduksi limbah oli rata-rata sebesar 12 liter/jam, 96 liter/hari, 1.920 liter/bulan, dan 35.040 liter/tahun; dan (6) model ideal sekolah hijau pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK yaitu sekolah melakukan 7 langkah pengembangan sekolah hijau, yaitu: (a) merujuk pada isu-isu lingkungan, baik isu global (SDGs, perubahan iklim, pemanasan global, bencana alam, dan lain-lain), isu nasional maupun isu lokal; (b) menyusun KLS, (c) melakukan analisis kebutuhan (*needs assessment*) tentang kebutuhan sarana ramah lingkungan; (d) mengembangkan teknologi otomotif ramah lingkungan untuk mereduksi emisi gas buang, opasitas, kebisingan, konsumsi bahan bakar, dan limbah oli; (e) melakukan uji coba terhadap teknologi otomotif ramah lingkungan yang dikembangkan; (f) mengukur efektivitas dan efisiensi terhadap teknologi otomotif yang dikembangkan agar produk efektif dan *applicable*; dan (g) membuat kebijakan berbasis lingkungan untuk memanfaatkan teknologi otomotif ramah lingkungan bagi seluruh warga sekolah.

Kata kunci: Sekolah hijau, kajian lingkungan sekolah, emisi gas buang, opasitas, tingkat kebisingan, konsumsi bahan bakar, limbah oli

ABSTRACT, Warju, *Developing a Model of Green School in Automotive Engineering Study Program at Vocational High School. Yogyakarta: Graduate School Yogyakarta State University, 2018*

One of the strategic efforts to teach education for sustainable development is implementing a green school or an *adiwiyata* school program through formal education. The purpose of this research was to develop the appropriate green school model in automotive engineering study program at vocational high schools.

This research was a research and development (R & D) using ten stages developed by Borg & Gall (1983). The research was conducted at SMK Semen Gresik, East Java. The subjects of the study were teachers, students, administration staff, and school-specific service personnel. While the objects of research were Toyota Kijang type 7K engine equipped with a metallic catalytic converter, Isuzu C190 diesel engine equipped with diesel particulate filter, Toyota Kijang type 5K engine equipped with eco-muffler, and oil filter cleaner. Data were collected through questionnaires, observations, surveys, experiments, and documentation. To obtain valid and reliable data, research equipment and instruments such as exhaust gas analyzer, smoke opacity meter, sound level meter, fuel flow meter, stopwatch, thermocouple, digital thermometer, digital tachometer, U-tube manometer, and blower were used. The standard of exhaust gas emission testing was based on SNI 09-7118.1-2005. The standard of exhaust gas opacity testing was based on SNI 09-7118.2-2005. The standard of noise level testing was based on ISO/FDIS 5130:2006(E). While the standard of fuel consumption test was based on SNI 7554:2010. Data were analyzed by using the quantitative descriptive method.

From the results of the study it is concluded that: (1) the school environmental assessment (SEA) model should be prepared through a survey of fuel consumption in the school automotive workshop and fuel consumption for the schoolmakers' modes of transport to calculate the potential of total emissions load such as CO, HC, NO_x, SO_x, PM, and CO₂ in ton/year. In addition, a survey of school-produced oil waste was also required; (2) metallic catalytic converter technology of chrome-coated copper plate could reduce CO and HC emissions on average by 95.35% and 79.28%; (3) DPF technology based on stainless steel plate and 130 gr glasswool could reduce exhaust gas opacity on average 90.85%; (4) an off-set tube type muffler (eco-muffler) technology could reduce vehicle noise by an average of 15.10%; (5) oil filter cleaner technology could reduce the average oil waste of 12 liters/hour, 96 liters/day, 1.920 liters/month, and 35.040 liters/year; and (6) the green school ideal model in automotive engineering study program at vocational high school is by doing seven steps green school development, that is: (a) referring to environmental issues, both global issues (SDGs, climate change, global warming, natural disaster, etc.), national issues and local issues; (b) preparing a school environmental assessment, (c) conducting needs assessment of the needs of environmentally friendly means; (d) developing environmentally friendly automotive technology to reduce exhaust gas emissions, opacity, noise, fuel consumption, and oil waste; (e) conducting trials on environmentally friendly automotive technologies developed; (f) measuring the effectiveness and efficiency of automotive technology developed for effective and applicable products; and (g) creating an environment-based policy to utilize environmentally friendly automotive technology for all school residents.

Keywords: *Green school, school environmental assessment, exhaust gas emissions, opacity, noise level, fuel consumption, oil waste*

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa : Warju

Nomor Mahasiswa : 14702269005

Program Studi : Pendidikan Teknologi dan Kejuruan

Dengan ini menyatakan bahwa disertasi ini merupakan hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar doktor di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya dalam disertasi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 19 Januari 2018

Yang membuat pernyataan,



Warju

NIM 14702269005

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat limpahan rahmat, hidayah, inayah dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi ini. Disertasi ini ditulis sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Doktor Pendidikan di Universitas Negeri Yogyakarta.

Dalam disertasi ini, telah dikembangkan model sekolah hijau (*green school*) yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) dengan cara melakukan penyusunan kajian lingkungan sekolah (KLS), melakukan analisis kebutuhan (*needs assessment*) tentang sarana ramah lingkungan di sekolah berdasarkan survey di DU/DI, pengembangan teknologi otomotif ramah lingkungan, dan pengujian teknologi otomotif ramah lingkungan di sekolah untuk menilai efektivitas dan efisiensi produk yang telah dikembangkan.

Keberhasilan penulisan disertasi ini tentu tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Prof. Slamet P.H., M.A., M.Ed., M.A., M.LHR., Ph.D. selaku Pembimbing Utama disertasi yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
2. Bapak Prof. Soenarto, M.Sc., M.A., Ph.D. selaku Pembimbing disertasi sekaligus Ketua Program Studi S3 Pendidikan Teknologi dan Kejuruan yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
3. Bapak Prof. Pardjono, M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji proposal disertasi, penguji dalam ujian kelayakan disertasi sekaligus dosen Mata Kuliah Studi Mandiri (Artikel Ilmiah dan Presentasi Bahasa Inggris) yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
4. Bapak Prof. Kumaidi, Ph.D. selaku dosen penguji proposal disertasi yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.

5. Bapak Dr. Zainal Arifin, M.T. selaku dosen penguji proposal disertasi sekaligus penguji dalam ujian hasil penelitian disertasi yang selalu memberikan literatur, bimbingan, dan arahan kepada penulis.
6. Bapak Dr. Sukoco, M.Pd. selaku dosen penguji proposal disertasi yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
7. Bapak Prof. Sukardi, M.Ed., Ph.D. selaku dosen Mata Kuliah Seminar Proposal Disertasi yang selalu memberikan saran dan arahan kepada penulis.
8. Bapak Prof. Dr. Marsigit, M.A. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Negeri Yogyakarta sekaligus penguji dalam ujian hasil penelitian disertasi yang selalu memberikan saran dan arahan kepada penulis.
9. Bapak Prof. Dr. Zuhdan Kun Prasetyo, M.Ed. selaku mantan Direktur Program Pascasarjana Universitas Negeri Yogyakarta yang selalu memberikan saran dan arahan kepada penulis untuk mengikuti *Sandwich-like Program* tahun 2016 di Technische Universität Dresden (TUD), Jerman.
10. Bapak Dr. Moch. Bruri Triyono, M.Pd. selaku mantan Direktur Program Pascasarjana Universitas Negeri Yogyakarta sekaligus penguji dalam ujian kelayakan disertasi yang selalu memberikan saran dan arahan kepada penulis untuk mengikuti *Sandwich-like Program* tahun 2016 di Technische Universität Dresden (TUD), Jerman.
11. Bapak Prof. Dr. Djoko Kustono, M.Pd. dari Universitas Negeri Malang (UM) selaku penguji dalam ujian hasil penelitian disertasi yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran untuk perbaikan disertasi.
12. Bapak Wardan Suyanto, Ed.D selaku penguji dalam ujian hasil penelitian disertasi yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran untuk perbaikan disertasi.
13. Bapak Dr. Putu Sudira, M.P selaku Sekretaris Program Studi S3 Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Program Pascasarjana UNY.
14. Bapak-bapak Tim Reviewer Ujian Kelayakan Disertasi Program Studi S3 Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan masukan dan saran kepada penulis.

15. Bapak-bapak penguji disertasi Program Studi S3 Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Program Pascasarjana Universitas Negeri Yogyakarta yang selalu memberikan saran dan arahan kepada penulis.
16. Bapak-bapak dosen pengajar di Program Studi S3 Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Program Pascasarjana UNY.
17. Bapak Drs. Setiyo Budi selaku Kepala Sekolah SMK Semen Gresik, Jawa Timur yang telah memberikan ijin penelitian di sekolah.
18. Bapak Drs. H. Murtadlo selaku Ketua Kompetensi Keahlian Teknik Kendaraan Ringan (TKR) SMK Semen Gresik yang telah membantu dalam proses pengambilan data.
19. Bapak Moh. Basjir, S.Pd selaku Kepala Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik yang telah membantu dalam proses pengambilan data.
20. Bapak/Ibu guru, tenaga kependidikan, dan petugas layanan khusus di SMK Semen Gresik yang telah membantu mengisi kuesioner perhitungan beban emisi.
21. Sudirman Rizki Ariyanto, A.Md., S.Pd. dan Dian Wahyuni, S.Pd. selaku mahasiswa Prodi S2 Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Universitas Negeri Surabaya yang telah membantu dalam proses pengambilan data di sekolah.
22. Dimas Dwi Utomo selaku mahasiswa Prodi DIII Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya yang telah membantu dalam proses pengambilan data di sekolah.
23. Syahrul Gunawan selaku mahasiswa Prodi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya yang telah membantu dalam proses pengambilan data di sekolah.
24. Siswa-siswa SMK Semen Gresik yang telah membantu dalam proses pengambilan data dan mengisi kuesioner perhitungan beban emisi.
25. Bapak dan Ibu mahasiswa Prodi S3 PTK *Joint Degree* Universitas Negeri Yogyakarta angkatan 2014, dan
26. Pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu di sini.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritikan dan saran dari pembaca sangat diharapkan demi sempurnanya disertasi ini.

Akhirnya, hanya Allah SWT yang mampu memberi petunjuk dan imbalan kepada kita semua. Semoga disertasi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak untuk pengembangan sekolah adiwiyata (*green school*) di Indonesia. Aamiin.

Yogyakarta, Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERSETUJUAN | ii |
| ABSTRAK | iii |
| ABSTRACT | iv |
| PERNYATAAN KEASLIAN KARYA | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | x |
| DAFTAR TABEL | xviii |
| DAFTAR GAMBAR | xxiii |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| A. Latar Belakang Masalah | 1 |
| B. Identifikasi Masalah | 23 |
| C. Pembatasan Masalah | 25 |
| D. Rumusan Masalah | 26 |
| E. Tujuan Pengembangan | 27 |
| F. Spesifikasi Produk yang Dikembangkan | 27 |
| G. Manfaat Pengembangan | 29 |
| 1. Manfaat Teoritis | 29 |
| 2. Manfaat Praktis | 29 |
| H. Asumsi Pengembangan | 31 |
| | |
| BAB II KAJIAN PUSTAKA | 32 |
| A. Pembangunan Berkelanjutan (<i>Sustainable Development</i>) | 32 |
| 1. Definisi Pembangunan Berkelanjutan | 32 |
| 2. Landasan Hukum Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia ... | 36 |
| 3. Prinsip-prinsip Pembangunan Berkelanjutan | 38 |
| B. Sekolah Hijau (<i>Green School</i>) | 40 |
| 1. Sejarah Program Adiwiyata | 40 |
| 2. Pengertian Sekolah Hijau (<i>Green School</i>) | 42 |
| 3. Pengertian dan Tujuan Program Adiwiyata | 45 |
| 4. Manfaat Penerapan Sekolah Adiwiyata (<i>Green School</i>) | 48 |
| 5. Karakteristik Umum Sekolah Adiwiyata (<i>Green School</i>) | 51 |
| 6. Komponen Sekolah Adiwiyata (<i>Green School</i>) | 53 |
| a. Kebijakan Berwawasan Lingkungan | 53 |
| b. Pelaksanaan Kurikulum Berbasis Lingkungan | 54 |
| c. Kegiatan Lingkungan Berbasis Partisipatif | 55 |
| d. Pengelolaan Sarana Pendukung Ramah Lingkungan | 55 |
| 7. Petunjuk Teknis Sekolah Adiwiyata di Indonesia | 56 |
| C. Pendidikan Lingkungan Hidup | 65 |
| 1. Sejarah Pendidikan Lingkungan Hidup | 65 |
| 2. Pengertian Pendidikan Lingkungan Hidup | 67 |
| 3. Dasar Hukum Pendidikan Lingkungan Hidup | 69 |

| | |
|---|-----|
| 4. Aspek Pendidikan Lingkungan Hidup | 70 |
| 5. Kepedulian Lingkungan | 71 |
| D. Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) | 72 |
| 1. Kajian Lingkungan Sekolah (KLS) | 75 |
| E. Sistem Manajemen Lingkungan..... | 78 |
| 1. Latar Belakang ISO 14000 | 79 |
| 2. ISO 14000 | 80 |
| 3. ISO 14001 | 81 |
| F. Dampak Pencemaran Air Terhadap Kesehatan dan Lingkungan ... | 82 |
| 1. Pencemaran Air | 83 |
| 2. Indikator Pencemaran Air | 83 |
| 3. Bahan Pencemar Air | 84 |
| 4. Dampak Pencemaran Air | 85 |
| G. Teknologi Ramah Lingkungan Pengelolaan Limbah Cair | 86 |
| 1. Pembersih Filter Oli (<i>Oil Filter</i>) | 86 |
| H. Dampak Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Terhadap Kesehatan dan Lingkungan | 89 |
| 1. Sumber Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor | 92 |
| 2. Karbon Monoksida (CO) | 93 |
| 3. Hidrokarbon (HC) | 94 |
| 4. Nitrogen Oksida (NO _x) | 95 |
| I. Teknologi Reduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor | 98 |
| 1. <i>Catalytic Converter</i> | 106 |
| a. Fungsi <i>Catalytic Converter</i> | 107 |
| b. Bahan <i>Catalytic Converter</i> | 107 |
| c. Jenis <i>Catalytic Converter</i> | 108 |
| d. Konstruksi <i>Three Way Catalytic Converter</i> | 110 |
| e. Prinsip Kerja <i>Catalytic Converter</i> | 113 |
| 2. <i>Diesel Particulate Trap/Diesel Particulate Filter</i> | 117 |
| a. Prinsip Kerja Penjebak Partikulat | 119 |
| b. Jenis Penjebak Partikulat Pada Mesin Diesel | 122 |
| 3. <i>Thermal Reactor</i> | 124 |
| a. Cara Mereduksi Emisi CO dan HC | 125 |
| b. Mengenal Teknologi <i>Thermal Reactor</i> | 127 |
| c. Aplikasi <i>Thermal Reactor</i> Pada Mobil | 129 |
| d. Persyaratan <i>Thermal Reactor</i> Untuk Mereduksi Emisi CO dan HC | 129 |
| J. Dampak Kebisingan Terhadap Pendengaran | 131 |
| 1. Pengertian dan Jenis Kebisingan | 131 |
| 2. <i>Sound Level Meter</i> (SLM) | 134 |
| 3. Pengukuran Tingkat Kebisingan | 135 |
| 4. Intensitas dan Baku Mutu Kebisingan | 137 |
| K. Teknologi Pengendalian Kebisingan | 141 |
| L. <i>Muffler</i> | 142 |
| 1. Prinsip Kerja <i>Muffler</i> | 145 |
| 2. <i>Back Pressure</i> Pada <i>Muffler</i> | 145 |

| | |
|--|------------|
| 3. Kriteria Desain <i>Muffler</i> | 146 |
| 4. Jenis <i>Muffler</i> dan Aliran Gas Buang | 147 |
| 5. Tipe <i>Muffler</i> | 149 |
| M. Pengertian Pendidikan Kejuruan | 151 |
| N. Program Keahlian Teknik Otomotif | 156 |
| O. Dalil Pendidikan Kejuruan | 159 |
| P. Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) ... | 163 |
| 1. Aspek Hukum | 164 |
| 2. Aspek Perlindungan Tenaga Kerja | 166 |
| 3. Aspek Ekonomi | 167 |
| 4. Aspek Pengendalian Kerugian | 167 |
| 5. Aspek Sosial | 168 |
| 6. Pengertian SMK3 | 168 |
| 7. Tujuan SMK3 | 169 |
| Q. Kajian Penelitian yang Relevan | 170 |
| 1. Penelitian Tentang Sekolah Hijau (<i>Green School</i>) | 170 |
| 2. Penelitian Tentang <i>Catalytic Converter</i> | 175 |
| 3. Penelitian Tantang <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) | 179 |
| 4. Penelitian Tentang <i>Thermal Reactor</i> | 185 |
| 5. Penelitian Tentang <i>Eco-Muffler</i> | 186 |
| R. Model Lama Sekolah Adiwiyata (<i>Green School</i>) di SMK | 189 |
| S. Kerangka Berfikir | 191 |
| T. Pertanyaan Penelitian | 197 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 198 |
| A. Jenis Penelitian | 198 |
| B. Tempat dan Waktu Penelitian | 199 |
| 1. Tempat | 199 |
| 2. Waktu | 203 |
| C. Subyek Penelitian | 203 |
| D. Prosedur Pengembangan..... | 204 |
| 1. <i>Research and Information Collecting</i> | 204 |
| 2. <i>Planning</i> | 205 |
| 3. <i>Develop Preliminary Form of Product</i> | 205 |
| 4. <i>Preliminary Field Testing</i> | 206 |
| 5. <i>Main Product Revision</i> | 206 |
| 6. <i>Main Field Testing</i> | 206 |
| 7. <i>Operational Product Revision</i> | 206 |
| 8. <i>Operational Field Testing</i> | 206 |
| 9. <i>Final Product Revision</i> | 207 |
| 10. <i>Dissemination and Implementation</i> | 207 |
| E. Diagram Alur Penelitian dan Pengembangan | 208 |
| 1. Studi Pendahuluan | 209 |
| 2. Pengembangan Prototipe | 211 |
| 3. Uji Lapangan | 213 |
| 4. Diseminasi Produk Hasil Pengembangan | 217 |

| | |
|--|-----|
| F. Pengembangan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> | 217 |
| 1. Pengukuran Dimensi Knalpot Standar Toyota Kijang 7K | 217 |
| 2. Perancangan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Berbahan Dasar Plat Kuningan | 218 |
| 3. Perancangan <i>Metallic Catalytic Converter Casing</i> | 221 |
| 4. Perancangan Penempatan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Pada Knalpot Eksperimen Toyota Kijang Tipe 7K | 223 |
| G. Pengembangan Teknologi <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) | 224 |
| 1. Pengukuran Dimensi Knalpot Standar Mesin Isuzu C190 | 224 |
| 2. Perancangan DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> | 226 |
| 3. Perancangan <i>Diesel Particulate Filter Casing</i> | 231 |
| 4. Perancangan Penempatan <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> Pada Knalpot Eksperimen Mesin Isuzu C190 | 234 |
| H. Pengembangan Teknologi <i>Muffler</i> Ramah Lingkungan (<i>Eco-Muffler</i>) | 235 |
| I. Pengembangan Teknologi <i>Oil Filter Cleaner</i> | 239 |
| J. Variabel Penelitian | 242 |
| 1. Variabel Bebas (<i>Stimulus Variable</i>) | 242 |
| 2. Variabel Terikat (<i>Dependent Variable</i>) | 243 |
| 3. Variabel Kontrol | 244 |
| K. Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data | 244 |
| 1. Kuesioner | 245 |
| 2. Pengamatan (Observasi) | 245 |
| 3. Wawancara | 246 |
| 3. Survei | 246 |
| 4. Eksperimen..... | 247 |
| 5. Dokumentasi | 248 |
| L. Metode Pengujian | 256 |
| 1. Pengujian Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar Bensin Berdasarkan Standar SNI 09-7118.1-2005 | 256 |
| 2. Pengujian Opasitas Gas Buang Kendaraan Bernahan Bakar Solar Berdasarkan Standar SNI 09-7118.2-2005 | 257 |
| 3. Pengujian Tingkat Kebisingan Berdasarkan Standar ISO/FDIS 5130:2006(E) | 257 |
| 4. Pengujian Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Standar SNI 7554:2010 | 257 |
| M. Prosedur Pengujian | 258 |
| 1. Persiapan Pengujian Emisi Gas Buang | 258 |
| 2. Pengujian Emisi Gas Buang | 258 |
| 3. Akhir Pengujian Emisi Gas Buang | 259 |
| 4. Persiapan Pengujian Opasitas Gas Buang | 260 |
| 5. Pelaksanaan Pengujian Opasitas Gas Buang | 260 |
| 6. Akhir Pengujian Opasitas Gas Buang | 261 |
| 7. Persiapan Pengujian Tingkat Kebisingan | 262 |

| | |
|---|------------|
| 8. Pelaksanaan Pengujian Tingkat Kebisingan | 262 |
| 9. Akhir Pengujian Tingkat Kebisingan | 263 |
| 10. Persiapan Pengujian Konsumsi Bahan Bakar | 263 |
| 11. Pengujian Konsumsi Bahan Bakar | 263 |
| 12. Akhir Pengujian Konsumsi Bahan Bakar | 264 |
| 13. Persiapan Pengujian <i>Oil Filter Cleaner</i> | 264 |
| 14. Pengujian <i>Oil Filter Cleaner</i> | 264 |
| 15. Akhir Pengujian <i>Oil Filter Cleaner</i> | 265 |
| N. Validitas dan Reliabilitas Data Kuantitatif | 266 |
| O. Keabsahan Data | 267 |
| 1. Pengecekan Anggota (<i>Member Check</i>) | 267 |
| 2. Triangulasi (Cek dan Ricek Data) | 268 |
| P. Teknik Analisis Data | 268 |
| BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN | 272 |
| A. Hasil Pengembangan Produk Awal | 272 |
| 1. Data Hasil Uji Coba Awal (<i>Preliminary Field Testing</i>) | 299 |
| a. Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan Terhadap Reduksi Emisi Gas Buang, Kebisingan dan Konsumsi Bahan Bakar | 299 |
| b. Kemampuan Teknologi <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> Terhadap Reduksi Opasitas, Kebisingan, dan Konsumsi Bahan Bakar | 302 |
| c. Kemampuan Teknologi <i>Straight-Through Type Muffler</i> Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan | 304 |
| d. Kemampuan Teknologi <i>Oil Filter Cleaner</i> Terhadap Reduksi Limbah Oli | 306 |
| 2. Data Hasil Uji Lapangan Utama (<i>Main Field Testing</i>) | 307 |
| a. Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Terhadap Reduksi Emisi Gas Buang, Kebisingan dan Konsumsi Bahan Bakar | 307 |
| b. Kemampuan Teknologi <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> Terhadap Reduksi Opasitas, Kebisingan, dan Konsumsi Bahan Bakar | 308 |
| c. Kemampuan Teknologi <i>Three Pass Tube Type Muffler</i> Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan | 309 |
| d. Kemampuan Teknologi <i>Oil Filter Cleaner</i> Terhadap Reduksi Limbah Oli | 311 |
| 3. Data Hasil Uji Lapangan Operasional (<i>Operational Field Testing</i>) | 311 |
| a. Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom Terhadap Reduksi Emisi Gas Buang, Kebisingan dan Konsumsi Bahan Bakar | 311 |
| b. Kemampuan Teknologi <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) | |

| | |
|--|-----|
| Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> Terhadap Reduksi Opasitas, Kebisingan, dan Konsumsi Bahan Bakar | 313 |
| c. Kemampuan Teknologi <i>Off-Set Tube Type Muffler</i> Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan | 314 |
| d. Kemampuan Teknologi <i>Oil Filter Cleaner</i> Terhadap Reduksi Limbah Oli | 315 |
| B. Hasil Uji Coba Produk..... | 316 |
| 1. Analisis dan Pembahasan Model Kajian Lingkungan Sekolah (KLS) yang Tepat Pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK | 316 |
| 2. Analisis dan Pembahasan Hasil Uji Coba Awal (<i>Preliminary Field Testing</i>) | 323 |
| a. Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan Terhadap Reduksi Emisi Karbon Monoksida | 323 |
| b. Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan Terhadap Peningkatan Emisi Karbondioksida | 335 |
| c. Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan Terhadap Reduksi Emisi Hidrokarbon | 341 |
| d. Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan | 352 |
| e. Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan Terhadap Reduksi Konsumsi Bahan Bakar..... | 356 |
| f. Kemampuan Teknologi <i>Diesel Particulate Filter (DPF)</i> Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> Terhadap Reduksi Opasitas Gas Buang Mesin Diesel..... | 362 |
| g. Kemampuan Teknologi <i>Diesel Particulate Filter (DPF)</i> Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan | 367 |
| h. Kemampuan Teknologi <i>Diesel Particulate Filter (DPF)</i> Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> Terhadap Reduksi Konsumsi Bahan Bakar | 372 |
| i. Kemampuan Teknologi <i>Straight-Through Type Muffler</i> Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan | 378 |
| j. Kemampuan Teknologi <i>Oil Filter Cleaner</i> Terhadap Reduksi Limbah Oli | 386 |
| 3. Revisi Produk Utama (<i>Main Product Revision</i>) | 389 |
| a. <i>Metallic Catalytic Converter</i> | 389 |
| b. <i>Diesel Particulate Filter (DPF)</i> | 392 |
| c. <i>Eco-Muffler</i> | 393 |
| d. <i>Oil Filter Cleaner</i> | 395 |
| 4. Analisis dan Pembahasan Hasil Uji Lapangan Utama (<i>Main Field Testing</i>) | 396 |
| a. Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Terhadap Reduksi Emisi Karbon Monoksida | 396 |
| b. Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat | |

| | | |
|----|---|-----|
| | Tembaga Terhadap Peningkatan Emisi Karbondioksida | 409 |
| c. | Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Terhadap Reduksi Emisi Hidrokarbon | 415 |
| d. | Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan | 425 |
| e. | Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Terhadap Reduksi Konsumsi Bahan Bakar..... | 430 |
| f. | Kemampuan Teknologi <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> Terhadap Reduksi Opasitas Gas Buang Mesin Diesel..... | 435 |
| g. | Kemampuan Teknologi <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan | 441 |
| h. | Kemampuan Teknologi <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> Terhadap Reduksi Konsumsi Bahan Bakar | 445 |
| i. | Kemampuan Teknologi <i>Three Pass Tube Type Muffler</i> Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan | 452 |
| j. | Kemampuan Teknologi <i>Oil Filter Cleaner</i> Terhadap Reduksi Limbah Oli | 458 |
| 5. | Revisi Produk Operasional (<i>Operational Product Revision</i>) | 461 |
| a. | <i>Metallic Catalytic Converter</i> | 461 |
| b. | <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) | 463 |
| c. | <i>Eco-Muffler</i> | 464 |
| d. | <i>Oil Filter Cleaner</i> | 467 |
| 6. | Analisis dan Pembahasan Hasil Uji Lapangan Operasional (<i>Operational Field Testing</i>) | 468 |
| a. | Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom Terhadap Reduksi Emisi Karbon Monoksida | 468 |
| b. | Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom Terhadap Peningkatan Emisi Karbondioksida | 481 |
| c. | Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis krom Terhadap Reduksi Emisi Hidrokarbon | 489 |
| d. | Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan | 500 |
| e. | Kemampuan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom Terhadap Reduksi Konsumsi Bahan Bakar | 504 |
| f. | Kemampuan Teknologi <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> Terhadap Reduksi Opasitas Gas Buang Mesin Diesel..... | 511 |
| g. | Kemampuan Teknologi <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) | |

| | | |
|--------------|---|-----|
| | Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan | 517 |
| h. | Kemampuan Teknologi <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> Terhadap Reduksi Konsumsi Bahan Bakar | 522 |
| i. | Kemampuan Teknologi <i>Off-Set Tube Type Muffler</i> Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan | 528 |
| j. | Kemampuan Teknologi <i>Oil Filter Cleaner</i> Terhadap Reduksi Limbah Oli | 536 |
| C. | Revisi Produk Akhir (<i>Final Product Revision</i>) | 540 |
| | 1. <i>Metallic Catalytic Converter</i> | 540 |
| | 2. <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) | 542 |
| | 3. <i>Eco-Muffler</i> | 543 |
| | 4. <i>Oil Filter Cleaner</i> | 545 |
| D. | Kajian Produk Akhir | 546 |
| | 1. Model Kajian Lingkungan Sekolah (KLS) yang Tepat di SMK | 546 |
| | 2. <i>Metallic Catalytic Converter</i> | 548 |
| | 3. <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) | 550 |
| | 4. <i>Eco-Muffler</i> | 551 |
| | 5. <i>Oil Filter Cleaner</i> | 553 |
| | 6. Model Ideal Sekolah Hijau (<i>Green School</i>) Pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK | 554 |
| | a. Merujuk Pada Isu-isu Lingkungan | 554 |
| | b. Menyusun Kajian Lingkungan Sekolah (KLS) yang Tepat di Sekolah | 557 |
| | c. Melakukan Analisis Kebutuhan (<i>Needs Assessment</i>)..... | 558 |
| | d. Mengembangkan Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan | 558 |
| | e. Melakukan Uji Coba Terhadap Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan yang Telah Dikembangkan | 560 |
| | f. Mengukur Efektivitas dan Efisiensi Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan yang Telah Dikembangkan | 563 |
| | g. Membuat Kebijakan Berbasis Lingkungan Untuk Meman- faatkan Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan yang Telah Dikembangkan Bagi Seluruh Warga Sekolah | 566 |
| | 7. Panduan Penggunaan Model Sekolah Hijau (<i>Green School</i>) Pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK | 576 |
| E. | Keterbatasan Penelitian | 576 |
| BAB V | SIMPULAN DAN SARAN | 579 |
| | A. Simpulan tentang Produk | 579 |
| | B. Saran Pemanfaatan Produk | 587 |
| | C. Diseminasi dan Pengembangan Produk Lebih Lanjut | 593 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 600 |
| | DAFTAR LAMPIRAN | 616 |

DAFTAR TABEL

| Nomor Tabel: | Halaman |
|--|---------|
| 1. Kategori Kendaraan Bermotor, Teknologi Mesin, Jumlah Kendaraan Bermotor, Total Jarak Tempuh Tahunan, dan Total Konsumsi Bahan Bakar Tahunan..... | 77 |
| 2. Bahan Pencemar Air dan Dampaknya Terhadap Kesehatan | 86 |
| 3. Emisi Gas Buang, Sifat, Sumber Penyebab, dan Dampaknya | 91 |
| 4. Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama | 103 |
| 5. Intensitas Kebisingan..... | 138 |
| 6. Baku Mutu Kebisingan Berdasarkan ISO Recommendation – R 1996.... | 139 |
| 7. Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru | 140 |
| 8. Alokasi Waktu Mata Pelajaran di SMK | 157 |
| 9. Struktur Kurikulum SMK | 158 |
| 10. Perbedaan Antara Elemen-elemen Desain Sekolah Hijau..... | 170 |
| 11. Daftar ATPM dan Bengkel Otomotif yang Disurvei | 210 |
| 12. Konsumsi Bahan Bakar Premium di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik..... | 274 |
| 13. Konsumsi Bahan Bakar Solar di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik..... | 275 |
| 14. Konsumsi Bahan Bakar Premium dan Solar Kendaraan Bermotor Warga Sekolah di SMK Semen Gresik | 276 |
| 15. Total Konsumsi Bahan Bakar/Tahun di SMK Semen Gresik | 277 |
| 16. Limbah Saringan Oli Mesin Bekas (<i>Used Oil Filter</i>) di SMK Semen Gresik..... | 278 |
| 17. Hasil Survey Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan di ATPM dan Bengkel Otomotif | 279 |
| 18. Hasil Survey Sarana dan Prasarana Ramah Lingkungan di SMK Semen Gresik..... | 280 |
| 19. Kebutuhan Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan yang Akan Dikembangkan di SMK Semen Gresik | 281 |
| 20. Data Kualitatif Hasil Wawancara Tentang Teknologi <i>Catalytic Converter</i> | 282 |
| 21. Data Kualitatif Hasil Wawancara Tentang Teknologi <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) | 286 |
| 22. Data Kualitatif Hasil Wawancara Tentang Teknologi <i>Eco-Muffler</i> | 291 |
| 23. Data Kualitatif Hasil Wawancara Tentang Teknologi <i>Oil Filter Cleaner</i> | 296 |
| 24. Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Standar Pada Mesin Toyota Kijang Tipe 7K di SMK Semen Gresik | 300 |
| 25. Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Berbahan Dasar Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik | 301 |
| 26. Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Standar Pada Mesin Diesel Isuzu C190 di SMK Semen Gresik | 302 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 27. | Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Diesel Isuzu C190 Berteknologi DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik | 303 |
| 28. | Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Standar Mesin Toyota Kijang Tipe 5K di SMK Semen Gresik | 304 |
| 29. | Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Penggunaan <i>Straight-Through Type Muffler</i> di SMK Semen Gresik | 305 |
| 30. | Data Rata-rata Hasil Pengujian <i>Oil Filter Cleaner</i> Dengan Temperatur Air 90°C di SMK Semen Gresik | 306 |
| 31. | Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Berbahan Dasar Plat Tembaga (Cu) di SMK Semen Gresik | 307 |
| 32. | Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Diesel Isuzu C190 Berteknologi DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik | 308 |
| 33. | Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Penggunaan <i>Three Pass Tube Type Muffler</i> di SMK Semen Gresik | 310 |
| 34. | Data Rata-rata Hasil Pengujian <i>Oil Filter Cleaner</i> Dengan Temperatur Air 80°C di SMK Semen Gresik | 311 |
| 35. | Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Berbahan Dasar Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) di SMK Semen Gresik..... | 312 |
| 36. | Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Diesel Isuzu C190 Berteknologi DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik | 313 |
| 37. | Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Penggunaan <i>Off-Set Tube Type Muffler</i> di SMK Semen Gresik..... | 314 |
| 38. | Data Rata-rata Hasil Pengujian <i>Oil Filter Cleaner</i> di SMK Semen Gresik Dengan Temperatur Air 85°C di SMK Semen Gresik | 315 |
| 39. | Faktor Emisi Untuk Kategori Sekolah | 319 |
| 40. | Estimasi Total Beban Emisi di SMK Semen Gresik | 320 |
| 41. | Reduksi Emisi CO Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik | 323 |
| 42. | Reduksi Emisi O ₂ Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik | 326 |
| 43. | Perbandingan Hasil Uji Emisi CO antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan | 333 |
| 44. | Peningkatan Emisi CO ₂ Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota | |

| | | |
|-----|--|-----|
| | Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik | 335 |
| 45. | Reduksi Emisi HC Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik | 342 |
| 46. | Perbandingan Hasil Uji Emisi HC antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan | 350 |
| 47. | Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik | 352 |
| 48. | Reduksi Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik | 356 |
| 49. | Reduksi Opasitas Gas Buang Mesin Isuzu C190 Dengan Menggunakan DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik..... | 362 |
| 50. | Perbandingan Hasil Uji Opasitas Gas Buang Mesin Isuzu C190 Dengan Menggunakan DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> | 366 |
| 51. | Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Isuzu C190 Dengan Penggunaan DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik | 368 |
| 52. | Reduksi Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Isuzu C190 Dengan Penggunaan DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik | 372 |
| 53. | Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Penggunaan <i>Straight-Through Type Muffler</i> dan 1000 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik | 379 |
| 54. | Perbandingan Hasil Uji Kebisingan antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Teknologi <i>Straight-Through Type Muffler</i> dan 1000 gr <i>Glasswool</i> | 384 |
| 55. | Reduksi Limbah Oli Dengan Penggunaan Teknologi <i>Oil Filter Cleaner</i> Pada Temperatur Air 90°C di SMK Semen Gresik | 387 |
| 56. | Reduksi Emisi CO Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) di SMK Semen Gresik | 397 |
| 57. | Reduksi Emisi O ₂ Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) di SMK Semen Gresik | 400 |
| 58. | Perbandingan Hasil Uji Emisi CO antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga | 407 |
| 59. | Peningkatan Emisi CO ₂ Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) di SMK Semen Gresik..... | 409 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 60. | Reduksi Emisi HC Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) di SMK Semen Gresik..... | 416 |
| 61. | Perbandingan Hasil Uji Emisi HC antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga | 423 |
| 62. | Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) di SMK Semen Gresik | 426 |
| 63. | Reduksi Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) di SMK Semen Gresik | 430 |
| 64. | Reduksi Opasitas Gas Buang Mesin Isuzu C190 Dengan Menggunakan DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik | 436 |
| 65. | Perbandingan Hasil Uji Opasitas Gas Buang Mesin Isuzu Dengan Menggunakan DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> | 439 |
| 66. | Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Isuzu C190 Dengan Penggunaan DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik..... | 441 |
| 67. | Reduksi Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Isuzu C190 Dengan Penggunaan DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik | 446 |
| 68. | Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Penggunaan <i>Three Pass Tube Type Muffler</i> di SMK Semen Gresik..... | 452 |
| 69. | Perbandingan Hasil Uji Kebisingan antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Teknologi <i>Three Pass Tube Type Muffler</i> | 456 |
| 70. | Reduksi Limbah Oli Dengan Penggunaan Teknologi <i>Oil Filter Cleaner</i> Pada Temperatur Air 80°C di SMK Semen Gresik | 458 |
| 71. | Reduksi Emisi CO Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) di SMK Semen Gresik | 469 |
| 72. | Reduksi Emisi O ₂ Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) di SMK Semen Gresik..... | 472 |
| 73. | Perbandingan Hasil Uji Emisi CO antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom..... | 479 |
| 74. | Peningkatan Emisi CO ₂ Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) di SMK Semen Gresik..... | 482 |
| 75. | Reduksi Emisi HC Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat | |

| | | |
|-----|--|-----|
| | Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) di SMK Semen Gresik | 490 |
| 76. | Perbandingan Hasil Uji Emisi HC antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Berteknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom..... | 497 |
| 77. | Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) di SMK Semen Gresik..... | 500 |
| 78. | Reduksi Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) di SMK Semen Gresik | 505 |
| 79. | Reduksi Opasitas Gas Buang Mesin Isuzu C190 Dengan Menggunakan DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik | 511 |
| 80. | Perbandingan Hasil Uji Opasitas Gas Buang Mesin Isuzu C190 Dengan Menggunakan DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> | 515 |
| 81. | Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Isuzu C190 Dengan Penggunaan DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik..... | 518 |
| 82. | Reduksi Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Isuzu C190 Dengan Penggunaan DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik | 522 |
| 83. | Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Penggunaan <i>Off-Set Tube Type Muffler</i> di SMK Semen Gresik..... | 529 |
| 84. | Perbandingan Hasil Uji Kebisingan antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Teknologi <i>Off-Set Tube Type Muffler</i> | 533 |
| 85. | Reduksi Limbah Oli Dengan Penggunaan <i>Oil Filter Cleaner</i> Pada Temperatur 85°C di SMK Semen Gresik | 537 |

DAFTAR GAMBAR

| Nomor Gambar: | Halaman |
|--|----------------|
| 1. Visualisasi Keberlanjutan (<i>Sustainability</i>) | 33 |
| 2. Filter Oli Mesin Diesel | 87 |
| 3. <i>Oil Filter Cleaner</i> | 88 |
| 4. Sumber Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor | 92 |
| 5. Grafik Hubungan Lambda Terhadap Emisi CO Dengan Variasi Timing Pengapian | 93 |
| 6. Grafik Hubungan Lambda Terhadap Emisi HC Dengan Variasi Timing Pengapian | 94 |
| 7. Grafik Hubungan Lambda Terhadap Emisi NOx Dengan Variasi Timing Pengapian | 96 |
| 8. Komposisi Gas Buang vs Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR) Terukur, Untuk Mesin Otomotif Tipe <i>Non- Supercharger</i> . Bahan Bakar C_8H_{17} | 97 |
| 9. Lima Usaha Pengontrolan Emisi Gas Buang | 98 |
| 10. Inspeksi dan Perawatan Pada Kendaraan Bermotor | 102 |
| 11. <i>Busway</i> Sebagai Transportasi Masal di Jakarta | 104 |
| 12. Pohon Sebagai Paru-paru Kota | 104 |
| 13. Konstruksi <i>Catalytic Converter</i> | 107 |
| 14. Grafik Material Katalis Terhadap Temperatur | 108 |
| 15. <i>Single Bed Oxidation Catalytic Converter</i> | 109 |
| 16. <i>Dual Bed Catalytic Converter</i> | 109 |
| 17. <i>Three Way Catalytic Converter (TWC)</i> | 109 |
| 18. <i>Catalytic Converter Tipe Ceramic Pellet</i> | 111 |
| 19. <i>Catalytic Converter Tipe Ceramic Honeycomb (Monolith)</i> | 112 |
| 20. <i>Catalytic Converter Tipe Metallic Honeycomb (Monolith)</i> | 112 |
| 21. Grafik Temperatur Gas Buang Terhadap Laju Konversi CO dan HC..... | 114 |
| 22. Grafik Temperatur Gas Buang Terhadap Laju Konversi NOx | 114 |
| 23. Grafik Laju Konversi Katalis di Bawah Kondisi Statis | 115 |
| 24. Grafik Laju Konversi Katalis di Bawah Kondisi Dinamis | 115 |
| 25. Komposisi Gas Buang Pada Saat Proses Reaksi di <i>Catalytic Converter</i> . | 116 |
| 26. Reaksi Pada <i>Catalytic Converter</i> | 117 |
| 27. (a) Skema Pembentukan Asap Foto-Kimia, (b) Laju Foto-Oksidasi NO. | 119 |
| 28. Katalis Keramik yang Dilapiskan Pada <i>Particulate Trap/Trap Oxidizer</i> Pada Sistem Pembuangan Mesin Diesel Injeksi Tidak Langsung yang Menggunakan Teknologi <i>Turbocharger</i> | 121 |
| 29. Filter Keramik Monolith | 123 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 30. | Penampang Penjebak Partikulat Mesin Diesel Menggunakan Keramik Berpori dan Katalis Untuk Mengumpulkan dan Membakar Jelaga..... | 123 |
| 31. | <i>Wollfilter</i> | 124 |
| 32. | Skema <i>Thermal Reactor</i> Pada Knalpot Untuk Oksidasi CO & HC | 128 |
| 33. | Posisi Reaktor Panas Pada Mobil (Bagian 1) | 129 |
| 34. | Posisi Reaktor Panas Pada Mobil (Bagian 2) | 129 |
| 35. | <i>Sound Level Meter</i> (SLM) | 134 |
| 36. | Kalibrasi <i>Sound Level Meter</i> (SLM)..... | 136 |
| 37. | <i>Muffler</i> : (a) <i>Reverse-flow Muffler</i> , (b) <i>Straight-through Type muffler</i> | 143 |
| 38. | <i>Baffle-type Muffler</i> | 148 |
| 39. | <i>Resonant-type Muffler</i> atau <i>Straight-through Type Muffler</i> | 148 |
| 40. | <i>Off-set Tube Type Muffler</i> | 149 |
| 41. | <i>Louvre-type Muffler</i> | 149 |
| 42. | <i>Three Pass Tube Type Muffler</i> | 149 |
| 43. | <i>Dissipative Muffler</i> | 150 |
| 44. | <i>Reactive Muffler</i> | 150 |
| 45. | <i>Muffler</i> Kombinasi | 151 |
| 46. | Model Lama Sekolah Adiwiyata (<i>Green School</i>) di SMK | 189 |
| 47. | Model Baru Sekolah Adiwiyata (<i>Green School</i>) di SMK | 191 |
| 48. | Langkah-langkah Penelitian dan Pengembangan Menurut Borg & Gall . | 207 |
| 49. | Diagram Alur Penelitian dan Pengembangan | 208 |
| 50. | Knalpot Standar Mesin Toyota Kijang Tipe 7K | 217 |
| 51. | Potongan Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K | 218 |
| 52. | <i>Metallic Catalytic Converter</i> Berbahan Dasar Plat Kuningan Dengan Tinggi Lekukan 2 mm | 220 |
| 53. | Proses Kalsinasi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Berbahan Dasar Plat Kuningan Dengan Variasi Temperatur | 220 |
| 54. | Modifikasi CAT Untuk Memaksimalkan Aliran | 221 |
| 55. | Desain <i>Metallic Catalytic Converter Casing</i> | 222 |
| 56. | Posisi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Cu+Zn di dalam <i>Casing</i> | 223 |
| 57. | Posisi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Pada Knalpot | 224 |
| 58. | Knalpot Standar Mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik..... | 224 |
| 59. | Pipa Depan (<i>Front Pipe</i>) Knalpot Standar Mesin Isuzu C190 | 225 |
| 60. | Pipa Tengah (<i>Center Pipe</i>) Knalpot Standar Mesin Isuzu C190 | 225 |
| 61. | <i>Muffler</i> dan Pipa Ekor (<i>Tail Pipe</i>) Knalpot Standar Mesin Isuzu C190... | 225 |
| 62. | <i>Diesel Particulate Filter</i> Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> | 227 |
| 63. | <i>Perforated Stainless Steel</i> | 228 |
| 64. | Pembuatan Alur Pada Plat <i>Stainless Steel</i> | 228 |
| 65. | Rancangan Perakitan Plat <i>Stainless Steel</i> | 229 |
| 66. | Hasil Perancangan DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> | 230 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 67. | Penimbangan <i>Glasswool</i> Sebesar 110 gr Menggunakan Timbangan Digital | 230 |
| 68. | DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> | 231 |
| 69. | Desain <i>Diesel Particulate Filter Casing</i> | 232 |
| 70. | Posisi DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> di Dalam <i>Casing</i> | 233 |
| 71. | Aliran Gas Buang Saat Melintasi DPT Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> di Dalam <i>Casing</i> | 234 |
| 72. | Posisi DPF pada Knalpot Eksperimen Mesin Isuzu C190..... | 235 |
| 73. | Knalpot Standar Mesin Toyota Kijang Tipe 5K di SMK Semen Gresik . | 236 |
| 74. | Desain <i>Straight-Through Type Muffler</i> | 237 |
| 75. | Potongan Penampang <i>Straight-Through Type Muffler</i> | 237 |
| 76. | <i>Straight-Through Type Muffler</i> Dengan Penambahan 1000 gr <i>Glasswool</i> | 238 |
| 77. | Desain <i>Oil Filter Cleaner</i> Tampak Keseluruhan..... | 240 |
| 78. | Dimensi <i>Oil Filter Cleaner</i> Tampak Atas | 241 |
| 79. | Dimensi <i>Oil Filter Cleaner</i> Tampak Depan | 241 |
| 80. | Posisi Penempatan <i>Sound Level Meter (SLM)</i> Pada Knalpot | 262 |
| 81. | Komponen-komponen Analisis Data Model Interaktif | 270 |
| 82. | Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi CO Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn)..... | 324 |
| 83. | Hubungan Lambda Terhadap Emisi O ₂ Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn)..... | 327 |
| 84. | Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Gas Buang Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn) | 328 |
| 85. | Grafik Hubungan Antara Energi Aktivasi Dengan <i>Reaction Progress</i> | 332 |
| 86. | Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi CO ₂ Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn)..... | 336 |
| 87. | Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi HC Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn)..... | 343 |
| 88. | Uap Air (H ₂ O) yang Terdapat Pada Gas Probe Tanpa Pemakaian <i>Metallic Catalytic Converter</i> di Knalpot Standar | 347 |
| 89. | Uap Air (H ₂ O) yang Terdapat Pada Gas Probe Setelah Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat kuningan (Cu+Zn) di Knalpot Eksperimen | 348 |
| 90. | Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan | 353 |
| 91. | Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (<i>Back Pressure</i>) Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat | |

| | |
|---|-----|
| Kuningan..... | 355 |
| 92. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan | 357 |
| 93. Energi yang Hilang dari Silinder Terhadap Roda | 361 |
| 94. Perbandingan Hasil Pengujian Opasitas Gas Buang Dengan Menggunakan DPF Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> | 363 |
| 95. DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> : (a) Sebelum Pengujian, (b) Setelah Pengujian | 364 |
| 96. Berat DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> : (a) Sebelum Pengujian 3.030 gr, (b) Setelah Pengujian 3.100 gr | 365 |
| 97. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi DPF <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> | 368 |
| 98. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (<i>Back Pressure</i>) Dengan Penggunaan Teknologi DPF <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> | 370 |
| 99. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dengan Penggunaan Teknologi DPF <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> | 373 |
| 100. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Dengan Penggunaan Teknologi DPF <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> | 376 |
| 101. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi <i>Straight-Through Type Muffler</i> | 380 |
| 102. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (<i>Back Pressure</i>) Dengan Penggunaan Teknologi <i>Straight-Through Type Muffler</i> | 382 |
| 103. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Gas Buang Dengan Penggunaan Teknologi <i>Straight-Through Type Muffler</i> | 382 |
| 104. Kondisi Saringan Oli Mesin Bekas (<i>Used Oil Filter</i>): (a) Sebelum Pembersihan, (b) Setelah Pembersihan Dengan Menggunakan <i>Oil Filter Cleaner</i> Selama 10 Menit Dengan Temperatur Air 90°C dan Tekanan 0,7 kg/cm ² | 389 |
| 105. <i>Metallic Catalytic Converter</i> Berbahan Dasar Plat Tembaga Dengan Tinggi Lekukan 2 mm | 392 |
| 106. <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> | 393 |
| 107. Desain <i>Three Pass Tube Type Muffler</i> | 395 |
| 108. Potongan Penampang <i>Three Pass Tube Type Muffler</i> | 395 |
| 109. Mengatur <i>Electronic Temperature Controller</i> Pada Temperatur 80°C | 396 |
| 110. Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi CO Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) | 398 |
| 111. Hubungan Lambda Terhadap Emisi O ₂ Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) | 401 |

| | | |
|------|---|-----|
| 112. | Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Gas Buang Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga | 402 |
| 113. | Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi CO ₂ Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) | 410 |
| 114. | Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi HC Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) | 417 |
| 115. | Uap Air (H ₂ O) yang Terdapat Pada Gas Probe Tanpa Pemakaian <i>Metallic Catalytic Converter</i> di Knalpot Standar | 421 |
| 116. | Uap Air (H ₂ O) yang Terdapat Pada Gas Probe Setelah Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) di Knalpot Eksperimen | 422 |
| 117. | Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) | 427 |
| 118. | Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (<i>Back Pressure</i>) Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga | 429 |
| 119. | Hubungan Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga | 431 |
| 120. | Perbandingan Hasil Pengujian Opasitas Gas Buang Dengan Menggunakan DPF Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> | 436 |
| 121. | DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> : (a) Sebelum Pengujian, (b) Setelah Pengujian | 438 |
| 122. | Berat DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> : (a) Sebelum Pengujian 4.630 gr, (b) Setelah Pengujian 4.690 gr | 439 |
| 123. | Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi DPF <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> | 442 |
| 124. | Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (<i>Back Pressure</i>) Dengan Penggunaan Teknologi DPF <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> | 444 |
| 125. | Hubungan Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dengan Penggunaan Teknologi DPF <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> | 447 |
| 126. | Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Dengan Penggunaan Teknologi DPF <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> | 450 |
| 127. | Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi <i>Three Pass Tube Type Muffler</i> | 453 |
| 128. | Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (<i>Back Pressure</i>) Dengan Penggunaan Teknologi <i>Three Pass Tube Type Muffler</i> | 455 |
| 129. | Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Gas Buang Dengan Penggunaan Teknologi <i>Three Pass Tube Type Muffler</i> | 455 |

| | |
|---|-----|
| 130. Kondisi Saringan Oli Mesin Bekas (<i>Used Oil Filter</i>): (a) Sebelum Pembersihan, (b) Setelah Pembersihan Dengan Menggunakan <i>Oil Filter Cleaner</i> Selama 10 Menit Dengan Temperatur Air 80°C dan Tekanan Air 0,7 kg/cm ² | 460 |
| 131. <i>Metallic Catalytic Converter</i> Berbahan Dasar Plat Tembaga Berlapis Krom Dengan Tinggi Lekukan 2 mm | 463 |
| 132. <i>Diesel Particulate Filter</i> (DPF) Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> | 464 |
| 133. Desain <i>Off-Set Tube Type Muffler</i> | 466 |
| 134. Potongan Penampang <i>Off-Set Tube Type Muffler</i> | 467 |
| 135. Mengatur <i>Electronic Temperature Controller</i> Pada Temperatur 85°C | 468 |
| 136. Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi CO Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) | 470 |
| 137. Hubungan Lambda Terhadap Emisi O ₂ Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) | 473 |
| 138. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Gas Buang Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr)..... | 474 |
| 139. Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi CO ₂ Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) | 483 |
| 140. Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi HC Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) | 491 |
| 141. Uap Air (H ₂ O) yang Terdapat Pada Gas Probe Tanpa Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> di Knalpot Standar | 495 |
| 142. Uap Air (H ₂ O) yang Terdapat Pada Gas Probe Setelah Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom di Knalpot Eksperimen | 496 |
| 143. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) | 501 |
| 144. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (<i>Back Pressure</i>) Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) | 503 |
| 145. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dengan Penggunaan Teknologi <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom | 506 |
| 146. Perbandingan Hasil Pengujian Opasitas Gas Buang Dengan Menggunakan DPF Plat <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> | 512 |
| 147. DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> : | |

| | |
|--|-----|
| (a) Sebelum Pengujian, (b) Setelah Pengujian | 513 |
| 148. Berat DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> : (a) Sebelum Pengujian 4.620 gr, (b) Setelah Pengujian 4.710 gr | 514 |
| 149. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi DPF <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> | 518 |
| 150. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (<i>Back Pressure</i>) Dengan Penggunaan Teknologi DPF <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> | 520 |
| 151. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dengan Penggunaan Teknologi DPF <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> | 523 |
| 152. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Dengan Penggunaan Teknologi DPF <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> | 526 |
| 153. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi <i>Off-Set Tube Type Muffler</i> | 530 |
| 154. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (<i>Back Pressure</i>) Dengan Penggunaan Teknologi <i>Off-Set Tube Type Muffler</i> | 532 |
| 155. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Gas Buang Dengan Penggunaan Teknologi <i>Off-Set Tube Type Muffler</i> | 532 |
| 156. Kondisi Saringan Oli Mesin Bekas (<i>Used Oil Filter</i>): (a) Sebelum Pembersihan, (b) Setelah Pembersihan Dengan Menggunakan <i>Oil Filter Cleaner</i> Selama 10 Menit Dengan Temperatur Air 85°C dan Tekanan Air 0,7 kg/cm ² | 539 |
| 157. <i>Metallic Catalytic Converter Casing</i> dan <i>Muffler</i> Mesin Toyota Kijang Tipe 7K di SMK Semen Gresik Sebelum Pengecatan | 541 |
| 158. <i>Metallic Catalytic Converter Casing</i> dan <i>Muffler</i> Mesin Toyota Kijang Tipe 7K di SMK Semen Gresik Setelah Pengecatan | 541 |
| 159. DPF <i>Casing</i> dan <i>Muffler</i> Mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik Sebelum Pengecatan | 543 |
| 160. DPF <i>Casing</i> dan <i>Muffler</i> Mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik Setelah Pengecatan | 543 |
| 161. <i>Off-set Tube Type Muffler</i> dan <i>Muffler</i> Standar Mesin Toyota Kijang Tipe 5K di SMK Semen Gresik Sebelum Pengecatan | 544 |
| 162. <i>Off-set Tube Type Muffler</i> dan <i>Muffler</i> Standar Mesin Toyota Kijang Tipe 5K di SMK Semen Gresik Setelah Pengecatan..... | 544 |
| 163. Bak Plastik Pada Penampung Air Pada <i>Oil Filter Cleaner</i> | 545 |
| 164. Produk Final <i>Oil Filter Cleaner</i> | 546 |
| 165. Beberapa Tanda Pengaman Internasional | 574 |
| 166. Model Ideal Sekolah Hijau (<i>Green School</i>) Pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK..... | 575 |
| 167. Dimensi Knalpot Standar Sepeda Motor Yamaha Jupiter MX 135 cc | 594 |

| | |
|--|-----|
| 168. <i>Metallic Catalytic Converter</i> Berbahan Dasar Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) yang Dipasang Pada Knalpot Sepeda Motor Yamaha Jupiter MX | 595 |
| 169. Modifikasi <i>Metallic Catalytic Converter Casing</i> Untuk Memaksimalkan Aliran Gas Buang | 596 |
| 170. Desain Knalpot Eksperimen Sepeda Motor Yamaha Jupiter MX 135 cc. | 597 |
| 171. Knalpot Eksperimen Sepeda Motor Yamaha Jupiter MX 135 cc..... | 597 |

DAFTAR LAMPIRAN

| Nomor Lampiran: | Halaman |
|--|----------------|
| 1. Surat Permohonan Izin Penelitian | 616 |
| 2. Surat Ijin Penelitian..... | 617 |
| 3. Konsumsi Bahan Bakar di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik | 618 |
| 4. Kuesioner Perhitungan Beban Emisi | 621 |
| 5. Rekapitulasi Konsumsi Bahan Bakar Pada Kendaraan Bermotor Warga SMK Semen Gresik | 623 |
| 6. Lembar Survey Tentang Sarana Ramah Lingkungan di DU/DI..... | 637 |
| 7. Lembar Survey Tentang Sarana dan Prasana Ramah Lingkungan di SMK Semen Gresik | 689 |
| 8. Instrumen Analisis Kebutuhan (<i>Needs Assessment</i>) Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan di Semen Gresik | 706 |
| 9. Data Hasil Pengujian..... | 709 |
| 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan | 748 |
| 11. Sertifikat Hasil Kalibrasi Peralatan | 813 |
| 12. Skema Pengembangan Instrumen | 817 |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Isu tentang lingkungan menjadi topik yang menarik dan krusial akhir-akhir ini. Degradasi lingkungan menjadi salah satu bukti bahwa aktivitas manusia berdampak langsung pada kelestarian fungsi lingkungan, kerusakan lingkungan, dan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, semua aktivitas manusia harus mengarah pada pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) agar lingkungan tetap lestari.

Pembangunan berkelanjutan adalah paradigma menyeluruh dari Persatuan Bangsa-Bangsa (PBB). Konsep pembangunan berkelanjutan digambarkan oleh Laporan Komisi Brundtland (*Brundtland Commission Report*) pada tahun 1987 sebagai “*development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs*”. Pembangunan yang memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri (UNESCO, 2012a).

Keberlanjutan (*sustainability*) adalah paradigma untuk berpikir tentang masa depan dengan mempertimbangkan lingkungan, sosial (masyarakat), dan ekonomi yang seimbang dalam mengejar pembangunan dan perbaikan kualitas hidup. Ketiga bidang tersebut - masyarakat, lingkungan, dan ekonomi - saling terkait. Misalnya, masyarakat yang sejahtera bergantung pada lingkungan yang sehat yang

menyediakan makanan dan sumber daya, air minum yang aman, dan udara bersih bagi warganya (UNESCO, 2012a).

Paradigma berkelanjutan adalah perubahan besar dari paradigma sebelumnya tentang pembangunan ekonomi dengan konsekuensi kerusakan lingkungan dan sosial. Sampai saat ini, konsekuensi ini dapat dilihat dan tak terelakkan. Namun, kita sekarang menyadari bahwa kerusakan yang terjadi atau ancaman serius terhadap lingkungan dan kesejahteraan manusia dalam mengejar pembangunan ekonomi tidak menempatkan dalam paradigma berkelanjutan (UNESCO, 2012a).

Untuk mewujudkan paradigma pembangunan berkelanjutan, PBB telah menetapkan *The Eight Millennium Development Goals* (MDGs) yang dilaksanakan mulai tahun 2000-2015. Delapan MDGs tersebut adalah: (1) memberantas kemiskinan dan kelaparan secara ekstrim (*eradicate extreme poverty and hunger*); (2) mencapai pendidikan dasar secara universal (*achieve universal primary education*); (3) mempromosikan kesetaraan gender dan pemberdayaan perempuan (*promote gender equality and empower women*); (4) mengurangi angka kematian anak (*reduce child mortality*); (5) meningkatkan kesehatan ibu (*improve maternal health*); (6) memerangi HIV/AIDS, malaria, dan penyakit lainnya (*combat HIV/AIDS, malaria, and other diseases*); (7) memastikan kelestarian lingkungan (*ensure environmental sustainability*); dan (8) kemitraan global untuk pembangunan (*global partnership for development*) (UN, 2015a; Pisciotta, 2015).

Dari 8 MDGs di atas nampak jelas bahwa salah satu tujuan pembangunan berkelanjutan adalah memastikan kelestarian lingkungan. Dalam hal yang bersifat teknis dapat dilakukan dengan cara kemitraan global. *The United Nations*

Development Programme (UNDP) telah menjadi salah satu organisasi terkemuka yang bekerja untuk mencapai MDGs.

Dalam perkembangannya, PBB melalui UNESCO juga mengembangkan pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan (*education for sustainable development/ESD*) yang dilaksanakan mulai tahun 2005-2014. ESD terdiri dari 4 kegiatan pokok, yaitu: (1) mengajar pembangunan berkelanjutan (*teach sustainable development*), (2) mendorong penelitian tentang pembangunan berkelanjutan (*encourage research on sustainable development*); (3) sekolah/kampus hijau dan dukungan lokal upaya keberlanjutan (*green campuses and support local sustainability efforts*); dan (4) terlibat dan berbagi informasi dengan jaringan internasional (*engage and share information with international networks*) (UNESCO, 2012a).

Dari 4 kegiatan ESD di atas nampak jelas bahwa pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan dilaksanakan dengan membangun infrastruktur sekolah hijau/kampus hijau (*green school/green campus*). Sayangnya, implementasi MDGs dan ESD dinilai masih gagal dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan. Hal itu ditandai dengan masih terjadinya degradasi lingkungan, kerusakan lingkungan, dan pencemaran lingkungan yang semakin tidak terkendali.

Oleh karena itu, untuk mewujudkan paradigma pembangunan berkelanjutan yang lebih komprehensif, saat ini 193 negara anggota PBB telah menyepakati 17 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Seventeen Sustainable Development Goals/SDGs*) yang dilaksanakan mulai tahun 2016-2030 (UNRIC, 2015; UN,

2015b). Pada saat konferensi pers di New York, 13 April 2015, Sekretaris Jenderal PBB Ban Ki-moon memuji keberhasilan negara anggota dalam menyetujui apa yang disebutnya, "*a bold, ambitious and transformative sustainable development agenda for the next 15 years*". Melalui negosiasi akhir pekan, 193 negara anggota PBB mencapai konsensus tentang 17 SDGs tersebut, termasuk 168 target. SDGs membutuhkan tiga tahun perencanaan dan perdebatan yang dimulai pada KTT Rio de Janeiro + 20 (*Rio+20 Summit Conference*) pada tahun 2012. Pertemuan tersebut merupakan proses untuk mencapai agenda untuk melihat keberhasilan MDGs, yaitu 8 tujuan yang ditetapkan berakhir pada akhir tahun 2015. Dokumen hasil konferensi yang disetujui berjudul, "*Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*" dapat ditemukan di situs web "*UN's Sustainable Development*" (<http://www.unric.org/en/latest-un-buzz/29844-17-sustainable-development-goals-are-set-and-welcomed>, diakses 14 April 2016). Akhirnya, SDGs telah secara resmi diadopsi pada tanggal 25-27 September 2015 ketika Majelis Umum PBB bertemu dan telah dimulai pada awal tahun 2016. Sekretaris Jenderal PBB saat itu menyimpulkan bahwa implementasi dan tindak lanjut SDGs akan menjadi sangat penting dalam pembangunan secara berkelanjutan.

Menurut UNDP (2015), 17 SDGs tersebut adalah: (1) mengakiri kemiskinan dalam segala bentuknya dimanapun (*end poverty in all its forms everywhere*); (2) mengakiri kelaparan, mencapai ketahanan pangan dan meningkatkan gizi serta mempromosikan pertanian berkelanjutan (*end hunger, achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture*); (3) menjamin kehidupan yang sehat dan mempromosikan kesejahteraan bagi semua pada segala usia (*ensure*

healthy lives and promote well-being for all at all ages); (4) menjamin kualitas pendidikan inklusif dan adil serta mempromosikan kesempatan belajar seumur hidup bagi semua (*ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all*); (5) mencapai kesetaraan gender dan memberdayakan semua wanita dan anak perempuan (*achieve gender equality and empower all women and girls*); (6) memastikan ketersediaan dan pengelolaan air yang berkelanjutan serta sanitasi untuk semua (*ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all*); (7) memastikan akses ke energi yang terjangkau, handal, berkelanjutan dan modern untuk semua (*ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all*); (8) mempromosikan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan dan inklusif, pekerjaan penuh dan produktif serta pekerjaan yang layak untuk semua (*promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all*); (9) membangun infrastruktur yang tangguh, mempromosikan industrialisasi yang inklusif dan berkelanjutan serta inovasi yang membantu perkembangan (*build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation*); (10) mengurangi ketidaksetaraan di dalam dan diantara negara-negara anggota PBB (*reduce inequality within and among countries*); (11) membuat kota dan pemukiman penduduk yang inklusif, aman, tangguh, dan berkelanjutan (*make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable*); (12) memastikan pola produksi dan konsumsi yang berkelanjutan (*ensure sustainable consumption and production patterns*); (13) mengambil tindakan yang mendesak untuk mengatasi perubahan iklim dan dampaknya (*take*

urgent action to combat climate change and its impacts); (14) melestarikan dan menggunakan samudera, laut dan sumber daya kelautan yang berkelanjutan untuk pembangunan berkelanjutan (*conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development*); (15) melindungi, memulihkan, dan mempromosikan pemanfaatan ekosistem darat yang berkelanjutan, mengelola hutan secara lestari, memerangi penggurunan, membalikkan degradasi lahan dan menghentikan hilangnya keanekaragaman hayati (*protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss*); (16) mempromosikan masyarakat yang damai dan inklusif untuk pembangunan berkelanjutan, memberikan akses keadilan bagi semua, dan membangun institusi yang efektif, akuntabel dan inklusif di semua tingkatan (*promote peaceful and inclusive societies for sustainable development, provide access to justice for all and build effective, accountable and inclusive institutions at all levels*); dan (17) memperkuat sarana implementasi dan merevitalisasi kemitraan global untuk pembangunan berkelanjutan (*strengthen the means of implementation and revitalize the global partnership for sustainable development*).

Dari penjelasan tentang konsep MDGs, ESD, dan SDGs di atas, nampak jelas bahwa aspek lingkungan hidup (*environment*) menjadi salah satu isu krusial dan aktual di seluruh dunia, dimana implementasi dan tindak lanjut SDGs akan menjadi sangat penting.

Apa yang dilakukan negara Indonesia untuk mencapai 17 SDGs tersebut terutama terkait dengan lingkungan hidup? Sesuai dengan amanat Undang-Undang

Dasar (UUD) Negara Republik Indonesia Tahun 1945 Pasal 28h dinyatakan bahwa lingkungan hidup yang baik dan sehat merupakan hak asasi setiap warga negara Indonesia. Oleh karena itu, upaya untuk mewujudkan amanat tersebut telah ditetapkan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH). UU No.32/2009 antara lain mengatur tentang tanggung jawab dan kewajiban pemerintah, pemerintah daerah, dan pemangku kepentingan dalam perlindungan dan pengelolaan lingkungan, serta hak masyarakat atas lingkungan hidup yang baik dan sehat serta kewajiban masyarakat dalam memelihara kelestarian fungsi lingkungan hidup dan mengendalikan pencemaran serta kerusakan lingkungan hidup.

Secara lebih detail, di dalam UU No. 32/2009 tersebut mengatur tanggung jawab dan kewajiban seluruh *stakeholders* dalam upaya PPLH. Inventarisasi lingkungan hidup dilaksanakan oleh Menteri Lingkungan Hidup (LH) setelah berkoordinasi dengan instansi terkait. Sedangkan penyusunan Rencana Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (RPPLH) disusun oleh menteri, gubernur, atau bupati/walikota sesuai dengan kewenangannya. Menteri LH juga bertanggungjawab menetapkan daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup nasional dan pulau/kepulauan, gubernur bertanggungjawab menetapkan daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup provinsi dan ekoregion lintas kabupaten/kota, dan bupati/walikota bertanggungjawab menetapkan daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup kabupaten/kota dan ekoregion di wilayah kabupaten/kota. Pengendalian pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup dilaksanakan oleh pemerintah, pemerintah daerah, dan penanggung jawab usaha

dan/atau kegiatan (pengusaha) sesuai dengan kewenangan, peran, dan tanggung jawab masing-masing. Pemerintah dan pemerintah daerah juga wajib membuat dan melaksanakan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) untuk memastikan bahwa prinsip pembangunan berkelanjutan telah menjadi dasar dan terintegrasi dalam pembangunan suatu wilayah dan/atau kebijakan, rencana, dan/atau program. Oleh karena itu, setiap usaha dan/atau kegiatan yang berdampak penting terhadap lingkungan hidup wajib memiliki analisis mengenai dampak lingkungan (amdal). Dokumen amdal disusun oleh pemrakarsa dengan melibatkan masyarakat.

Selanjutnya apa yang perlu dilakukan sekolah untuk mencapai 17 SDGs tersebut terutama terkait dengan lingkungan hidup? Implementasi SDGs dalam bidang lingkungan hidup dilaksanakan melalui pendidikan lingkungan hidup (PLH), baik melalui pendidikan formal (sekolah/kampus), non-formal (lembaga diklat), maupun informal. PLH dilaksanakan mengacu pada konsep pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan.

Sebenarnya, isu pendidikan lingkungan telah muncul sejak tahun 1975 pada saat Konferensi Internasional Pendidikan Lingkungan Hidup di Beograd, Yugoslavia. Konferensi tersebut menghasilkan "*The Berlgrade Charter – a Global Framework for Environmental Education*" (UNESCO, 1975). Hasil dari konferensi tersebut berisi perlunya: (1) meningkatkan kesadaran dan perhatian terhadap keterkaitan di bidang Sosial, Ekonomi, Politik (SOSEKPOL) dan Ekologi, baik di perkotaan maupun di pedesaan; (2) memberikan kesempatan pada setiap orang untuk memperoleh pengetahuan, keterampilan, sikap, motivasi yang diperlukan

dalam bekerja secara individu dan kolektif untuk peduli lingkungan; dan (3) menciptakan satu kesatuan pola perilaku peduli lingkungan.

Selanjutnya, konferensi internasional pertama di dunia tentang pendidikan lingkungan hidup diselenggarakan oleh UNESCO yang bekerja sama dengan UNEP dan diselenggarakan di Tbilisi, Georgia (USSR) dari tanggal 14-26 Oktober 1977 (UNESCO, 1977; Chin, 2004). Konferensi internasional tentang pendidikan lingkungan hidup tersebut telah menghasilkan Tbilisi Declaration (1977) dimana tujuan pendidikan lingkungan hidup adalah: pertama, mempercepat kesadaran dan fokus tentang keterkaitan antara ekonomi, sosial, politik, dan ekologi dalam wilayah kota dan pedesaan (UNESCO, 1977; NAAEE, 2004); kedua, memberikan kesempatan kepada setiap individu untuk mendapatkan pengetahuan, nilai, sikap, komitmen, dan keahlian yang dibutuhkan untuk melindungi dan memperbaiki lingkungan; dan ketiga, membuat pola baru yang lebih komprehensif tentang perilaku individu-individu, grup, dan masyarakat terhadap lingkungan (UNESCO, 1977).

Dalam bidang pendidikan formal, PLH di Indonesia dikembangkan sebagai upaya untuk menjawab degradasi lingkungan yang terjadi di berbagai wilayah. Kebijakan PLH telah disepakati pada tanggal 19 Februari 2004 oleh 4 (empat) Departemen, yaitu Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), Departemen Pendidikan Nasional (Depdiknas), Departemen Agama, dan Departemen Dalam Negeri. Kebijakan ini sebagai dasar arahan bagi para pemangku kepentingan (*stakeholders*) dalam pelaksanaan dan pengembangan PLH di Indonesia serta sebagai salah satu solusi dalam upaya meningkatkan pengetahuan dan pemahaman

masyarakat terhadap pelestarian fungsi lingkungan hidup (Tim Adiwiyata Tingkat Nasional, 2011).

Dalam implementasinya, PLH diarahkan pada kelembagaan PLH; peningkatan kualitas sumber daya manusia; pengembangan sarana dan prasarana; peningkatan dan efisiensi penggunaan anggaran; pengembangan materi PLH; peningkatan komunikasi dan informasi; pemberdayaan masyarakat dalam pelaksanaan dan pengembangan metode PLH, dengan harapan agar seluruh pemangku kepentingan dapat bersinergi dalam melaksanakan PLH.

PLH perlu dilakukan untuk meningkatkan pengetahuan, pemahaman dan peran serta masyarakat dalam pengelolaan lingkungan hidup. Untuk mencapai tujuan tersebut, maka PLH dikembangkan melalui jalur pendidikan formal yaitu jalur pendidikan tingkat dini (PAUD), dasar dan menengah (SD/MI, SMP/MTs, SMA/MA/SMK/MAK) serta Perguruan Tinggi yang telah dikembangkan oleh KLH dan Kemendiknas melalui Program Adiwiyata (*Green School Program*). Sementara itu, program yang telah dikembangkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dengan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi untuk Perguruan Tinggi dikenal dengan istilah *Green Campus/Eco-campus Program*.

Wujud kesepakatan tersebut dibuktikan dengan telah ditandatanganinya Kesepakatan Bersama antara Menteri Negara Lingkungan Hidup dengan Menteri Pendidikan Nasional pada tanggal 3 Juni 2005 untuk meningkatkan pengetahuan dan pemahaman lingkungan hidup kepada peserta didik dan masyarakat. Realisasi dari kesepakatan tersebut, pada tanggal 21 Februari 2006 telah dicanangkan

Program Adiwiyata dengan tujuan untuk mewujudkan warga sekolah yang peduli dan berbudaya lingkungan yang dilaksanakan berdasarkan prinsip partisipatif dan berkelanjutan (Tim Adiwiyata Tingkat Nasional, 2011).

Adapun pencapaian sekolah untuk menjadi sekolah Adiwiyata adalah terpenuhinya 4 (empat) komponen, yaitu: (1) kebijakan berwawasan lingkungan, (2) pelaksanaan kurikulum berbasis lingkungan, (3) kegiatan lingkungan berbasis partisipatif, dan (4) pengelolaan sarana pendukung ramah lingkungan. Berdasarkan Lampiran III Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup (Permen LH) Nomor 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata, 4 komponen adiwiyata tersebut memiliki 8 standar. Dari 8 standar tersebut jika diterapkan akan terurai menjadi 30 implementasi dan 33 pencapaian sekolah Adiwiyata. Perkembangan program Adiwiyata sampai dengan tahun 2013 diketahui sebanyak 2.558 sekolah telah ikut berpartisipasi dalam program Adiwiyata, terdapat 10 sekolah Model Sekolah Adiwiyata, 663 sekolah Adiwiyata Nasional, dan 243 sekolah Adiwiyata Mandiri yang telah mendapatkan apresiasi dari pemerintah dalam pemenuhan 4 komponen Adiwiyata (Kusumatuti, Krisnawati, & Nugroho, 2014).

Berdasarkan hasil evaluasi implementasi program adiwiyata (*green school program*) tingkat nasional yang dilakukan oleh Warju, Slamet P. Harto, Soenarto, and Hartmann (2017: 1496-1498) mulai tahun 2012- 2016, disimpulkan bahwa masih banyak kekurangan dalam hal implementasi dan pencapaian program Adiwiyata di 33 sekolah terpilih khususnya di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) di Jawa Timur. Evaluasi implementasi program adiwiyata di SMK dilaksanakan di

4 sekolah, yaitu SMK Semen Gresik, SMK Negeri 1 Bojonegoro, SMK Negeri 1 Boyolangu-Tulungagung, dan SMK Negeri 1 Bendo - Magetan. Kekurangan implementasi program adiwiyata di SMK dapat dilihat dari ke-4 komponen Adiwiyata. Pertama, kebijakan berwawasan lingkungan. Kekurangan dalam hal kebijakan berwawasan lingkungan di SMK ditandai dengan: (1) sekolah tidak memiliki dokumen kajian lingkungan, (2) kebijakan lingkungan yang dibuat sekolah belum berbasis kompetensi keahlian yang ada di sekolah, (3) visi, misi, dan tujuan sekolah untuk mewujudkan warga sekolah yang peduli dan berbudaya lingkungan belum sepenuhnya dipahami oleh seluruh *stake holders* sekolah meliputi kepala sekolah, guru, siswa, tenaga kependidikan, petugas layanan khusus sekolah, dan komite sekolah, dan (4) sekolah belum mengalokasikan anggaran minimal 20% dari Rencana Kerja dan Anggaran Sekolah (RKAS) dalam upaya PPLH. Oleh karena itu, kepala sekolah seharusnya segera merestrukturisasi kebijakan sekolah dalam upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup (Warju et al., 2017: 1496-1498).

Kedua, pelaksanaan kurikulum berbasis lingkungan. Kekurangan dalam hal implementasi kurikulum berbasis lingkungan di SMK ditandai dengan: (1) masih banyak sekolah yang bingung apakah PLH di sekolah idealnya dilaksanakan secara monolitik atau terintegrasi. Untuk sekolah yang melaksanakan PLH secara terintegrasi, ternyata hanya terbatas pada mata pelajaran normatif dan adaptif saja. Hal ini sesuai dengan penelitian Wahyuhadi (2012) yang menyimpulkan bahwa mata pelajaran yang terintegrasi dengan PLH di SMK Negeri 1 Salatiga, Jawa Tengah hanya terbatas pada mata pelajaran Bahasa Inggris, IPA, Agama, IPS, dan

Penjaskes dan belum mengarah ke mata pelajaran produktif yang merupakan ciri khas di SMK. Penelitian sejenis dilakukan oleh Warju (2015) menyimpulkan bahwa: (1) mata pelajaran yang terintegrasi dengan PLH di SMK Semen Gresik, Jawa Timur hanya ada 7 mata pelajaran (Agama, Pendidikan Kewarganegaraan, Bahasa Indonesia, Bahasa Inggris, Seni Budaya, Kimia, dan muatan lokal PLH) dari 15 mata pelajaran atau hanya sebesar 46,66% mata pelajaran yang terintegrasi dengan PLH; (2) Masih terdapat 28,56% - 42,86% guru yang belum menghubungkan isu global dan isu lokal terhadap upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Guru SMK seharusnya ahli menggunakan berbagai metode pengajaran, memilih metode pembelajaran yang sesuai dan memilih model penilaian yang cocok untuk penilaian hasil belajar berdasarkan tujuan pembelajaran, konten pembelajaran, dan cenderung menggunakan model pembelajaran yang berpusat kepada siswa (Diep and Hartmann, 2016); (3) Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) belum mencerminkan keterkaitan antara tujuan pembelajaran, model pembelajaran, metode pembelajaran, sumber belajar, dan evaluasi terkait dengan PLH; (4) masih terdapat 28,58% - 42,86% guru yang belum menguasai konsep bagaimana mengintegrasikan PLH ke dalam mata pelajaran yang ia bina, mengembangkan indikator pencapaian kompetensi, dan instrumen penilaiannya. Berdasarkan penelitian Suherman (2008) menyimpulkan bahwa RPP yang dibuat oleh guru belum memenuhi indikator kompetensi, dan sebagian RPP belum memenuhi standar kompetensi dan kompetensi dasar (SKKD) yang dibutuhkan dunia kerja; dan (5) sekolah belum mengembangkan kurikulum yang mengarah pada *green jobs/green skills* (mengembangkan deskripsi tugas dan

deskripsi kompetensi yang dibutuhkan untuk *green jobs/green skills*) (Warju et al., 2017: 1496-1498). Padahal Gleissner (2013), menyatakan bahwa salah satu langkah untuk mengembangkan *greening TVET* adalah mengembangkan kurikulum pendidikan dan pelatihan untuk *green jobs* (*development of curricula for education and training for green jobs*). Gleissner (2013) juga menyatakan bahwa salah satu langkah untuk mengembangkan *greening TVET* adalah dengan mengembangkan materi pengajaran/pembelajaran (*development of learning/teaching materials*) berbasis dunia kerja dan berwawasan lingkungan. TVET seharusnya fokus pada pengembangan disiplin ilmu, pengetahuan, dan keahlian yang berguna untuk menyelesaikan masalah dalam situasi yang kompleks (Hartmann, 2016). Oleh karena itu, ESD merupakan salah satu usaha strategis untuk menjamin kerja dan kehidupan yang berkelanjutan. Integrasi ESD ke dalam TVET adalah penting untuk meningkatkan pengetahuan dan keahlian dalam mendukung pengembangan ekonomi dan meningkatkan kualitas kehidupan (UNESCO, 2012b).

Ketiga, kegiatan lingkungan berbasis partisipatif. Kekurangan dalam hal kegiatan lingkungan berbasis partisipatif di SMK ditandai dengan: (1) belum semua *stake holders* sekolah terlibat dalam aksi lingkungan, kebanyakan aksi lingkungan lebih banyak dilakukan oleh kader lingkungan/polisi hijau/sabhat lingkungan/ekstrakurikuler yang ada di sekolah; (2) kurangnya pelibatan DU/DI, mitra, atau pihak terkait dalam kegiatan lingkungan walaupun sudah tersedia nota kesepahaman (MoU) di sekolah; (3) masih terdapat 40%-50% siswa yang tidak memproduksi hasil kerja nyata/proyek dalam upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup; dan (4) kurangnya media promosi dan publikasi kegiatan

lingkungan berbasis partisipatif yang dilakukan oleh sekolah dengan pihak lain (Warju et al., 2017: 1496-1498). Padahal Gleissner (2013) menyatakan bahwa salah satu langkah untuk mengembangkan *greening TVET* adalah dengan mengembangkan jaringan kerjasama dengan perusahaan, sekolah, institusi negeri, dan lembaga penelitian kejuruan/vokasional (*development of cooperation networks between companies, schools, state institutions and vocational research institutions*).

Keempat, pengelolaan sarana pendukung ramah lingkungan. Kekurangan dalam hal pengelolaan sarana pendukung ramah lingkungan di SMK ditandai dengan: (1) sarana pendukung ramah lingkungan yang ada di sekolah kurang mencerminkan kebutuhan sekolah atau tidak berdasarkan hasil kajian lingkungan sehingga terkesan imitasi dari sekolah lain; (2) terdapat sarana ramah lingkungan yang justru tidak ramah anak, misalnya terdapat mesin penghancur sampah organik (*crushing machine*) menggunakan mesin Diesel 5 HP untuk siswa SMK Bisnis dan Manajemen yang mayoritas siswanya perempuan. Gleissner (2013) menyatakan bahwa salah satu langkah untuk mengembangkan *greening TVET* adalah dengan mengembangkan infrastruktur dan fasilitas untuk pelatihan dan pendidikan (*development of infrastructures for training and education*); (3) kurangnya pemanfaatan sarana pendukung ramah lingkungan untuk proses pembelajaran siswa, baik pembelajaran di dalam maupun di luar kelas; (4) di SMK, beberapa sarana ramah lingkungan tidak tersedia, seperti teknologi energi alternatif (biogas, bioethanol, biodiesel, solar cells, dan energi angin), teknologi untuk mereduksi kebisingan, teknologi untuk mengurangi polusi udara, dan teknologi untuk

mengurangi getaran; (5) efisiensi penggunaan listrik, air, dan alat tulis kantor (ATK) di sekolah baru mencapai 5,25%, padahal standar minimumnya untuk sekolah hijau (*green school*) di Indonesia adalah 20%. Berdasarkan “A Capital E Report” yang ditulis oleh Kats, Perlman, dan Jamadagni (2005), disimpulkan bahwa sekolah hijau (*green schools*) menggunakan energi rata-rata 33% lebih rendah daripada sekolah yang didesain secara konvensional. Selain itu, *United States Research Council* (USRC) melaporkan bahwa desain sekolah hijau (*green schools*) rata-rata dapat mereduksi penggunaan air sampai 32% (Ramli, Masri, Taib, & Hamid, 2012); dan (6) kantin sekolah masih menjual makanan/minuman yang berbasis 5 P (Pewarna, Perasa, Pengenyal, Pengawet, dan Pemanis) dan dikemas secara tidak ramah lingkungan, seperti menggunakan plastik, styrofoam, dan bahkan aluminum foil (Warju et al., 2017: 1496-1498).

Dari 33 sekolah peraih Sekolah Adiwiyata Tingkat Nasional (SD, SMP/MTs, SMA, dan SMK,) di Jawa Timur yang telah dievaluasi oleh Warju et al. (2017: 1496-1498) mulai tahun 2012-2016, terkesan semua sekolah memiliki permasalahan lingkungan yang sama, yaitu sampah daun, energi, keanekaragaman hayati, air, dan makanan (SEKAM) sehingga kebijakan, kurikulum, kegiatan lingkungan, dan sarana ramah lingkungan yang dimiliki oleh sekolah cenderung sama antar sekolah. Padahal di SMK, dengan berbagai kompetensi keahlian yang dibuka pasti akan menghasilkan sampah/limbah/polusi/emisi yang berbeda dengan sekolah umum (SMA) sehingga diperlukan kajian lingkungan sekolah (KLS), kebijakan lingkungan, kurikulum, aksi lingkungan, dan sarana ramah lingkungan yang pasti berbeda.

Namun sayangnya, banyak kebiasaan-kebiasaan salah yang sampai saat ini masih selalu dilakukan oleh SMK. Menurut Djojonegoro (1998: 57), kebiasaan-kebiasaan salah yang sampai saat ini masih selalu dilakukan oleh SMK adalah: (1) praktek dasar kejuruan tidak diajarkan sesuai dengan prinsip dasar; (2) siswa dibiarkan bekerja dengan cara kerja yang salah (tidak seperti kerja di industri), misalnya: siswa bergerombol bekerja dengan satu mesin kerja; (3) hasil kerja berkualitas asal jadi (standar mutu sekolah berbeda dengan mutu industri); (4) tidak menerapkan sistem belajar tuntas; (5) tidak mengindahkan persyaratan keselamatan kerja, dan kelestarian lingkungan hidup; (6) tidak mencantumkan dan mengisi kartu pemakaian dan kartu pemeliharaan mesin; dan (7) proses pengajaran yang ditampilkan tidak berwawasan ekonomi, tidak berwawasan nilai tambah, dan tidak membentuk etos kerja.

Untuk menjawab permasalahan di atas, maka mutlak implementasi sekolah hijau (*green school*) di SMK dengan tujuan untuk mewujudkan warga sekolah yang peduli dan berbudaya Lingkungan sehingga mampu berpartisipasi dan melaksanakan upaya pelestarian lingkungan dan pembangunan berkelanjutan bagi kepentingan generasi sekarang maupun yang akan datang.

SMK adiwiyata (*green school*) pada dasarnya adalah SMK reguler yang menerapkan 8 SNP (Standar Nasional Pendidikan) dan 4 komponen adiwiyata (Permen LH No. 05 Tahun 2013). Oleh karena itu, SMK adiwiyata bisa disebut SMK Plus, karena tidak hanya menghasilkan lulusan yang kompeten di bidang keahliannya sehingga siap kerja tetapi juga menjadikan lulusan yang berwawasan

lingkungan. Hal inilah yang tidak dimiliki oleh lulusan-lulusan SMK-SMK reguler yang lain.

Berdasarkan penelitian Warju (2015) yang berjudul “*The Evaluation of The Implementation of The Adiwiyata Program (Green School Program) at SMK Semen Gresik*” disimpulkan bahwa: (1) hasil evaluasi *context* dilihat dari kepedulian dan harapan masyarakat, relevansi program, regulasi dan kebijakan dikategorikan baik, relevan, dan mendukung; (2) hasil evaluasi *input* dilihat dari karakteristik kepala sekolah, guru, tenaga kependidikan, petugas khusus sekolah, dan komite sekolah menunjukkan semua mengerti dan memahami visi, misi, dan tujuan sekolah dalam upaya PPLH (100%), sedangkan ditinjau dari karakteristik siswa sebanyak 73,33% siswa paham visi, misi, dan tujuan sekolah dalam upaya PPLH. Ditinjau dari kurikulum, struktur kurikulum yang memuat upaya PPLH dalam komponen mata pelajaran wajib hanya pada mata pelajaran Agama, Pendidikan Kewarganegaraan, Bahasa Indonesia, Bahasa Inggris, Seni Budaya, dan Kimia yang dilaksanakan secara terintegrasi dan mata pelajaran muatan lokal Pendidikan Lingkungan Hidup yang dilaksanakan secara monolitik; (3) hasil evaluasi *process* menunjukkan hanya sebesar 46,66% RPP yang terintegrasi dengan PLH, hanya 70% tenaga pendidik yang mengembangkan indikator pembelajaran dan instrumen penilaian yang terkait dengan PPLH, hanya 70% tenaga pendidik yang menyusun rancangan pembelajaran yang terkait dengan PPLH, hanya sebesar 53% dari peserta didik yang menghasilkan karya nyata yang terkait dengan PPLH, hanya sebesar 50% peserta didik yang mengkomunikasikan hasil pembelajaran LH, dan ada 5 dokumen MoU yang telah dibangun dengan mitra dalam rangka program adiwiyata; (4) hasil

evaluasi *product* berdasarkan prestasi siswa, kompetensi siswa, dan tanggapan/kepuasan masyarakat dikategorikan baik.

Dari hasil penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa praksis implementasi *green school* di SMK Semen Gresik masih belum optimal, khususnya pada aspek input dan proses serta belum menyentuh sampai ke bidang keahlian.

Berbicara tentang model *green school* ideal di SMK, khususnya pada Program Keahlian Teknik Otomotif, Kompetensi Keahlian Teknik Kendaraan Ringan Otomotif dan Teknik dan Bisnis Sepeda Motor, tidak bisa lepas dari kondisi dan fungsi laboratorium, bengkel, kelas, dan ruang Unit Jasa dan Produksi (UJP) yang biasa disebut ruang *teaching factory*. Struktur dan model bangunan idealnya harus memperhatikan konsep *green building* sehingga rendah kebisingan, pasokan oksigen berlimpah, pencahayaan dan sirkulasi udara berlangsung secara alami sehingga dapat mereduksi pemakaian energi. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan pohon peneduh, pemanfaatan sinar matahari untuk menerangi ruangan, diperlukan *exhauster* untuk membuang polutan/emisi ke luar ruangan, pengurangan kebisingan di dalam ruangan, dan pembuatan sanitasi yang ramah lingkungan.

Mesin-mesin yang dipakai praktikum oleh siswa dan guru idealnya juga harus dilengkapi dengan teknologi ramah lingkungan, seperti: (1) *catalytic converter*; (2) *diesel particulate filter* (DPF); (3) *thermal reactor*; (4) *exhaust gas recirculation* (EGR); (5) *positive crankcase ventilation* (PCV); (6) *air injection system* (AIS); (7) *electronic fuel injection* (EFI); (8) *common-rail system*; (9) teknologi penghemat bahan bakar; (10) knalpot (*muffler*) rendah kebisingan; dan lain-lain. Proses pembakaran pada mesin akan menghasilkan kebisingan dan berbagai jenis

polutan/emisi gas buang, seperti karbon monoksida (CO), karbondioksida (CO₂), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO_x), timbal (Pb), sulfur oksida (SO_x), dan partikulat (*particulate matter*/PM) yang sangat berbahaya bagi kesehatan siswa, guru, tenaga kependidikan, dan lingkungan.

Seperti kita ketahui, pembakaran bahan bakar fosil yang tidak sempurna akan menghasilkan gas CO₂ yang lama kelamaan akan menumpuk di atmosfer. Radiasi sinar matahari yang dipancarkan ke bumi seharusnya dipantulkan lagi ke angkasa, namun akibat penumpukan gas CO₂ ini akan menghalangi pantulan tersebut. Akibatnya radiasi akan kembali diserap oleh bumi yang akhirnya akan meningkatkan temperatur udara di bumi sehingga muncullah pemanasan global (*global warming*). Proses inilah yang disebut sebagai efek gas rumah kaca (*green house effect*). Di sisi lain, emisi gas buang yang dikeluarkan oleh asap kendaraan bermotor seperti CO, HC, NO_x, Pb, SO_x, dan PM akan menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia. CO mengikat hemoglobin darah (Hb) dengan afinitas (daya ikat) yang lebih besar dibandingkan oksigen dan mengganggu saraf pusat. Pada konsentrasi yang tinggi dan jangka waktu tertentu, CO dapat mengakibatkan pingsan dan kematian. HC adalah senyawa fotokimia yang menyebabkan mata pedih, tenggorokan sakit, dan memicu serangan asma. Hidrokarbon aromatik dan senyawa turunannya seperti aldehida bersifat karsinogenik (menyebabkan kanker). NO₂ adalah hemotoksin (mengikat sel darah merah), dapat menyebabkan gangguan saraf pusat, menimbulkan iritasi tenggorokan, mata, dan hidung serta sifat beracunnya akan menimbulkan sukar tidur, batuk-batuk dan sebagainya (konsentrasi 30-50 ppm). SO_x menyebabkan

iritasi sistem membran pernafasan dan bronchitis. Pb adalah racun penyerang syaraf yang dapat menyebabkan gangguan perkembangan otak pada janin anak-anak. Dampak lanjutan adalah tekanan darah tinggi. Sedangkan PM akan mengendap dalam sel paru-paru sehingga fungsinya terganggu dan menimbulkan flek hitam pada paru-paru (Swisscontact, 2001: 5-6). Melihat begitu besarnya dampak negatif polutan/emisi gas buang pada kesehatan manusia, maka penggunaan sarung tangan dan masker merupakan kebutuhan minimal saat siswa dan guru melakukan praktek menggunakan mesin-mesin otomotif. Berbicara tentang model *green school* ideal pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK harus menyelesaikan masalah-masalah ini.

Model *green school* ideal pada Program Keahlian Teknik Otomotif, seharusnya juga mengestimasi jumlah emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin-mesin otomotif yang dimilikinya tiap tahun (dalam ton/tahun), baik emisi CO, CO₂, HC, NO_x, SO_x, maupun PM₁₀, dan sekolah menyusun aksi nyata dalam rencana strategis untuk pengendaliannya.

Pada saat siswa dan guru melakukan praktikum di laboratorium dan bengkel otomotif, juga akan dihasilkan sampah dan limbah dari bahan habis pakai seperti limbah oli (*oil waste*), limbah air pendingin radiator (*radiator coolant waste*), air accu (*battery electrolyte*), stempet (*grease*), minyak rem (*brake fluid*), bahan bakar (*fuel*), dan lain-lain yang idealnya sampah dan limbah tersebut juga diperlukan penanganan secara serius, tepat, dan berkelanjutan. Misalnya diciptakan teknologi *oil filter cleaner* untuk membersihkan sisa oli di filter oli bekas agar tidak

mencemari tanah dan air serta jika memungkinkan melakukan perlakuan (*treatment*) pada oli bekas agar ramah lingkungan.

Sanitasi di lingkungan laboratorium, bengkel, dan di kelas idealnya juga harus memperhatikan prinsip pelestarian fungsi lingkungan hidup, pencegahan kerusakan, dan pencegahan pencemaran. Oleh karena itu, model *green school* ideal pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK juga harus menyediakan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) agar air bekas (*grey water*) atau air limbah (*waste water*) bisa dimanfaatkan kembali sehingga ramah lingkungan.

Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa model *green school* ideal pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK harus memperhatikan aspek kesehatan (*Health*), keselamatan (*Safety*), dan lingkungan (*Environment*) yang biasanya di industri disebut sebagai HSE. Saat ini, semua bengkel resmi pasti memiliki Departemen Kesehatan, Keselamatan, dan Lingkungan (*Department of Health, Safety, and Environment/HSE*). Oleh karena itu, implementasi PLH pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK akan memerlukan kajian lingkungan, kebijakan lingkungan, integrasi mata pelajaran produktif dengan PLH, aksi lingkungan berbasis partisipatif dan berbasis bidang keahlian, dan penciptaan dan pengembangan teknologi ramah lingkungan yang komprehensif untuk menyelesaikan masalah-masalah di atas. Harapannya, siswa tidak hanya dibekali dengan pengetahuan, sikap, dan keterampilan di bidang otomotif saja, namun mereka juga dikenalkan tentang PLH yang terintegrasi dengan bidang keahliannya sehingga mereka juga memiliki pengetahuan, sikap, dan perilaku ramah lingkungan

yang akan mengarahkan mereka menuju ke bidang-bidang pekerjaan ramah lingkungan (*green jobs/green skills*) nantinya.

Berdasarkan besarnya potensi sampah, limbah, polutan/emisi, dan kebisingan pada Program Keahlian Teknik Otomotif serta dampak yang ditimbulkannya, maka perlu segera dicarikan solusi cerdas untuk mengatasinya. Oleh karena itu, pengembangan model sekolah hijau (*green school*) yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK mutlak harus segera dilakukan.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah di atas, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Implementasi MDGs belum mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan.
2. Implementasi ESD belum mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan.
3. Kebijakan lingkungan yang dibuat di SMK belum berbasis kompetensi keahlian yang ada di sekolah.
4. SMK belum memiliki dokumen kajian lingkungan sekolah (KLS) berbasis kompetensi keahlian yang ada di sekolah.
5. Masih banyak SMK yang belum memiliki anggaran untuk upaya PPLH sebesar 20% dari total anggaran sekolah.
6. Ditinjau dari kurikulum, struktur kurikulum yang memuat upaya PPLH dalam komponen mata pelajaran wajib hanya terdapat pada mata pelajaran normatif dan adaptif saja yang dilaksanakan secara terintegrasi dan Muatan Lokal PLH

yang dilaksanakan secara monolitik serta belum mengarah pada mata pelajaran produktif yang merupakan inti/ciri khas dari SMK.

7. Tidak ada Silabus dan RPP mata pelajaran produktif yang terintegrasi dengan PLH.
8. Masih terdapat 28,58% - 42,86% guru yang belum mengembangkan indikator pembelajaran dan instrumen penilaian yang terkait dengan PPLH.
9. Masih terdapat 28,56% - 42,86% guru yang belum menyusun rancangan pembelajaran yang terkait dengan PPLH.
10. Masih terdapat 40%-50% peserta didik (siswa) yang belum menghasilkan karya nyata yang terkait dengan PPLH.
11. Efisiensi penggunaan listrik, air, dan ATK di sekolah baru mencapai 15,25%.
12. Kantin sekolah masih menjual makanan/minuman yang berbasis 5 P (Pewarna, Perasa, Pengenyal, Pengawet, dan Pemanis) dan dikemas secara tidak ramah lingkungan, seperti menggunakan plastik, styrofoam, dan bahkan aluminum foil.
13. Bangunan laboratorium, bengkel, kelas dan ruang Unit Jasa dan Produksi (UJP) belum didesain seperti konsep *green/smart bulding*.
14. Sarana pendukung ramah lingkungan yang ada di sekolah kurang mencerminkan kebutuhan sekolah dan tidak berdasarkan hasil kajian lingkungan yang komprehensif sehingga terkesan imitasi dari sekolah lain.
15. Sekolah belum mengestimasi jumlah emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin-mesin otomotif yang dimilikinya tiap tahun (dalam ton/tahun), baik emisi

CO, CO₂, HC, NO_x, SO_x, maupun PM₁₀, dan belum menyusun aksi nyata dalam bentuk rencana strategis untuk pengendaliannya.

16. Belum tersedia teknologi reduksi emisi gas buang di SMK seperti (1) *catalytic converter*; (2) *diesel particulate filter* (DPF); (3) *thermal reactor*; dan (9) teknologi penghemat bahan bakar.
17. Belum tersedia teknologi peredam kebisingan, baik dari sisi gedung laboratorium, bengkel maupun mesin-mesin otomotif yang dipakai praktikum di SMK.
18. Belum tersedia teknologi pengelolaan limbah oli seperti *oil filter cleaner* di SMK.

C. Pembatasan Masalah

Mengingat luasnya aspek permasalahan pada latar belakang masalah, maka fokus penelitian ini dibatasi hanya pada pengembangan model sarana ramah lingkungan pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK. Pengembangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif ini diharapkan mampu meningkatkan dan memaksimalkan praksis implementasi program adiwiyata di SMK. Kajian dibatasi pada SMK Bidang Keahlian Teknologi dan Rekayasa Program Keahlian Teknik Otomotif dengan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Kajian lingkungan sekolah (KLS) hanya dibatasi pada Kompetensi Keahlian Teknik Kendaraan Ringan Otomotif dan Kompetensi Keahlian Teknik dan Bisnis Sepeda Motor.

2. Pengembangan model kajian lingkungan sekolah (KLS) dilakukan berdasarkan UU No. 32/2009 tentang PPLH, Permen LH No. 05/ 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata, isu-isu lingkungan (internasional, nasional, dan lokal), dan persyaratan HSE di Dunia Usaha/Dunia Industri (DU/DI).
3. Pengembangan teknologi reduksi emisi gas buang kendaraan bermotor (mobil bensin) dilakukan dengan cara membuat teknologi, seperti: *catalytic converter*.
4. Pengembangan teknologi reduksi opasitas gas buang kendaraan bermotor (mobil diesel) dilakukan dengan cara membuat teknologi, seperti: *diesel particulate trap (DPT)/diesel particulate filter (DPF)*.
5. Pengembangan teknologi reduksi kebisingan kendaraan bermotor dilakukan dengan membuat knalpot (*muffler*) rendah kebisingan (*eco-muffler*), seperti: *off-set tube type muffler, three pass tube type muffler, dan straight-through type muffler* yang dikombinasikan dengan *glasswool*.
6. Pengembangan teknologi pengelolaan limbah cair hanya dibatasi pada *oil filter cleaner*.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan pembatasan masalah di atas, rumusan masalah yang diangkat adalah:

1. Seperti apakah model kajian lingkungan sekolah (KLS) yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK?
2. Bagaimana mengembangkan teknologi reduksi emisi gas buang kendaraan bermotor?

3. Bagaimana mengembangkan teknologi reduksi opasitas gas buang kendaraan bermotor?
4. Bagaimana mengembangkan teknologi reduksi kebisingan kendaraan bermotor?
5. Bagaimana mengembangkan teknologi pengelolaan limbah cair, seperti limbah oli?
6. Seperti apakah model ideal sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK?

E. Tujuan Pengembangan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian pengembangan ini adalah:

1. Menghasilkan model kajian lingkungan sekolah (KLS) yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.
2. Menghasilkan teknologi reduksi emisi gas buang kendaraan bermotor.
3. Menghasilkan teknologi reduksi opasitas gas buang kendaraan bermotor.
4. Menghasilkan teknologi reduksi kebisingan kendaraan bermotor.
5. Menghasilkan teknologi pengelolaan limbah cair, seperti limbah oli.
6. Menghasilkan model ideal sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.

F. Spesifikasi Produk yang Dikembangkan

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian yang telah ditetapkan, maka penelitian ini termasuk penelitian dan pengembangan (*Research &*

Development/R & D). Penelitian dan pengembangan berorientasi pada produk, dimana proses pengembangannya dideskripsikan seteliti mungkin, produk diujicobakan, dianalisis, dan akhirnya direvisi, sehingga menjadi sebuah model akhir. Produk dari penelitian ini adalah model sekolah hijau (*green school*) yang tepat pada Program Studi Teknik otomotif yang digunakan untuk meningkatkan kualitas implementasi PLH yang ada di SMK.

Rancangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK berlandaskan pada hal-hal pokok sebagai berikut:

1. Identifikasi sarana ramah lingkungan yang dibutuhkan pada Program Keahlian Teknik Otomotif Kompetensi Keahlian Teknik Kendaraan Ringan Otomotif dan Kompetensi Keahlian Teknik dan Bisnis Sepeda Motor di SMK diperoleh melalui survey langsung ke DU/DI yang memiliki Departemen Kesehatan, Keselamatan, dan Lingkungan (HSE).
2. Pengembangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK membutuhkan sejumlah perangkat dan media/sumber belajar. Secara rinci spesifikasi produk yang akan dikembangkan pada penelitian ini adalah:
 - a. Model kajian lingkungan sekolah (KLS) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.
 - b. Teknologi reduksi emisi gas buang kendaraan bermotor.
 - c. Teknologi reduksi opasitas gas buang kendaraan bermotor.
 - d. Teknologi reduksi kebisingan kendaraan bermotor.
 - e. Teknologi pengelolaan limbah oli dengan *oil filter cleaner*.

- f. Panduan penggunaan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.

G. Manfaat Pengembangan

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan secara teoritis dapat menghasilkan sebuah model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK yang dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi teori untuk menambah khasanah ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang manajemen sekolah adiwiyata (*green school*) di Tingkat Nasional/Mandiri.

2. Manfaat Praktis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi:

- a. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan sebagai dasar untuk mengembangkan kebijakan, program, panduan, materi pembinaan, dan model sekolah adiwiyata (*green school*) yang ideal di SMK.
- b. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan (Direktorat PSMK) Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan sebagai dasar untuk merumuskan dan mengembangkan kebijakan tentang model SMK Adiwiyata Tingkat Nasional/Mandiri secara nasional.

- c. Dinas Pendidikan Provinsi dan Kabupaten/Kota sebagai dasar untuk mengembangkan model SMK adiwiyata (*green school*) sehingga dapat meningkatkan kualitas lulusan SMK, tidak hanya memiliki sikap, pengetahuan, dan keterampilan di bidang otomotif saja tetapi juga berwawasan lingkungan.
- d. Badan Lingkungan Hidup Provinsi dan Kab/Kota sebagai dasar untuk meningkatkan praksis implementasi PLH di SMK sehingga dapat meningkatkan sikap kepedulian dan budaya lingkungan bagi lulusan SMK.
- e. SMK untuk:
 - 1) mendukung pencapaian standar kompetensi/kompetensi dasar dan standar kompetensi lulusan (SKL) pendidikan menengah;
 - 2) meningkatkan efisiensi penggunaan dana operasional sekolah melalui penghematan dan pengurangan konsumsi dari berbagai sumber daya dan energi;
 - 3) menciptakan kebersamaan warga sekolah dan kondisi belajar mengajar yang lebih nyaman dan kondusif;
 - 4) menjadi tempat pembelajaran tentang nilai-nilai pemeliharaan dan pengelolaan lingkungan hidup yang baik dan benar bagi warga sekolah dan masyarakat sekitar, dan
 - 5) meningkatkan upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup melalui kegiatan pengendalian pencemaran, pengendalian kerusakan, dan pelestarian fungsi lingkungan di sekolah.

- f. Para peneliti bidang pendidikan kejuruan sehingga menjadi salah satu rujukan dalam kegiatan penelitian dan pengembangan model SMK adiwiyata (*green school*) di Indonesia.

H. Asumsi Pengembangan

Dalam penelitian dan pengembangan ini diberikan beberapa asumsi:

1. SMK yang akan dijadikan model *green school* adalah sekolah yang telah memenuhi kriteria minimal sebagai sekolah adiwiyata tingkat nasional/mandiri yang telah menerapkan 4 komponen adiwiyata berdasarkan Permen LH No. 05/2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata dan telah menerapkan 8 Standar Nasional Pendidikan (SNP).
2. Implementasi model *green school* pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK merupakan upaya pembiasaan perilaku peduli lingkungan hidup bagi seluruh warga sekolah (kepala sekolah, guru, tenaga kependidikan, petugas layanan khusus sekolah, siswa, komite sekolah, dan mitra sekolah).

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development*)

1. Definisi Pembangunan Berkelanjutan

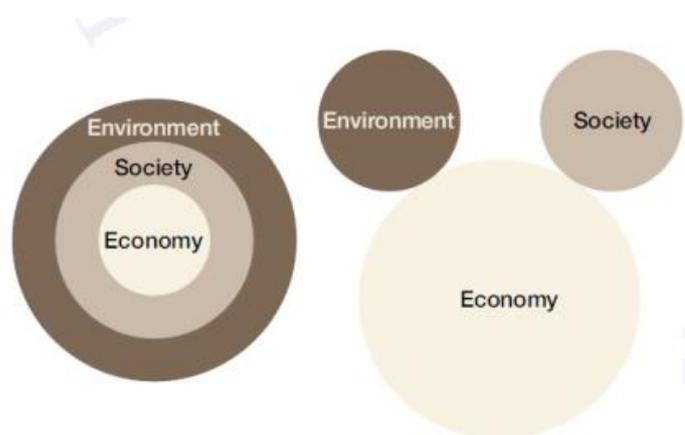
Proses panjang pembangunan disegala bidang pada dasarnya adalah keinginan manusia untuk memenuhi kebutuhan atau kesejahteraan hidup. Segala upaya eksploitasi sumber daya alam dilakukan dan dengan berjalannya waktu baru disadari bahwa kerusakan alam yang telah dilakukan akan mengancam kehidupan dan generasi masa depan (Utomo, Utaya, Mahanal, Rohman, Hartono, Zakia, & Hidayat, 2009: 1).

Kesadaran terhadap lingkungan ini selanjutnya dituangkan dalam berbagai kesepakatan diantaranya adalah pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*). Pembangunan berkelanjutan adalah paradigma menyeluruh dari Persatuan Bangsa-Bangsa (PBB). Konsep pembangunan berkelanjutan digambarkan oleh Laporan Komisi Brundtland (*Brundtland Commission Report*) pada tahun 1987 sebagai “*development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs*”. Pembangunan yang memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri (UNESCO, 2012a).

Keberlanjutan (*sustainability*) adalah paradigma untuk berpikir tentang masa depan dengan mempertimbangkan lingkungan, sosial dan ekonomi yang

seimbang dalam mengejar pembangunan dan perbaikan kualitas hidup. Ketiga bidang - masyarakat, lingkungan dan ekonomi - saling terkait. Misalnya, masyarakat yang sejahtera bergantung pada lingkungan yang sehat untuk menyediakan makanan dan sumber daya, air minum yang aman, dan udara bersih bagi warganya (UNESCO, 2012a).

Paradigma berkelanjutan adalah perubahan besar dari paradigma sebelumnya tentang pembangunan ekonomi dengan konsekuensi kerusakan lingkungan dan sosial. Sampai saat ini konsekuensi ini dapat dilihat dan tak terelakkan. Namun, kita sekarang menyadari bahwa kerusakan besar atau ancaman serius terhadap kesejahteraan manusia dan lingkungan dalam mengejar pembangunan ekonomi tidak ditempatkan dalam paradigma berkelanjutan (UNESCO, 2012a).



Gambar 1. Visualisasi Keberlanjutan (*Sustainability*)
Sumber: UNESCO (2012a)

Kita kemudian mungkin bertanya, apa perbedaan antara pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) dan keberlanjutan (*sustainability*)? Keberlanjutan sering dianggap sebagai tujuan jangka panjang (yaitu dunia yang

lebih berkelanjutan), sementara pembangunan berkelanjutan mengacu pada banyak proses dan jalur untuk mencapai itu (misalnya pertanian dan kehutanan berkelanjutan, produksi dan konsumsi berkelanjutan, pemerintahan yang baik, penelitian dan transfer teknologi, pendidikan dan pelatihan, dll) (UNESCO, 2012a).

Pembangunan berkelanjutan merupakan terjemahan dari kata "*sustainable development*" yang sangat populer digunakan di negara-negara barat. Penggunaan istilah "pembangunan berkelanjutan" secara resmi digunakan pertama kali dalam Tap MPR No. IV/MPR/1999 tentang Garis-Garis Besar Haluan Negara (GBHN). Sedangkan penggunaan istilah "pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan hidup" digunakan pertama kali dalam UU Nomor 23 Tahun 1997 Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup. Selain itu, juga dikenal istilah "lingkungan dan pembangunan", yang sebelumnya lebih populer dengan istilah "pembangunan yang berwawasan lingkungan" sebagai terjemahan dari kata "*eco-development*" (Utomo et.al., 2009: 2).

Sejak tahun 1980-an, agenda politik lingkungan hidup mulai dipusatkan pada paradigma pembangunan berkelanjutan (Keraf, 2014). Pertama kali istilah "*sustainable development*" muncul dalam *World Conservation Strategy Living Resource Conservation for Sustainable Development* dari kegiatan *The International Union for Conservation of Nature and Natural Resources/IUCN* (1980) yang bekerjasama dengan *United Nations Environment Programme* (UNEP) dan *World Wildlife Fund* (WWF). Istilah tersebut kemudian dipakai

oleh Brown dalam bukunya yang berjudul “*Building a Sustainable Society*” (1981). Selanjutnya, istilah tersebut menjadi sangat populer melalui Laporan Komisi Brundtland (*Brundtland Commission Report*, 1987) yang berjudul *Our Common Future*.

Tahun 1992 merupakan puncak dari proses politik, yang akhirnya pada Konferensi PBB tentang Lingkungan dan Pembangunan (*The United Nations Conference on Environment and Development*), juga disebut KTT Bumi (*Earth Summit*) di Rio de Janeiro, Brazil, paradigma pembangunan berkelanjutan diterima sebagai sebuah agenda politik pembangunan untuk semua negara di dunia. Muncullah Deklarasi Rio (*Rio Declaration*). Sebanyak 172 negara berpartisipasi, termasuk 108 kepala negara atau pemerintah. Agenda 21 adalah dokumen resmi dari KTT Bumi (UNESCO, 2012a).

Selain UNESCO, ada sejumlah pakar di Indonesia yang memberikan definisi tentang pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*), yaitu:

- a. “suatu proses pembangunan yang mengoptimalkan manfaat dari sumber daya alam dan sumberdaya manusia dengan menyerasikan sumberdaya alam dengan manusia dalam pembangunan (Salim, 1985)”;
- b. jenis pembangunan yang mengacu pada pemanfaatan sumber-sumber alam dan sumber daya manusia secara optimal, serta memelihara keseimbangan di antara berbagai tuntutan yang saling bertentangan terhadap sumberdaya tersebut (Ignas Kleden);
- c. suatu proses pembangunan dimana pengembangan teknologi dan perubahan kelembagaannya dilakukan secara harmonis dengan memperhatikan potensi

saat ini dan masa depan dalam pemenuhan kebutuhan dan aspirasi masyarakat (Sofyan Effendi); dan

- d. “transformasi progresif terhadap struktur sosial, ekonomi dan politik untuk meningkatkan kepastian masyarakat dalam memenuhi kepentingannya pada saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kepentingan mereka (Sofyan Effendi)”.

Dari berbagai literatur dan pendapat di atas, maka dapat disimpulkan bahwa pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) adalah pembangunan untuk memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhannya dengan memperhatikan 3 aspek, yaitu lingkungan, sosial dan ekonomi yang seimbang dalam mengejar pembangunan dan perbaikan kualitas hidup.

2. Landasan Hukum Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia

Sebagai tindak lanjut dari “Konferensi PBB tentang Manusia dan Lingkungan” atau *United Nations Conference on The Human and Environment* (UN, 1972) untuk tingkat global dan seminar “Pengelolaan Lingkungan Hidup Manusia dan Pembangunan Nasional” untuk tingkat nasional (Universitas Padjadjaran, 1972), pemerintah Indonesia tidak hanya memasukkan aspek lingkungan hidup dalam GBHN sejak tahun 1973 saja, tetapi juga membentuk institusi atau lembaga yang membidangi lingkungan hidup. Pada tahun 1998, telah dibentuk Menteri Negara Pengawasan Pembangunan dan Lingkungan Hidup (PPLH). Pada tahun 2002, dirubah menjadi Menteri Negara

Kependudukan dan Lingkungan Hidup (KLH). Pada tahun 2003, dirubah menjadi Menteri Negara Lingkungan Hidup (LH). Akhirnya pada tahun 2015, dirubah menjadi Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK). Kementerian ini mempunyai peranan yang sangat penting dan strategis dalam memberi landasan lingkungan bagi pelaksanaan pembangunan di Indonesia.

Dalam Undang-Undang Ketentuan-ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup Secara Terpadu (Undang-Undang Nomor 14 Tahun 1982 tentang Ketentuan-ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup Secara Terpadu) disebutkan bahwa adalah suatu keharusan untuk mengkaitkan pelaksanaan pembangunan dengan pengelolaan lingkungan hidup melalui apa yang dinamakan pembangunan berwawasan lingkungan. Dalam pasal 1 butir 13 dalam UU tersebut disebutkan bahwa *“pembangunan berwawasan lingkungan adalah upaya sadar dan terencana menggunakan dan mengelola sumber daya secara bijaksana dalam pembangunan yang berkesinambungan untuk meningkatkan mutu hidup”*.

Selanjutnya UU No. 4 Tahun 1982 dicabut dan digantikan dengan UU No. 23 Tahun 1997 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Dalam pasal 1 butir 3 UU tersebut disebutkan bahwa *pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan hidup adalah upaya sadar dan terencana, yang memadukan lingkungan hidup, termasuk sumber daya ke dalam proses pembangunan untuk menjamin kemampuan, kesejahteraan dan mutu hidup generasi masa kini dan masa depan* (Undang-Undang Nomor 23 Tahun 1997 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup).

Dalam perkembangannya, UU No. 23 Tahun 1997 tersebut juga dicabut dan digantikan dengan UU No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Dalam pasal 1 butir 3 UU tersebut disebutkan bahwa *pembangunan berkelanjutan adalah upaya sadar dan terencana yang memadukan aspek lingkungan hidup, sosial, dan ekonomi ke dalam strategi pembangunan untuk menjamin keutuhan lingkungan hidup serta keselamatan, kemampuan, kesejahteraan, dan mutu hidup generasi masa kini dan generasi masa depan* (Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup).

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa landasan hukum pembangunan berkelanjutan di Indonesia ada 3 jenis, yaitu: (1) UU No. 14 Tahun 1982 tentang Ketentuan-ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup Secara Terpadu, (2) UU No. 23 Tahun 1997 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, dan (3) UU No. 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

3. Prinsip-prinsip Pembangunan Berkelanjutan

Menurut Utomo et al. (2009: 10), prinsip-prinsip kehidupan yang berkelanjutan ada 9 prinsip, yaitu:

- a. menghormati dan memelihara komunitas kehidupan,
- b. memperbaiki kualitas hidup manusia,
- c. melestarikan daya hidup dan keragaman bumi,
- d. menghindari sumber daya yang tidak terbarukan,

- e. berusaha tidak melampaui kapasitas yang tidak terbarukan,
- f. mengubah sikap dan gaya hidup orang per orang,
- g. mendukung kreativitas masyarakat untuk memelihara lingkungan sendiri,
- h. menyediakan kerangka kerja nasional untuk melakukan upaya pembangunan pelestarian, dan
- i. menciptakan kerja sama global.

Sedangkan menurut UNESCO (2012a), prinsip yang menyertai pembangunan berkelanjutan adalah perspektif yang telah menjadi bagian dari dialog keberlanjutan global, yaitu:

- a. Sebuah sistem berpikir pendekatan, bukan sebuah pendekatan yang melihat masalah dalam isolasi yang harus digunakan. Isu keberlanjutan selalu dikaitkan dan merupakan bagian dari "keseluruhan".
- b. Memahami isu-isu lokal dalam konteks global dan mengakui bahwa solusi untuk masalah lokal dapat memiliki konsekuensi global.
- c. Menyadari bahwa keputusan konsumen individu mempengaruhi dan menimbulkan sumber daya ekstraksi dan manufaktur di tempat yang jauh.
- d. Mempertimbangkan perbedaan pandangan sebelum mencapai keputusan atau pertimbangan.
- e. Menyadari bahwa nilai-nilai ekonomi, nilai-nilai agama, dan nilai-nilai sosial bersaing untuk kepentingan manusia dengan perbedaan minat dan latar belakang yang berbeda.
- f. Melihat semua manusia memiliki atribut/kebutuhan universal.

- g. Mengetahui bahwa teknologi dan ilmu pengetahuan saja tidak bisa memecahkan semua masalah.
- h. Menekankan peran partisipasi masyarakat dalam pengambilan keputusan masyarakat dan pemerintah. Orang hidup dipengaruhi oleh keputusan, maka harus terlibat dalam proses menuju keputusan.
- i. Menekankan transparansi dan akuntabilitas dalam pengambilan keputusan pemerintah.
- j. Menekankan prinsip kehati-hatian - mengambil tindakan untuk menghindari kemungkinan serius atau kerusakan lingkungan atau sosial bahkan ketika pengetahuan ilmiah tidak lengkap atau tidak meyakinkan.

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa prinsip pembangunan berkelanjutan ada 7 prinsip, yaitu: (1) prinsip ekonomi, (2) prinsip sosial, (3) prinsip agama, (4) prinsip partisipatif, (5) prinsip transparansi, (6) prinsip akuntabilitas, dan (7) prinsip kehati-hatian.

B. Sekolah Hijau (*Green School*)

1. Sejarah Program Adiwiyata

Pada tahun 1996, telah disepakati kerjasama pertama antara Departemen Pendidikan Nasional dan Kementerian Negara Lingkungan Hidup tentang pendidikan lingkungan hidup (PLH) di Indonesia. Kerjasama tersebut diperbaharui lagi pada tahun 2005 dan tahun 2010. Pada tahun 2006, Kementerian Lingkungan Hidup mengembangkan program PLH pada jenjang pendidikan dasar dan menengah melalui “Program Adiwiyata” sebagai tindak

lanjut dari kesepakatan tahun 2005. Program adiwiyata pertama kali dilaksanakan di wilayah Pulau Jawa dengan melibatkan berbagai *stakeholders* mulai dari instansi pemerintah, perguruan tinggi maupun LSM yang bergerak di bidang pendidikan lingkungan hidup (Tim Adiwiyata Tingkat Nasional, 2011).

Pada dasarnya, pelaksanaan program adiwiyata merupakan amanah dari UU No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Dalam pasal 65 butir 2 disebutkan bahwa “*setiap orang berhak mendapatkan pendidikan lingkungan hidup, akses informasi, akses partisipasi, dan akses keadilan dalam memenuhi hak atas lingkungan hidup yang baik dan sehat*”. Oleh karena itu, sebagai tindak lanjut dari UU No. 32 Tahun 2009 adalah dengan dikeluarkannya Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 02 Tahun 2009 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata (yang sekarang disempurnakan menjadi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata). Secara aturan atau dasar hukum, pelaksanaan program adiwiyata sudah seharusnya berjalan di semua sekolah di Indonesia (Tim Adiwiyata Tingkat Nasional, 2011).

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa program adiwiyata (*green school*) di Indonesia pada awalnya diinisiasi oleh 2 kementerian, yaitu Departemen Pendidikan Nasional dan Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun 1996 dengan mulai diterapkannya pendidikan lingkungan hidup (PLH) di

jenjang pendidikan formal dan dalam pelaksanaannya didukung oleh sejumlah undang-undang dan peraturan.

2. Pengertian Sekolah Hijau (*Green School*)

Tidak ada definisi standar tentang sekolah hijau (*green school*). Ada beberapa istilah yang sering digunakan secara bergantian, yaitu istilah "hijau/*green*", "sehat/*healthy*", "berkelanjutan/*sustainable*", dan "kinerja tinggi/*high performance*". Namun, ada beberapa prinsip yang sering dipakai untuk mendefinisikan sekolah hijau, yaitu: melindungi lingkungan, menurunkan biaya operasional, meningkatkan kesehatan dan kualitas lingkungan belajar, dan mengintegrasikan kesempatan belajar dengan lingkungan (ZAS Architects Inc.).

Sekolah hijau (*green school*) adalah sekolah yang hemat energi, sekolah berkinerja tinggi yang dapat bermanfaat bagi lingkungan, ekonomis dalam pembangunan dan pengoperasian, dan menawarkan peningkatan lingkungan belajar. Topik tentang sekolah hijau (*green school*) meningkat belakangan ini, didorong oleh kesadaran lingkungan yang lebih besar dan peningkatan energi serta biaya.

United States Green Building Council (USGBC, 2008), di situsnya greenschoolbuildings.org telah mendefinisikan sekolah hijau sebagai bangunan atau fasilitas yang menciptakan lingkungan yang sehat dan kondusif untuk belajar serta penghematan energi, sumber daya dan biaya sekolah.

Gordon (2010) menyatakan bahwa sekolah hijau merupakan hasil fisik proses konsensus perencanaan, desain, dan konstruksi yang memperhitungkan kinerja bangunan dalam siklus hidup 50-60 tahun secara menyeluruh. Gordon lebih lanjut menunjukkan bahwa sekolah hijau dibangun sehingga dapat memberikan udara yang bersih dan segar, rentang suhu yang nyaman, pencahayaan berlimpah, dan gangguan kebisingan yang rendah ketika semuanya memaksimalkan efisiensi sumber daya, meminimalkan polusi, dan mengajar kepada siswa tentang pentingnya inovasi dalam lingkungan.

Gary Bailey, Wakil Presiden Desain Inovatif, dalam sesi wawancara dengan Olson dan Kellum (2003) sepakat bahwa sekolah yang berkelanjutan atau sekolah hijau dapat menciptakan lingkungan belajar yang lebih baik. Konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) mencerminkan pemahaman bahwa kita harus memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Sebuah sekolah yang berkelanjutan tidak hanya mencakup konsep keberlanjutan, tetapi dalam dirinya sendiri, merupakan alat pengajaran untuk keberlanjutan (Ramli et al., 2012).

Secara bahasa, *green school* atau sekolah hijau, bukan hanya tampilan fisik sekolah yang hijau atau rindang, tetapi wujud sekolah yang memiliki program dan aktivitas pendidikan yang mengarah pada kesadaran dan kearifan terhadap lingkungan hidup. *Green school* yaitu sekolah yang memiliki komitmen dan secara sistematis mengembangkan program program tertentu untuk menginternalisasikan nilai-nilai lingkungan ke dalam seluruh aktivitas

sekolah. Tampilan fisik sekolah ditata secara ekologis sehingga menjadi wahana pembelajaran bagi seluruh warga sekolah untuk bersikap arif dan berperilaku ramah lingkungan.

Sedangkan Program Adiwiyata adalah salah satu program Kementerian Negara Lingkungan Hidup dalam rangka mendorong terciptanya pengetahuan dan kesadaran warga sekolah dalam upaya pelestarian lingkungan hidup. Dalam program ini diharapkan setiap warga sekolah ikut terlibat dalam kegiatan sekolah menuju lingkungan yang sehat serta menghindari dampak lingkungan yang negatif.

Dalam pelaksanaannya, Kementerian Negara Lingkungan Hidup bekerja sama dengan para *stakeholders*, menggulirkan program adiwiyata ini dengan harapan dapat mengajak warga sekolah melaksanakan proses belajar mengajar materi lingkungan hidup dan turut berpartisipasi melestarikan serta menjaga lingkungan hidup di sekolah dan sekitarnya.

Kata Adiwiyata berasal dari 2 kata sansekerta, yaitu “Adi” dan “Wiyata”. “Adi” mempunyai arti: besar, agung, baik, ideal atau sempurna. Sedangkan “Wiyata” mempunyai arti: tempat dimana seseorang mendapatkan ilmu pengetahuan, norma dan etika dalam berkehidupan sosial. Jika kedua kata tersebut digabung, maka Adiwiyata adalah “*tempat yang baik dan ideal dimana dapat diperoleh segala ilmu pengetahuan dan berbagai norma serta etika yang dapat menjadi dasar manusia menuju terciptanya kesejahteraan hidup dan menuju kepada cita-cita pembangunan yang berkelanjutan*” (Tim Adiwiyata Tingkat Nasional, 2011).

Dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup RI Nomor 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata juga disebutkan bahwa “*Adiwiyata adalah sekolah yang baik dan ideal sebagai tempat memperoleh segala ilmu pengetahuan dan berbagai norma serta etika yang dapat menjadi dasar manusia menuju terciptanya kesejahteraan hidup dan cita-cita pembangunan berkelanjutan*”.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa sekolah hijau (*green school*) adalah sekolah yang baik dan ideal yang menciptakan lingkungan yang sehat dan kondusif untuk belajar serta penghematan energi, sumber daya dan biaya sekolah sehingga menjadi sekolah yang peduli dan berbudaya lingkungan untuk mendukung pembangunan berkelanjutan.

3. Pengertian dan Tujuan Program Adiwiyata

Di Indonesia, istilah *green school program* disebut dengan program adiwiyata yaitu salah satu program Kementerian Negara Lingkungan Hidup dan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dalam rangka mendorong terciptanya pengetahuan dan kesadaran warga sekolah dalam pelestarian fungsi lingkungan hidup.

Menurut Tim Adiwiyata Tingkat Nasional (2011: 3), *green school* atau adiwiyata mempunyai pengertian atau makna sebagai tempat yang baik dan ideal dimana dapat diperoleh segala ilmu pengetahuan dan berbagai norma serta etika yang dapat menjadi dasar manusia menuju terciptanya kesejahteraan hidup dan menuju kepada cita cita pembangunan berkelanjutan. Dalam program ini

diharapkan semua warga sekolah ikut terlibat dalam kegiatan sekolah menuju lingkungan yang sehat serta menghindari dampak lingkungan yang negatif.

Sedangkan tujuan program adiwiyata adalah mewujudkan warga sekolah yang bertanggung jawab dalam upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup melalui tata kelola sekolah yang baik untuk mendukung pembangunan berkelanjutan (Tim Adiwiyata Tingkat Nasional, 2011).

Tujuan program adiwiyata adalah menciptakan kondisi yang baik bagi sekolah untuk menjadi tempat pembelajaran dan penyadaran warga sekolah, sehingga warga sekolah dapat turut bertanggungjawab dalam upaya-upaya penyelamatan lingkungan hidup dan pembangunan berkelanjutan.

Kegiatan utama program adiwiyata adalah mewujudkan kelembagaan sekolah yang peduli dan berbudaya lingkungan bagi sekolah dasar dan menengah di Indonesia. Dengan program ini, diharapkan dalam setiap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi selalu dikaji bagaimana teknologi tersebut dapat menyeimbangkan daya dukung lingkungan (Tim Adiwiyata Tingkat Nasional, 2011).

Menyikapi perkembangan lingkungan hidup, metode pendidikan lingkungan hidup, dan untuk meningkatkan pengetahuan serta pemahaman mengenai wawasan lingkungan hidup kepada peserta didik dan masyarakat, pada tanggal 2 Juni 2005 telah ditandatangani kesepakatan bersama (*Memorandum of Understanding/MoU*) antara Menteri Negara Lingkungan Hidup dan Menteri Pendidikan Nasional. Sebagai realisasi dari MoU tersebut, pada tanggal 21 Februari 2006 telah dicanangkan program *green school* atau

yang dikenal dengan sekolah adiwiyata yaitu sekolah yang peduli dan berbudaya lingkungan.

Green school dalam konsep adiwiyata adalah sekolah yang mampu mengoptimalkan potensi sumberdaya alam sebagai solusi pemecahan permasalahan yang dihadapi oleh warga sekolah. Adapun komponen-komponen lain menjadi pelengkap yang disesuaikan oleh kondisi lingkungan sekolah. *Green school* memiliki sasaran untuk seluruh warga sekolah. Dengan maksud untuk membangun serta menggali partisipasi warga sekolah dalam kegiatan-kegiatan yang memiliki muatan pengelolaan dan pelestarian fungsi lingkungan.

Dalam pelaksanaannya, Kementerian Negara Lingkungan Hidup bekerjasama dengan berbagai *stakeholder*, menggulirkan *green school* atau adiwiyata ini dengan harapan dapat mengajak warga sekolah melaksanakan proses belajar mengajar materi lingkungan hidup dan ikut berpartisipasi melestarikan serta menjaga lingkungan hidup di sekolah dan sekitarnya.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa tujuan sekolah hijau (*green school*) ada empat aspek yaitu: (1) untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup, (2) untuk mengendalikan pencemaran lingkungan hidup, (3) untuk mengendalikan kerusakan lingkungan hidup, dan (4) untuk mendukung pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*).

4. Manfaat Penerapan Sekolah Adiwiyata (*Green School*)

Menurut Kats, Perlman, & Jamadagni (2005), “manfaat sekolah hijau adalah menghemat biaya energi; pengurangan emisi, air dan air limbah; kesehatan; manfaat belajar; dan keuntungan finansial”. Sedangkan menurut Kats (2006), sekolah hijau memberikan manfaat keuangan 20 kali lebih besar daripada sekolah konvensional. Berdasarkan hasil kajian, biaya sekolah hijau berkurang 2% dari sekolah konvensional di Amerika. Desain sekolah hijau menyediakan cara penghematan biaya yang luar biasa untuk meningkatkan pembelajaran siswa, mengurangi biaya operasional kesehatan yang pada akhirnya meningkatkan kualitas sekolah dan daya saing.

Gordon (2010) setuju bahwa sekolah hijau akan memungkinkan siswa untuk belajar di lingkungan dalam ruangan yang lebih sehat dan membantu menghemat energi dan air. Gordon (2010) lebih lanjut menunjukkan bahwa sekolah hijau juga menghemat uang dalam biaya operasional. Menghemat pemakaian uang dalam kegiatan operasional dan pemeliharaan gedung sekolah hijau bermanfaat bagi warga sekolah karena membebaskan mereka dari dana operasional yang lebih banyak untuk gaji guru, biaya pembelian peralatan dan kegiatan sekolah.

Dalam sebuah survei yang dilakukan oleh *Turner Construction Company*, salah satu kontraktor umum terkemuka di AS, menunjukkan bahwa biaya pembangunan *green building* lebih sedikit dari apa yang masyarakat umum pikirkan, tetapi kesalahpahaman ini masih merupakan kendala utama bagi orang-orang untuk menerima pembangunan bangunan hijau (*green building*).

Turner Green Building Survey tahun 2005 menekankan bahwa manfaat dari desain sekolah hijau dapat dibagi menjadi tiga, yaitu manfaat keuangan, manfaat lingkungan bagi siswa dan guru, serta manfaat sosial (Ramli et al., 2012).

Secara lebih detail, Kats et al. (2005) menjelaskan bahwa sekolah hijau menggunakan rata-rata 33% lebih sedikit energi daripada sekolah yang dirancang secara konvensional. Peningkatan kinerja energi yang umum termasuk pencahayaan yang lebih efisien, penggunaan yang lebih besar dari pencahayaan alami dan sensor, pemanasan dan sistem pendingin lebih efisien, dan dinding serta atap terisolasi dengan baik. Sedangkan *National Research Council* (2006) di Amerika Serikat menyebutkan bahwa desain sekolah hijau mampu mengurangi penggunaan air rata-rata sebesar 32%. Hal ini akan menghemat biaya gedung sekolah, mengurangi polusi, menurunkan biaya infrastruktur dan pemeliharaan serta menurunkan biaya untuk mengangkut dan mengolah air limbah.

Selanjutnya, desain sekolah hijau memberikan manfaat tambahan yang tidak dapat dihitung seperti berkurangnya guru yang sakit, biaya pemeliharaan dan operasional berkurang, mengurangi risiko yang dipertanggungjawabkan dan tidak diasuransikan, peningkatan kualitas daya dan keandalan, peningkatan daya saing negara, mengurangi kesenjangan sosial, dan pengayaan pendidikan seperti yang dilaporkan oleh Kats (2006).

USGBC juga meneliti manfaat dari sekolah yang berkelanjutan atau sekolah hijau. Manfaat yang luas, mulai dari dampak pada kesehatan siswa,

nilai ujian, dan retensi guru untuk mengurangi biaya operasional (USGBC, 2008). Fasilitas perbaikan yang berkaitan langsung dengan peningkatan kinerja siswa adalah tambahan pencahayaan, meningkatkan kualitas udara dalam ruangan, akustik kelas ditingkatkan, dan suhu dalam ruangan nyaman dan konsisten (USGBC, 2008). Sekolah hijau itu sendiri juga berfungsi sebagai alat pengajaran - menunjukkan kepada siswa, guru, dan orang tua cara-cara praktis dalam mengatasi pemanasan global sekaligus menciptakan lingkungan belajar yang sehat, lebih efisien, dan lebih murah.

Menurut Tim Adiwiyata Tingkat Nasional (2011: 4), keuntungan dalam mengikuti program *green school* atau adiwiyata adalah:

- a. Mendukung pencapaian standar kompetensi/kompetensi dasar dan standar kompetensi lulusan (SKL) pendidikan dasar dan menengah.
- b. Meningkatkan efisiensi penggunaan dana operasional sekolah melalui penghematan dan pengurangan konsumsi dari berbagai sumber daya dan energi.
- c. Menciptakan kebersamaan warga sekolah dan kondisi belajar mengajar yang lebih nyaman dan kondusif.
- d. Menjadi tempat pembelajaran tentang nilai-nilai pemeliharaan dan pengelolaan lingkungan hidup yang baik dan benar bagi warga sekolah dan masyarakat sekitar.
- e. Meningkatkan upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup melalui kegiatan pengendalian pencemaran, pengendalian kerusakan, dan pelestarian fungsi lingkungan di sekolah.

Sedangkan manfaat dengan adanya sekolah hijau yang lebih universal menurut ZAS Architects Inc. adalah sebagai berikut:

- a. Efisiensi energi (*energy efficiency*).
- b. Kestinambungan keuangan (*financial sustainability*).
- c. Mempromosikan pengelolaan lingkungan (*promoting environmental stewardship*).
- d. Mendemonstrasikan pelestarian lingkungan (*demonstrating environmental sustainability*).
- e. Mendukung prestasi siswa (*supporting student achievement*).

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa manfaat dengan adanya sekolah hijau (*green school*) ada 8, yaitu: (1) efisiensi energi dan berbagai sumber daya, (2) mengurangi sampah/limbah yang ada di sekolah, (3) mengurangi biaya operasional sekolah, (4) melestarikan fungsi lingkungan hidup, (5) mengendalikan pencemaran udara, air, dan tanah, (6) mengendalikan kerusakan lingkungan hidup, (7) menurunkan resiko sakit bagi warga sekolah, (8) mendukung prestasi siswa.

5. Karakteristik Umum Sekolah Adiwiyata (*Green School*)

Pusat Sekolah Hijau (*The Centre of Green School*) di bawah *US Green Building Council* (2008) telah menekankan karakteristik umum sekolah hijau sebagai berikut:

- a. Menghemat energi dan sumber daya alam.
- b. Meningkatkan kualitas udara dalam ruangan.

- c. Menghapus bahan beracun dari tempat di mana siswa belajar dan bermain.
- d. Mempekerjakan strategi pencahayaan dan meningkatkan akustik kelas.
- e. Mengurangi beban air kota dan pengolahan air limbah.
- f. Mendorong upaya pengelolaan limbah yang dapat bermanfaat bagi masyarakat lokal dan daerah.
- g. Menghemat air minum segar dan membantu mengelola aliran air hujan.
- h. Mendorong daur ulang.
- i. Mempromosikan perlindungan habitat.
- j. Mengurangi permintaan pada tempat pembuangan sampah lokal.

Program dan kegiatan yang dikembangkan oleh sekolah hijau (*green school*) harus berdasarkan norma-norma dasar dan berkehidupan yang meliputi antara lain: kebersamaan, keterbukaan, kejujuran, keadilan, dan kelestarian fungsi lingkungan hidup dan sumberdaya alam (Tim Adiwiyata Tingkat Nasional, 2011).

Untuk mewujudkan sekolah hijau (*green school*) yang peduli dan berbudaya lingkungan, menurut Tim Adiwiyata Tingkat Nasional (2011: 4), pelaksanaan *green school program* atau program adiwiyata harus diletakkan pada dua (2) prinsip dasar, yaitu:

- a. Partisipatif (*participatory*)

Komunitas sekolah terlibat dalam manajemen sekolah yang meliputi keseluruhan proses perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi program sekolah hijau (*green school*) sesuai dengan tanggung jawab dan peran masing-masing.

b. Berkelanjutan (*sustainability*)

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa karakteristik sekolah hijau ada 10 dan pelaksanaannya dilakukan dengan 2 prinsip, yaitu partisipatif dan berkelanjutan. Seluruh kegiatan sekolah hijau (*green school*) harus dilakukan secara terencana dan terus menerus secara komprehensif.

6. Komponen Sekolah Adiwiyata (*Green School*)

Untuk mencapai tujuan program adiwiyata, Tim Adiwiyata Tingkat Nasional (2011: 4) telah menetapkan empat (4) komponen program yang menjadi satu kesatuan utuh dalam mencapai sekolah adiwiyata. Keempat komponen tersebut adalah:

- a. Kebijakan berwawasan lingkungan.
- b. Pelaksanaan kurikulum berbasis lingkungan.
- c. Kegiatan lingkungan berbasis partisipatif.
- d. Pengelolaan sarana pendukung ramah lingkungan.

Penjelasan masing-masing komponen adiwiyata (*green school*) di atas sebagai berikut:

a. Kebijakan berwawasan lingkungan

Menurut Tim Adiwiyata Tingkat Nasional (2011: 11-12), pengembangan kebijakan berwawasan lingkungan di sekolah dapat dilakukan melalui 6 hal berikut ini, yaitu:

- 1) Visi dan misi sekolah yang peduli dan berbudaya lingkungan.

- 2) Kebijakan sekolah dalam mengintegrasikan pelajaran lingkungan hidup pada semua mata pelajaran.
- 3) Kebijakan peningkatan sumber daya manusia.
- 4) Kebijakan sekolah yang mendukung lingkungan sekolah yang bersih dan sehat.
- 5) Kebijakan sekolah untuk pengalokasian dan penggunaan dana kegiatan yang terkait dengan lingkungan hidup.
- 6) Pengembangan kurikulum berbasis lingkungan hidup.

b. Pelaksanaan kurikulum berbasis lingkungan

Menurut Tim Adiwiyata Tingkat Nasional (2011: 5), pengembangan pelaksanaan kurikulum berbasis lingkungan di sekolah dapat dilakukan melalui 4 hal hal berikut:

- 1) Pengembangan model pembelajaran lintas mata pelajaran.
- 2) Pengendalian dan pengembangan materi serta persoalan lingkungan hidup yang ada di masyarakat sekitar.
- 3) Pengembangan metode belajar berbasis lingkungan dan budaya.
- 4) Pengembangan kegiatan ekstrakurikuler untuk peningkatan pengetahuan dan kesadaran siswa tentang lingkungan hidup.

c. Kegiatan lingkungan berbasis partisipatif

Menurut Tim Adiwiyata Tingkat Nasional (2011: 4), pengembangan kegiatan lingkungan berbasis partisipatif di sekolah dapat dilakukan melalui 3 hal berikut ini, yaitu:

- 1) Menciptakan kegiatan ekstrakurikuler di bidang lingkungan hidup yang bersifat partisipatif di sekolah.
- 2) Mengikuti kegiatan aksi lingkungan hidup oleh pihak luar.
- 3) Membangun dan memprakarsai kegiatan kemitraan dalam pengembangan lingkungan hidup di sekolah.

d. Pengelolaan sarana pendukung ramah lingkungan

Menurut Tim Adiwiyata Tingkat Nasional (2011: 4), pengembangan dan pengelolaan sarana pendukung ramah lingkungan di sekolah dapat dilakukan melalui 5 hal berikut ini, yaitu:

- 1) Pengembangan fungsi sarana pendukung sekolah yang ada untuk pendidikan lingkungan hidup.
- 2) Peningkatan kualitas lingkungan hidup di dalam dan di luar kawasan sekolah.
- 3) Penghematan sumber daya alam (energi, listrik, air).
- 4) Peningkatan kualitas pelayanan makanan sehat.
- 5) Pengembangan sistem pengelolaan sampah/limbah.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa ada empat komponen sekolah hijau (*green school*), yaitu: (1) kebijakan berwawasan lingkungan, (2)

pelaksanaan kurikulum berbasis lingkungan, (3) kegiatan lingkungan berbasis partisipatif, dan (5) pengembangan dan pengelolaan sarana pendukung ramah lingkungan.

7. Petunjuk Teknis Sekolah Adiwiyata di Indonesia

Petunjuk teknis adiwiyata merupakan implementasi dari Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata. Dimana sesuai dengan lampiran III Permen LH No.05/2013 tersebut telah mengamanatkan ketersediaan: (a) Petunjuk Teknis Pencapaian Sekolah Adiwiyata, dan (b) Petunjuk Teknis Penilaian Sekolah Adiwiyata.

Jika diperhatikan dari Lampiran III Permen LH No. 05 /2013 tersebut, maka ke empat (4) komponen adiwiyata tersebut memiliki 8 standar. Dari ke delapan (8) standar tersebut jika diterapkan akan terurai menjadi tiga puluh (30) implementasi. Dan dari ke delapan (8) standar tersebut jika diuraikan sesuai dengan Lampiran III Permen LH No. 05 /2013 akan terbagi menjadi tiga puluh tiga (33) pencapaian sekolah adiwiyata.

Dari keempat komponen adiwiyata tersebut akan diuraikan menjadi 8 (delapan) standar adiwiyata, yaitu:

- a. Kebijakan berwawasan lingkungan, memiliki standar:
 - 1) Kurikulum memuat upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

- 2) RKAS memuat program dalam upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
- b. Pelaksanaan kurikulum berbasis lingkungan, memiliki standar:
 - 1) Tenaga pendidik memiliki kompetensi dalam mengembangkan kegiatan pembelajaran lingkungan hidup.
 - 2) Peserta didik melakukan kegiatan pembelajaran tentang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
 - c. Kegiatan lingkungan berbasis partisipatif memiliki standar:
 - 1) Melaksanakan kegiatan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup yang terencana bagi warga sekolah.
 - 2) Menjalin kemitraan dalam rangka perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup dengan berbagai pihak (masyarakat, pemerintah, swasta, media, sekolah lain).
 - d. Pengelolaan sarana pendukung ramah lingkungan memiliki standar:
 - 1) Ketersediaan sarana prasarana pendukung yang ramah lingkungan.
 - 2) Peningkatan kualitas pengelolaan sarana dan prasarana yang ramah lingkungan di sekolah.

Berdasarkan Lampiran III Permen LH No. 05/2013, dari keempat komponen dan delapan standar adiwiyata tersebut akan diuraikan menjadi 30 implementasi, yaitu:

1. Visi, misi, dan tujuan sekolah yang tertuang dalam kurikulum memuat kebijakan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

2. Struktur kurikulum memuat muatan lokal, pengembangan diri terkait kebijakan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
3. Mata pelajaran wajib dan/atau mulok yang terkait PLH dilengkapi dengan ketuntasan minimal belajar.
4. Rencana kegiatan dan anggaran sekolah memuat upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, meliputi: kesiswaan, kurikulum dan kegiatan pembelajaran, peningkatan kapasitas pendidik dan tenaga kependidikan, sarana dan prasarana, budaya dan lingkungan sekolah, peran masyarakat dan kemitraan, peningkatan dan pengembangan mutu.
5. Menerapkan pendekatan, strategi, metode, dan teknik pembelajaran yang melibatkan peserta didik secara aktif dalam pembelajaran (pakem/belajar aktif/ partisipatif).
6. Mengembangkan isu lokal dan atau isu global sebagai materi pembelajaran lingkungan hidup sesuai dengan jenjang pendidikan.
7. Mengembangkan indikator dan instrumen penilaian pembelajaran lingkungan hidup.
8. Menyusun rancangan pembelajaran yang lengkap, baik untuk kegiatan di dalam kelas, laboratorium, maupun di luar kelas.
9. Mengikutsertakan orang tua peserta didik dan masyarakat dalam program pembelajaran lingkungan hidup.
10. Mengkomunikasikan hasil-hasil inovasi pembelajaran lingkungan hidup.

11. Mengkaitkan pengetahuan konseptual dan prosedural dalam pemecahan masalah lingkungan hidup, serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.
12. Menghasilkan karya nyata yang berkaitan dengan pelestarian fungsi lingkungan hidup, mencegah terjadinya pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup.
13. Menerapkan pengetahuan lingkungan hidup yang diperoleh untuk memecahkan masalah lingkungan hidup dalam kehidupan sehari-hari.
14. Mengkomunikasikan hasil pembelajaran lingkungan hidup dengan berbagai cara dan media.
15. Memelihara dan merawat gedung dan lingkungan sekolah oleh warga sekolah.
16. Memanfaatkan lahan dan fasilitas sekolah sesuai kaidah-kaidah perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup (dampak yang diakibatkan oleh aktivitas sekolah).
17. Mengembangkan kegiatan ekstrakurikuler yang sesuai dengan upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
18. Adanya kreativitas dan inovasi warga sekolah dalam upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
19. Mengikuti kegiatan aksi lingkungan hidup yang dilakukan oleh pihak luar.
20. Memanfaatkan narasumber untuk meningkatkan pembelajaran lingkungan hidup.

21. Mendapatkan dukungan dari kalangan yang terkait dengan sekolah (orang tua, alumni, media (pers), dunia usaha, pemerintah, LSM, perguruan tinggi, sekolah lain) untuk meningkatkan upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup di sekolah.
22. Meningkatkan peran komite sekolah dalam membangun kemitraan untuk pembelajaran lingkungan hidup dan upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
23. Menjadi narasumber dalam rangka pembelajaran lingkungan hidup.
24. Memberi dukungan untuk meningkatkan upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
25. Menyediakan sarana prasarana untuk mengatasi permasalahan lingkungan hidup di sekolah.
26. Menyediakan sarana prasarana untuk mendukung pembelajaran lingkungan hidup di sekolah.
27. Memelihara sarana dan prasarana sekolah yang ramah lingkungan.
28. Meningkatkan pengelolaan dan pemeliharaan fasilitas sanitasi sekolah.
29. Memanfaatkan listrik, air dan ATK secara efisien.
30. Meningkatkan kualitas pelayanan kantin sehat dan ramah lingkungan.

Berdasarkan Lampiran III Permen LH No. 05/2013, dari keempat komponen, delapan standar, dan 30 implementasi adiwiyata tersebut akan diuraikan menjadi 33 pencapaian, yaitu:

1. Tersusunnya visi, misi, dan tujuan sekolah yang memuat upaya pelestarian fungsi lingkungan dan/atau mencegah terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup.
2. Terinternalisasinya (tahu dan paham) visi, misi, dan tujuan sekolah kepada semua warga sekolah.
3. Struktur kurikulum memuat pelestarian fungsi lingkungan, mencegah terjadinya pencemaran, dan kerusakan lingkungan hidup pada komponen mata pelajaran wajib dan/ atau muatan lokal dan/atau pengembangan diri.
4. Adanya ketuntasan minimal belajar pada mata pelajaran wajib dan/atau muatan lokal yang terkait dengan pelestarian fungsi lingkungan, mencegah terjadinya pencemaran, dan/atau kerusakan lingkungan hidup.
5. Sekolah memiliki anggaran untuk upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup minimal sebesar 20 % dari total anggaran sekolah.
6. Anggaran sekolah dialokasikan secara proporsional untuk kegiatan kesiswaan, kurikulum dan kegiatan pembelajaran, peningkatan kapasitas pendidik dan tenaga kependidikan, sarana dan prasarana, budaya dan lingkungan sekolah, peran masyarakat dan kemitraan, peningkatan dan pengembangan mutu.
7. ≥ 70 % tenaga pendidik menerapkan metode yang melibatkan peserta didik secara aktif (demonstrasi, diskusi (FGD), simulasi (bermain peran), pengalaman lapangan, curah pendapat, debat, simposium, laboratorium (praktek langsung), penugasan, observasi, project percontohan, dll).

8. ≥ 70 % tenaga pendidik mengembangkan isu lokal (daerah) dan isu global yang terkait dengan PPLH.
9. ≥ 70 % tenaga pendidik mengembangkan indikator pembelajaran dan instrumen penilaian yang terkait dengan PPLH.
10. ≥ 70 % tenaga pendidik menyusun rancangan pembelajaran yang terkait dengan PPLH.
11. Prosentase tenaga pendidik yang mengikutsertakan orang tua peserta didik dan masyarakat yang terkait dengan PPLH, yaitu SD/MI sebesar $\geq 50\%$, SMP/MTs sebesar $\geq 40\%$, SMA/MA/SMK/MAK sebesar $\geq 30\%$).
12. Hasil inovasi pembelajaran lingkungan hidup dikomunikasikan melalui: majalah dinding, buletin sekolah, pameran, website, radio, TV, surat kabar, jurnal, dll.
13. ≥ 70 % tenaga pendidik menguasai konsep dan mampu mengaplikasikan konsep tersebut dalam memecahkan masalah lingkungan hidup.
14. $\geq 50\%$ peserta didik menghasilkan karya nyata yang terkait dengan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, antara lain makalah, puisi/sajak, artikel, lagu, hasil penelitian, gambar, seni tari, produk daur ulang, dll.
15. ≥ 50 % peserta didik mempunyai kemampuan memecahkan masalah lingkungan hidup dalam kehidupan sehari-hari.
16. ≥ 50 % peserta didik mengkomunikasikan hasil pembelajaran lingkungan hidup melalui: majalah dinding, buletin sekolah, pameran, website, radio, TV, surat kabar, jurnal, dll.

17. ≥ 80 % warga sekolah terlibat dalam pemeliharaan gedung dan lingkungan sekolah, antara lain: piket kebersihan kelas, Jum'at bersih, lomba kebersihan kelas, kegiatan pemeliharaan taman oleh masing masing kelas, dll.
18. ≥ 80 % warga sekolah memanfaatkan lahan dan fasilitas sekolah sesuai kaidah-kaidah PPLH antara lain: pemeliharaan taman, toga, rumah kaca (*green house*), hutan sekolah, pembibitan, kolam, pengelolaan sampah, dll.
19. ≥ 80 % kegiatan ekstrakurikuler (pramuka, Karya Ilmiah Remaja/KIR, dokter kecil, Palang Merah Remaja/PMR, Pecinta Alam, dll) yang dimanfaatkan untuk pembelajaran terkait dengan PPLH seperti: pengomposan, tanaman toga, biopori, daur ulang, pertanian organik, biogas, dll.
20. 5 klasifikasi kegiatan kreativitas dan inovasi dari warga sekolah dalam upaya PPLH, yaitu: daur ulang sampah, pemanfaatan dan pengolahan air, karya ilmiah, karya seni, hemat energi, energi alternatif.
21. Tenaga pendidik mengikuti 6 (enam) kegiatan aksi lingkungan hidup yang dilakukan oleh pihak luar.
22. Peserta didik mengikuti 6 (enam) kegiatan aksi lingkungan hidup yang dilakukan oleh pihak luar.
23. 3 (tiga) mitra yang dimanfaatkan sebagai narasumber untuk meningkatkan pembelajaran lingkungan hidup antara lain: orang tua, alumni, LSM, media (pers), dunia usaha, konsultan, instansi pemerintah daerah terkait, sekolah lain, dll.

24. 3 (tiga) mitra yang mendukung dalam bentuk materi untuk kegiatan yang terkait dengan PPLH seperti: pelatihan yang terkait PPLH, pengadaan sarana ramah lingkungan, pembinaan dalam upaya PPLH, dll.
25. 3 (tiga) kemitraan yang difasilitasi oleh komite sekolah terkait dengan pembelajaran lingkungan hidup dan upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
26. 3 (tiga) kali menjadi nara sumber dalam rangka pembelajaran lingkungan hidup, seperti: sekolah lain, seminar, pemerintah daerah, dll.
27. 3 (tiga) dukungan yang diberikan sekolah dalam upaya PPLH, seperti: bimbingan teknis pembuatan biopori, pengelolaan sampah, pertanian organik, biogas, dll.
28. Tersedianya 6 (enam) sarana prasarana untuk mengatasi permasalahan lingkungan hidup di sekolah sesuai dengan standar sarana dan prasarana Permendiknas No. 24 tahun 2007, seperti: air bersih, sampah (penyediaan tempat sampah terpisah, komposter), tinja, air limbah/drainase, ruang terbuka hijau, polusi/kebisingan/ getaran/radiasi/pencemaran, dll.
29. Tersedianya minimal 6 (enam) sarana prasarana pendukung pembelajaran lingkungan hidup, antara lain: pengomposan, pemanfaatan dan pengolahan air, hutan/taman/kebun sekolah, *green house*, toga, kolam ikan, biopori, sumur resapan, biogas, teknologi otomotif ramah lingkungan, dll).
30. Terpeliharanya 3 (tiga) sarana dan prasarana yang ramah lingkungan sesuai fungsinya, seperti: (1) ruang memiliki pengaturan cahaya dan ventilasi

udara secara alami; (2) pemeliharaan dan pengaturan pohon peneduh dan penghijauan; dan (3) menggunakan *paving block*.

31. Tersedianya 4 (empat) unsur mekanisme pengelolaan dan pemeliharaan sarana meliputi: penanggung jawab, tata tertib, pelaksana (daftar piket), pengawas, dll terkait dalam kegiatan penyediaan dan pemakaian sarana fasilitas sanitasi sekolah.

32. $\geq 20\%$ efisiensi pemanfaatan listrik, air, dan ATK.

33. Kantin melakukan 3 (tiga) upaya dalam rangka meningkatkan kualitas pelayanan kantin sehat dan ramah lingkungan, meliputi: (1) kantin tidak menjual makanan/minuman yang mengandung bahan pengawet/pengenyal, pewarna, perasa yang tidak sesuai dengan standar kesehatan; (2) kantin tidak menjual makanan/minuman yang tercemar/terkontaminasi, kadaluarsa; dan (3) kantin tidak menjual makanan/minuman yang dikemas tidak ramah lingkungan, seperti: plastik, *styrofoam*, *aluminium foil*.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa dari empat komponen sekolah adiwiyata (*green school*) memiliki 8 standar, 30 implementasi, dan 33 indikator pencapaian sekolah adiwiyata (*green school*) di Indonesia.

C. Pendidikan Lingkungan Hidup

1. Sejarah Pendidikan Lingkungan Hidup

Pendidikan lingkungan hidup (PLH) secara implisit sudah dimulai sejak penggunaan kurikulum 1975 dengan jalan mengintegrasikannya pada mata

pelajaran yang relevan, mulai sejak SD sampai tingkat SLTA berdasarkan S.K. Menteri P dan K No. 008/U/1975 (Tim Adiwiyata Tingkat Nasional, 2011).

Perkembangan penyelenggaraan PLH di Indonesia dilaksanakan oleh Institut Keguruan Ilmu Pendidikan (IKIP) Jakarta pada tahun 1975. Pada tahun 1977/1978, rintisan Garis-garis Besar Program Pengajaran Lingkungan Hidup diujicobakan di 15 Sekolah Dasar di Jakarta. Pada tahun 1979, di bawah koordinasi Kantor Menteri Negara Pengawasan Pembangunan dan Lingkungan Hidup dibentuk Pusat Studi Lingkungan (PSL) diberbagai perguruan tinggi negeri dan swasta, dimana pendidikan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) mulai dikembangkan. Sampai tahun 2010, jumlah PSL yang menjadi anggota Badan Koordinasi Pusat Studi Lingkungan (BKPSL) telah berkembang menjadi 101 PSL (Tim Adiwiyata Tingkat Nasional, 2011).

Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional menetapkan bahwa penyampaian mata ajar tentang masalah kependudukan dan lingkungan hidup secara terintegrasi dituangkan dalam sistem kurikulum tahun 1984 dengan memasukkan masalah-masalah kependudukan dan lingkungan hidup ke dalam semua mata pelajaran pada tingkat menengah umum dan kejuruan. Pada tahun 1989/1990 hingga 2007, PLH dilaksanakan oleh Ditjen Dikdasmen Depdiknas melalui proyek Pendidikan Kependudukan dan Lingkungan Hidup (PKLH). Pada tahun 2003, Sekolah Berbudaya Lingkungan (SBL) mulai dikembangkan di 120 sekolah. Sampai akhir tahun 2007, proyek PKLH telah berhasil mengembangkan SBL di 470 sekolah, 4 Lembaga Penjamin Mutu Pendidikan (LPMP), dan 2 Pusat

Pengembangan Penataran Guru (PPPG) di Indonesia (Tim Adiwiyata Tingkat Nasional, 2011).

Pengembangan PLH di Indonesia juga dilakukan oleh LSM. Akhirnya, Jaringan Pendidikan Lingkungan (JPL) terbentuk pada tahun 1996/1997 yang beranggotakan LSM-LSM yang berminat dan menaruh perhatian terhadap PLH di Indonesia. Hingga tahun 2010, tercatat 150 anggota JPL (perorangan dan lembaga) yang bergerak dalam pengembangan dan pelaksanaan PLH. Pada tahun 1998 – 2000, proyek Swisscontact yang dipusatkan di *Vocational Education Development Center* (VEDC) Malang mengembangkan PLH pada SMK melalui 6 PPPG dengan melakukan pengembangan materi ajar PLH dan berbagai pelatihan lingkungan hidup bagi guru-guru SD, SMP, SMA, dan SMK (Tim Adiwiyata Tingkat Nasional, 2011).

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa PLH di Indonesia telah berjalan cukup lama, yaitu sejak tahun 1975. Dalam perkembangannya, PLH melibatkan banyak kementerian, universitas, lembaga/institusi, dan LSM lingkungan, baik dalam maupun luar negeri.

2. Pengertian Pendidikan Lingkungan Hidup

Berikut ini disajikan beberapa pengertian tentang PLH dari berbagai sumber, yaitu:

- a. Berdasarkan hasil *Intergovernmental Conference on Environmental Education (Tbilisi Declaration)* disebutkan bahwa PLH adalah *suatu proses yang bertujuan untuk menciptakan suatu masyarakat dunia yang memiliki*

kepedulian terhadap lingkungan dan masalah-masalah yang terkait didalamnya serta memiliki pengetahuan, motivasi, komitmen dan keterampilan untuk bekerja baik secara perorangan maupun kolektif dalam mencari alternatif atau memberi solusi terhadap permasalahan lingkungan hidup yang ada sekarang dan untuk menghindari timbulnya masalah-masalah lingkungan hidup yang baru (UNESCO, 1977).

- b. Terdapat 5 tujuan PLH secara global yang telah disepakati oleh dunia internasional usai pertemuan di Tbilisi (UNESCO, 1977), yaitu:
- 1) Bidang pengetahuan: membantu individu, kelompok dan masyarakat untuk mendapatkan berbagai pengalaman dan mendapat pengetahuan tentang apa yang diperlukan untuk menciptakan dan menjaga lingkungan yang berkelanjutan.
 - 2) Bidang kesadaran: membantu kelompok sosial dan individu untuk mendapatkan kesadaran dan kepekaan terhadap lingkungan secara keseluruhan beserta isu-isu yang menyertainya, pertanyaan, dan permasalahan yang berhubungan dengan lingkungan dan pembangunan.
 - 3) Bidang perilaku: membantu individu, kelompok dan masyarakat untuk memperoleh serangkaian nilai perasaan peduli terhadap lingkungan dan motivasi untuk berpartisipasi aktif dalam perbaikan dan perlindungan lingkungan.
 - 4) Bidang keterampilan: membantu individu, kelompok dan masyarakat untuk mendapatkan keterampilan untuk mengidentifikasi, mengantisipasi, mencegah, dan memecahkan permasalahan lingkungan.

- 5) Bidang partisipasi: memberikan kesempatan dan motivasi terhadap individu, kelompok dan masyarakat untuk terlibat secara aktif dalam menciptakan lingkungan yang berkelanjutan.
- c. PLH adalah upaya mengubah perilaku dan sikap yang dilakukan oleh berbagai pihak atau elemen masyarakat yang bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan, keterampilan dan kesadaran masyarakat tentang nilai-nilai lingkungan dan isu permasalahan lingkungan yang pada akhirnya dapat menggerakkan keselamatan lingkungan untuk kepentingan generasi sekarang dan yang akan datang (Tim Adiwiyata Tingkat Nasional, 2011).

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa PLH adalah suatu proses pendidikan untuk mengubah sikap dan perilaku agar ramah lingkungan serta memiliki pengetahuan, motivasi, komitmen dan keterampilan untuk bekerja baik secara perorangan maupun kolektif dalam mencari alternatif atau memberi solusi terhadap permasalahan lingkungan hidup yang ada sekarang dan untuk menghindari timbulnya masalah-masalah lingkungan hidup yang baru. Sedangkan tujuan PLH ada 5 aspek, yaitu: (1) pengetahuan, (2) kesadaran, (3) perilaku, (4) keterampilan, dan (5) partisipasi.

3. Dasar Hukum Pendidikan Lingkungan Hidup

Berdasarkan ajaran Agama Islam, dasar hukum pentingnya PLH dapat dilihat dari Al-Qur'an Surah Ar-Ruum ayat 41 berikut ini.

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا

لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

Artinya: Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar) (QS: Ar-Ruum: 41).

Dari ayat di atas ditunjukkan bahwa kerusakan lingkungan hidup yang terjadi di dunia ini disebabkan oleh perbuatan dan aktivitas manusia dalam rangka memenuhi kebutuhannya. Oleh karena itu, PLH menjadi sangat penting untuk dilakukan untuk perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa dasar hukum sebagai perintah untuk menjaga dan melestarikan lingkungan hidup adalah Al-Qur'an Surah Ar-Ruum ayat 41.

4. Aspek Pendidikan Lingkungan Hidup

Menurut Tim Adiwiyata Tingkat Nasional (2011), aspek implementasi PLH, baik melalui pendidikan formal, non formal maupun informal harus mencakup aspek:

- a. Pengembangan kelembagaan pendidikan lingkungan hidup.
- b. Peningkatan kualitas sumber daya manusia.
- c. Pengembangan sarana dan prasarana.
- d. Peningkatan dan efisiensi penggunaan anggaran.
- e. Pengembangan materi lingkungan hidup.
- f. Peningkatan komunikasi dan informasi.
- g. Pemberdayaan peran serta masyarakat dalam pelaksanaan dan pengembangan.

h. Pengembangan metode pendidikan lingkungan hidup.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa kedelapan aspek PLH tersebut perlu ditumbuhkembangkan sehingga dapat menjadi alat penggerak yang efektif dan efisien bagi kemajuan PLH di Indonesia.

5. Kepedulian Lingkungan

Dalam Undang-Undang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pasal 1 butir 1 (Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup) disebutkan bahwa lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi alam itu sendiri, kelangsungan perikehidupan, dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain. Sedangkan pada pasal 1 butir 2 UU tersebut disebutkan bahwa perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup adalah upaya sistematis dan terpadu yang dilakukan untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup dan mencegah terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup yang meliputi perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, pemeliharaan, pengawasan, dan penegakan hukum.

Dalam Undang-Undang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pasal 1 butir 17 (Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup) juga disebutkan bahwa kerusakan lingkungan hidup adalah perubahan langsung dan/atau tidak langsung terhadap sifat fisik, kimia, dan/atau hayati lingkungan hidup yang

melampaui kriteria baku kerusakan lingkungan hidup. Oleh karena itu, diperlukan kepedulian lingkungan untuk mencegah kerusakan lingkungan, pencemaran lingkungan, dan pelestarian fungsi lingkungan.

Sedangkan kepedulian lingkungan dapat diukur melalui indeks perilaku peduli lingkungan (IPPL). Menurut Kutaneegara, Pitoyo, Kiswanto, Sumini, & Nugraha (2014: 135-142), indeks perilaku peduli lingkungan (IPPL) ada 6 indikator dan parameter, yaitu (a) perilaku dalam penghematan energi, (b) perilaku membuang sampah, (c) perilaku pemanfaatan air, (d) perilaku penyumbang emisi karbon, (e) perilaku hidup sehat, dan (f) perilaku penggunaan bahan bakar.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa kepedulian lingkungan adalah peka dan peduli terhadap hal-hal yang berkaitan dengan lingkungan sekitar dan senantiasa memperbaiki bila terjadi pencemaran, kerusakan atau ketidakseimbangan.

D. Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS)

Dalam Undang-Undang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup) pasal 1 butir 10 disebutkan bahwa Kajian lingkungan hidup strategis (KLHS) adalah rangkaian analisis yang sistematis, menyeluruh, dan partisipatif untuk memastikan bahwa prinsip pembangunan berkelanjutan telah menjadi dasar dan terintegrasi dalam pembangunan suatu wilayah dan/atau kebijakan, rencana, dan/atau program.

“Strategic Environmental Assessment (SEA) is a systematic process for evaluating the environmental consequences of proposed policy, plan, or program initiatives in order to ensure they are fully included and appropriately addressed at the earliest appropriate stage of decision-making on par with economic and social considerations” (Sadler & Verheem, 1996).

KLHS adalah proses sistematis dalam evaluasi dampak lingkungan hidup yang diperkirakan akan terjadi akibat pelaksanaan kebijakan, rencana, atau program (KRP) yang dilakukan pada tahap awal dari suatu proses pengambilan keputusan kegiatan pembangunan selain pertimbangan-pertimbangan ekonomi dan sosial.

“SEA is a process of integrating the concept of sustainability into strategic decision-making” (DEAT, 2004). KLHS adalah proses pengintegrasian konsep keberlanjutan dalam pengambilan keputusan yang bersifat strategis.

“SEA is a participatory approach for upstreaming environmental and social issues to influence development planning, decision-making and implementation processes at the strategic level” (World Bank, 2004). KLHS adalah pendekatan partisipatif dalam pengarusutamaan isu-isu lingkungan dan sosial untuk mempengaruhi rencana pembangunan, pengambilan keputusan, dan proses implementasi pada tingkat strategis.

“Studi KLHS dikatakan strategis karena kajian lingkungan tersebut dilaksanakan pada tahap awal dari proses perencanaan pembangunan” (Asdak, 2014: 13). Dengan demikian, sebuah studi dampak lingkungan atau suatu KRP pembangunan memberi kesempatan untuk mempertimbangkan aspek lingkungan hidup dalam proses perencanaan pada tahap sangat awal sehingga

dapat sepenuhnya memperkirakan dampak lingkungan potensial, termasuk yang bersifat kumulatif jangka panjang dan sinergistik, baik pada tingkat lokal, regional, nasional, maupun global (Lee & Walsh, 1992; Web & Sigal, 1992; Partidario, 1996; Annandale & Bailey, 1999). Dengan kata lain, KLHS bergerak di bagian hulu pengambilan keputusan, yaitu kebijakan, rencana, atau program (Asdak, 2014).

Salah satu instrumen pencegahan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup adalah KLHS. Pemerintah dan pemerintah daerah wajib membuat KLHS untuk memastikan bahwa prinsip pembangunan berkelanjutan telah menjadi dasar dan terintegrasi dalam pembangunan suatu wilayah dan/atau kebijakan, rencana, dan/atau program (Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pasal 15 butir 1).

KLHS dilaksanakan dengan 3 mekanisme, yaitu: (a) pengkajian pengaruh kebijakan, rencana dan/atau program adiwiyata atau sekolah hijau terhadap kondisi lingkungan hidup di suatu sekolah; (b) perumusan alternatif penyempurnaan kebijakan, rencana, dan/atau program; dan (c) rekomendasi perbaikan untuk pengambilan keputusan kebijakan, rencana, dan/atau program yang mengintegrasikan prinsip pembangunan berkelanjutan (Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pasal 15 butir 3).

1. Kajian Lingkungan Sekolah (KLS)

Dalam kaitannya dengan program sekolah hijau (*green school*) atau program adiwiyata, maka sekolah diwajibkan membuat kajian lingkungan sekolah (KLS) yang komprehensif sebagai upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup seperti pelestarian fungsi lingkungan, mencegah terjadinya pencemaran dan mencegah terjadinya kerusakan lingkungan hidup.

Sekolah harus membuat KLS untuk memastikan bahwa prinsip pembangunan berkelanjutan telah menjadi dasar dan terintegrasi dalam pelaksanaan kebijakan, rencana, atau program sekolah hijau atau sekolah adiwiyata (Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pasal 15 butir 1).

KLS adalah rangkaian analisis yang sistematis, menyeluruh, dan partisipatif untuk memastikan bahwa prinsip pembangunan berkelanjutan telah menjadi dasar dan terintegrasi dalam pelaksanaan kebijakan, rencana dan/atau program sekolah hijau (*green school*) atau program adiwiyata (Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pasal 1 butir 10).

Penyusunan KLS yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK harus mengacu pada 3 mekanisme penyusunan KLHS, yaitu: (1) pengkajian pengaruh pencemaran lingkungan dan kerusakan lingkungan akibat aktivitas praktikum di sekolah, (2) perumusan alternatif penyempurnaan program adiwiyata (*green school*), dan (3) rekomendasi perbaikan untuk

pengambilan keputusan kebijakan, rencana, dan/atau program yang mengintegrasikan prinsip pembangunan berkelanjutan.

Aktivitas praktikum di bengkel otomotif sekolah dengan menggunakan fasilitas praktik seperti sepeda motor dan mobil akan membutuhkan bahan bakar minyak (BBM) sehingga akan menghasilkan emisi gas buang seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO_x), sulfur oksida (SO_x), opasitas/partikulat (PM₁₀), dan karbondioksida (CO₂). Kebutuhan moda transportasi bagi warga sekolah untuk pergi dan pulang ke sekolah, juga membutuhkan bahan bakar yang turut menambah konsentrasi emisi gas buang tersebut. Padahal, emisi gas buang tersebut sangat berbahaya bagi kesehatan guru, siswa, tenaga kependidikan, petugas layanan khusus, masyarakat sekitar dan lingkungan.

Oleh karena itu, diperlukan survei konsumsi bahan bakar untuk semua fasilitas praktik di bengkel otomotif sekolah dan survei konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor semua warga sekolah untuk menghitung total beban emisi yang disumbangkan oleh sekolah ke atmosfer.

Instrumen survei konsumsi bahan bakar pada seluruh kendaraan bermotor di sekolah dapat merujuk pada *software Tool 18: Fleet Inventory and Options Tool* yang telah dikembangkan oleh *United Nations Environment Programme* (UNEP) & TNT (2006) sehingga akan dihasilkan data-data tentang kategori kendaraan bermotor, teknologi mesin, jumlah kendaraan bermotor, total jarak tempuh tahunan (km/tahun), dan total konsumsi bahan bakar tahunan seperti pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Kategori Kendaraan Bermotor, Teknologi Mesin, Jumlah Kendaraan Bermotor, Total Jarak Tempuh Tahunan, dan Total Konsumsi Bahan Bakar Tahunan

| Kategori Kendaraan Bermotor | | Jumlah Kendaraan | Total Jarak Tempuh Tahunan (km/tahun) | Total Konsumsi Bahan Bakar Tahunan (liter/tahun) |
|--|--|------------------|---------------------------------------|--|
| Mobil Penumpang | Bensin-tanpa <i>catalytic converter</i> | | | |
| | Bensin-dengan 3-way <i>catalytic converter</i> | | | |
| | Diesel-tanpa DPF | | | |
| | Diesel-dengan DPF | | | |
| Bus dan Truk Beban Ringan (2,2-4,5 ton) | Beban ringan-Pre Euro | | | |
| | Beban ringan-Euro I+II | | | |
| | Beban ringan-Euro III+IV | | | |
| | Beban ringan- <i>Hybrid Electric Vehicle</i> (HEV) | | | |
| Bus dan Truk Beban Menengah (4,5-15 ton) | Beban menengah-Pre Euro | | | |
| | Beban menengah-Euro I+II | | | |
| | Beban menengah-Euro III+IV | | | |
| | Beban menengah-Euro V | | | |
| Bus dan Truk Beban Berat (15-22 ton) | Beban berat-Pre Euro | | | |
| | Beban berat-Euro I+II | | | |
| | Beban berat-Euro III+IV | | | |
| | Beban berat-Euro V | | | |
| Sepeda Motor | Sepeda motor 4 langkah | | | |
| | Sepeda motor 2 langkah | | | |

Dari tabel 1 di atas dihasilkan kisi-kisi survei konsumsi bahan bakar di sekolah yang meliputi kategori kendaraan bermotor, nama engine, kapasitas silinder, tipe mesin, teknologi mesin, jumlah kendaraan bermotor, total jarak tempuh tahunan (km/tahun), dan total konsumsi bahan bakar tahunan (liter/tahun) sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen di lampiran 3-5.

Selain itu, untuk menyusun KLS yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK juga diperlukan survei tentang jumlah limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) yang dihasilkan dari sejumlah fasilitas praktik berupa *engine stand*/mesin-mesin yang digunakan untuk praktikum di bengkel otomotif sekolah.

Dari penjelasan di atas, dihasilkan kisi-kisi variabel kegiatan survei jumlah limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) di sekolah, yaitu jenis kendaraan, teknologi mesin, jumlah *engine stand*/mesin, dan jumlah limbah saringan oli mesin bekas/tahun sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen di lampiran 9. Instrumen tersebut digunakan untuk menghitung potensi limbah oli yang dihasilkan oleh sekolah yang biasanya dibuang begitu saja ke tanah yang akan mencemari tanah dan air.

E. Sistem Manajemen Lingkungan

Aktivitas di industri dan di bengkel otomotif harus mengutamakan faktor keselamatan (*safety*), kesehatan (*health*), dan perlindungan lingkungan hidup (*environmental protection*) atau disingkat dengan istilah SHE (Suharto, 2011). Namun, di sejumlah perusahaan/industri otomotif di Indonesia lebih dikenal dengan sebutan Department of HSE (*health, safety, and environment*) atau Department of EHS (*environment, health, and safety*).

Pihak pemerintah, dunia industri dan masyarakat mengakui bahwa upaya dan strategi untuk melindungi lingkungan hidup dari limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) serta polutan/emisi dari setiap aktivitas/kegiatan industri bukanlah

metode yang mudah, efektif, dan hemat biaya. Oleh karena itu, diperlukan sistem manajemen lingkungan (SML) atau *environmental management system* (EMS) yang berkelanjutan yang dapat merujuk pada standar ISO (*International Organization for Standardization*) 14000.

“The International Organization for Standardization (ISO) is an international standard-setting body composed of representatives from various national standards organizations” (Goetsch, 2015: 639). Organisasi Internasional untuk Standardisasi (ISO) adalah badan penetapan standar internasional yang terdiri dari perwakilan dari berbagai organisasi standar nasional.

1. Latar Belakang ISO 14000

Dunia industri baik skala kecil, menengah maupun besar sudah tidak dapat mengabaikan peranan ISO 14000 tentang standar Sistem Manajemen Lingkungan (SML). *“An environmental management system (EMS) is the component of an organization with primary responsibility for these functions as they relate specifically to the impact of an organization’s processes, products, or services on the environment”* (Goetsch, 2015: 635). Sistem manajemen lingkungan (SML) adalah komponen dari sebuah organisasi dengan tanggung jawab utama untuk fungsi-fungsi manajemen (*leading, planning, organizing, and controlling*) karena berhubungan secara khusus dengan dampak proses, produk, atau layanan organisasi terhadap lingkungan.

Unsur-unsur yang terlibat dalam ISO 14000 adalah masalah-masalah yang meliputi emisi gas buang, pembuangan limbah cair, penyediaan air minum dan pengolahan limbah rumah tangga, limbah, gangguan kebisingan, bau, radiasi,

fasilitas, tanaman dan kehidupan air, pengembangan daerah pinggiran, perencanaan fisik, analisis dampak lingkungan, pengemasan, penggunaan bahan, dan penggunaan energi (Rachmawati, 1996).

Standar ISO 14000 dibentuk dan didirikan sebagai hasil dari Konferensi Tingkat Tinggi tentang Bumi (*The Earth Summit*) yang telah diselenggarakan di Rio de Janeiro, Brazil, bulan Juni tahun 1992.

2. ISO 14000

ISO 14000 adalah organisasi internasional untuk standardisasi yang dimiliki oleh standar nasional dari 111 negara. ISO 14000 didirikan pada tahun 1946 untuk pengembangan manufaktur, perdagangan dan standar komunikasi. ISO terdiri atas 180 panitia teknis yang masing-masing mempunyai tugas spesifik dalam lingkup khusus. ISO dikembangkan hampir untuk semua jenis industri kecuali industri listrik dan elektronik (Suharto, 2011). Di Indonesia, ISO masuk ke dalam Departemen Perindustrian dan Perdagangan. Sedangkan di Amerika Serikat, ISO masuk ke dalam *The American National Standards Institute* (ANSI).

ISO 14000 merupakan petunjuk baru tentang SML. ISO 14000 mempunyai beberapa unsur, yaitu: (a) seberapa jauh setiap aspek tanggung jawab industri terhadap lingkungan, (b) bagaimana kinerja auditing lingkungan, (c) bagaimana mengukur kinerja lingkungan, (d) bagaimana ISO 14000 mampu mengklaim produk barang, dan (e) bagaimana analisis siklus hidup produk dan proses.

Setidaknya ada 3 tujuan ISO 14000, yaitu: (1) meningkatkan kualitas sertifikasi ISO 14000 untuk melaksanakan perbaikan secara terus-menerus terhadap perlindungan lingkungan, (2) pencegahan pencemaran (*pollution prevention*), dan (3) meningkatkan unsur-unsur yang efektif dalam SML untuk diintegrasikan dengan aspek-aspek manajemen sehingga sasaran lingkungan, sosio-ekonomik dapat tercapai.

3. ISO 14001

Latar belakang menuju standar ISO 14001 adalah agar dicapai penegakan peraturan lingkungan hidup, kebijakan ekonomi, dan indikator lain agar dicapai perlindungan lingkungan, kinerja, pengendalian dampak kegiatan dunia industri, produk barang dan jasa pelayanan dengan tetap memperhatikan kebijakan lingkungan hidup. Standar ISO 14000 dinyatakan bahwa ruang lingkup ISO 14000 tidak termasuk metode analisis bahan pencemar, nilai ambang batas, tingkat kinerja dan standarisasi produk barang.

Manfaat dari penerapan standar ISO 14001 ada 8, yaitu: (1) konsumen yakin bahwa dunia industri sudah menerapkan aspek lingkungan; (2) meningkatkan kerja sama antara dunia industri dan masyarakat; (3) diberi insentif oleh pemerintah kepada calon penanam modal; (4) meningkatkan citra produk barang dan jasa pelayanan kepada dunia internasional; (5) memenuhi kriteria sertifikasi vendor; (6) menjamin keselamatan (*safety*), kesehatan (*health*), dan perlindungan lingkungan (*environmental protection*); (7) menjaga kelestarian lingkungan hidup; dan (8) memudahkan pengendalian biaya.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa pencegahan dan pengendalian pencemaran (*pollution*) merupakan konsep yang sudah diterima oleh hampir semua industri termasuk industri/bengkel otomotif baik di negara maju maupun negara berkembang termasuk Indonesia. Penerapan SML yang mengacu pada standar ISO 14000 dan standar ISO 14001 di SMK merupakan kebutuhan yang mutlak harus dilakukan untuk menjaga kelestarian lingkungan hidup dalam mewujudkan konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*). Tahap pertama untuk melaksanakan SML di SMK adalah menyusun kajian lingkungan sekolah (KLS); menyusun kebijakan lingkungan untuk mereduksi limbah, polusi udara/emisi gas buang, pencemaran, dan kebisingan yang terjadi; dan menyakinkan komitmen semua warga sekolah terhadap usaha perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup (PPLH).

F. Dampak Pencemaran Air Terhadap Kesehatan dan Lingkungan

Air merupakan kebutuhan primer bagi kelangsungan kehidupan makhluk hidup di bumi. Oleh karena itu, dewasa ini kondisi air menjadi masalah yang perlu mendapatkan perhatian yang seksama, cermat, dan berkelanjutan.

Berdasarkan hasil kajian global tentang kondisi air di dunia yang disampaikan dalam *The 2nd World Water Forum* di Den Haag tahun 2000 diproyeksikan bahwa pada tahun 2025 akan terjadi krisis air di beberapa negara (Orange & Rijsberman, 2000). Meskipun Indonesia termasuk 10 negara kaya air, namun krisis air juga diperkirakan akan terjadi akibat dari kesalahan pengelolaan air. Indikatornya tercermin dari tingkat pencemaran air yang tinggi, pemakaian air yang tidak efisien,

fluktuasi debit air sungai yang sangat besar, kelembagaan yang masih lemah, dan peraturan perundang-undangan yang tidak memadai.

1. Pencemaran Air

Dalam Peraturan Pemerintah RI Tahun 2001 Nomor 82 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air disebutkan bahwa pencemaran air adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa pencemaran air adalah suatu perubahan keadaan di suatu tempat penampungan air seperti danau, sungai, lautan dan air tanah akibat aktivitas manusia yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya.

2. Indikator Pencemaran Air

Secara teori, terdapat banyak indikator terjadinya pencemaran air. Indikator terjadinya pencemaran air adalah adanya perubahan atau tanda yang diamati melalui: (a) adanya perubahan suhu air; (b) adanya perubahan pH atau konsentrasi ion Hidrogen; (c) adanya perubahan warna, bau, dan rasa air; (d) timbulnya endapan, koloidal, bahan terlarut; (e) adanya mikroorganisme; dan (f) meningkatnya radioaktivitas air lingkungan (Wardhana, 2004):

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa indikator terjadinya pencemaran air ada 6 jenis.

3. Bahan Pencemar Air

Berbagai macam kegiatan industri, teknologi, dan aktivitas di bengkel otomotif saat ini apabila tidak disertai dengan program pengelolaan limbah yang baik dan berkelanjutan akan menimbulkan terjadinya pencemaran tanah dan air, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Menurut Wardhana (2004: 78-79), bahan pencemar air dikelompokkan menjadi: (a) bahan buangan padat, (b) bahan buangan organik, (c) bahan buangan anorganik, (d) bahan buangan olahan bahan makanan, (e) bahan buangan cairan berminyak, (f) bahan buangan zat kimia, dan (g) bahan buangan berupa panas.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa secara umum bahan pencemar air dapat dikelompokkan menjadi 5 komponen, yaitu:

- a. Bahan pencemar organik, baik yang dapat mengalami penguraian oleh mikroorganisme maupun yang tidak dapat mengalami penguraian.
- b. Bahan pencemar anorganik, dapat berupa logam-logam berat, mineral (garam-garam anorganik seperti sulfat, fosfat, halogenida, nitrat).
- c. Bahan pencemar berupa sedimen/endapan tanah atau lumpur.
- d. Bahan pencemar berupa zat radioaktif.
- e. Bahan pencemar berupa panas.

4. Dampak Pencemaran Air

Dampak pencemaran air sangat besar pengaruhnya terhadap kesehatan manusia. Banyak kasus keracunan dan kematian akibat air yang tercemar. Dampak yang paling ringan adalah penyakit kulit. Gejala yang lain adalah gangguan pada ginjal, kanker, saraf pusat, dan lain-lain.

Limbah industri dan bengkel otomotif sangat potensial sebagai penyebab terjadinya pencemaran tanah dan air. Pada umumnya limbah industri dan bengkel otomotif mengandung limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Limbah adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan.

Dalam Undang-Undang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pasal 1 butir 21 disebutkan bahwa B3 adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain. Oleh karena itu, limbah B3 tersebut perlu pengelolaan yang berkelanjutan. Dalam pasal 1 butir 23, secara lebih rinci disebutkan bahwa pengelolaan limbah B3 adalah kegiatan yang meliputi pengurangan, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan, dan/atau penimbunan.

Karakteristik limbah B3 adalah korosif, menyebabkan karat, mudah terbakar dan meledak, bersifat toksik/beracun, dan menyebabkan infeksi/penyakit.

Tabel 2 berikut ini menyajikan bahan pencemar air dan dampaknya terhadap kesehatan.

Tabel 2. Bahan Pencemar Air dan Dampaknya Terhadap Kesehatan

| No | Kategori | Bahan Pencemar | Dampak Terhadap Kesehatan |
|----|----------------|-----------------|---|
| 1 | Bakteri, Virus | | Mual, muntaber, pusing dan gangguan pencernaan |
| 2 | Kimiawi | Racun pestisida | Penyakit ginjal |
| | | Racun herbisida | Gangguan sistem saraf pusat |
| | | Getah | Kanker, hepatitis, rusaknya sel darah merah |
| | | Detergent | Gangguan pembuangan air seni |
| | | Limbah pabrik | Terganggunya sistem pencernaan dan metabolisme |
| 3 | Fisik | Plastik | Kanker |
| | | Kaleng | Penyakit kulit (panu, kadas, gatal, bisul, dan lain-lain) |
| | | Sampah organik | Keracunan |
| | | Besi | Gangguan sistem saraf pusat |
| | | Asbestos | Ginjal dan sistem metabolisme |

Sumber: Utomo et al. (2009: 73)

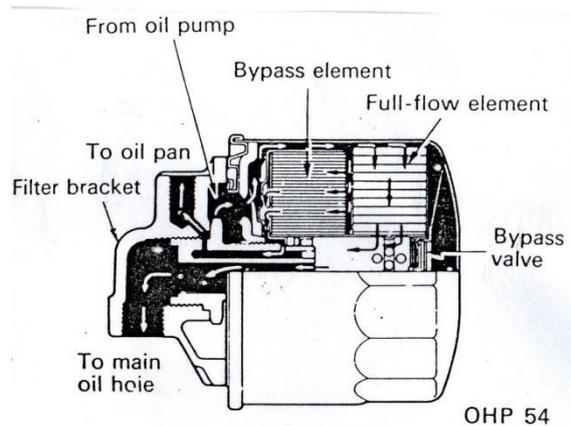
Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa dampak pencemaran air terhadap kesehatan manusia adalah dapat menyebabkan penyakit kulit, gangguan pada ginjal, kanker, saraf pusat, dan bahkan dapat menimbulkan kematian.

G. Teknologi Ramah Lingkungan Pengelolaan Limbah Cair

1. Pembersih Filter Oli (*Oil Filter Cleaner*)

Komponen otomotif yang digunakan untuk menyaring kotoran pada oli mesin disebut saringan/filter oli (*oil filter*) (PT. Toyota-Astra Motor, 1995). Mesin bensin pada umumnya menggunakan saringan oli *full flow* tipe *single element*. Sedangkan mesin diesel menggunakan *filter* oli dua elemen yang terdiri dari elemen aliran penuh yang ditempatkan antara *oil pump* dan mesin,

dan elemen filter *by pass* yang ditempatkan antara *oil pump* dengan *oil pan* dari mesin.



Gambar 2. Filter Oli Motor Diesel
Sumber: PT. Toyota-Astra Motor (1995: 1-32)

Elemen aliran penuh menyaring kotoran-kotoran yang mempengaruhi kerja bagian-bagian mesin yang berputar dan elemen *by pass* menyaring lumpur dan kerak karbon yang tercampur menjadi satu di dalam minyak pelumas. Kedua elemen ini mengalirkan minyak pelumas yang sangat bersih untuk melumasi bagian-bagian mesin.

Pembersih filter oli (*oil filter cleaner*) digunakan untuk membersihkan filter oli bekas yang sering dibuang begitu saja di bengkel-bengkel otomotif, padahal di dalam filter oli bekas tersebut masih mengandung endapan oli yang berada di dalamnya. Sehingga walaupun filter oli tersebut di buang di tempat terbuka atau dilakukan pendaurulangan (*recycle*) sudah bersih dari oli. Tujuan akhirnya agar filter oli bekas tersebut tidak mencemari lingkungan, khususnya mencemari air dan tanah.



Gambar 3. *Oil Filter Cleaner*
Sumber: Dokumentasi

Parameter yang sangat berpengaruh terhadap reduksi limbah oli (dalam satuan liter) dari saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) dengan penggunaan teknologi *oil filter cleaner* adalah temperatur air pembersih ($^{\circ}\text{C}$), waktu pembersihan (menit), dan tekanan air (kg/cm^2). Dengan temperatur air, waktu pembersihan, dan tekanan air yang tepat akan dihasilkan limbah oli terbanyak dan kondisi saringan oli mesin terbersih (Utomo et al., 2009: 74).

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa *oil filter cleaner* digunakan untuk membersihkan sisa oli di filter oli bekas yang sering dibuang begitu saja di bengkel-bengkel otomotif agar filter oli bekas tersebut tidak mencemari lingkungan, khususnya mencemari air dan tanah.

Dari teori di atas dapat dihasilkan kisi-kisi variabel yang mempengaruhi reduksi limbah oli dari saringan oli mesin bekas (dalam satuan liter) dengan penggunaan teknologi *oil filter cleaner*, yaitu temperatur air pembersih ($^{\circ}\text{C}$), waktu pembersihan (menit), dan tekanan air (kg/cm^2) sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen di lampiran 9.

H. Dampak Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Terhadap Kesehatan dan Lingkungan

Emisi gas buang kendaraan bermotor yang berbahan bakar bensin dan solar terdiri dari zat yang tidak beracun, seperti N_2 , CO_2 , dan uap air (H_2O) dan zat yang beracun, seperti CO, HC, NO_x , SO_x , timbal (Pb) dan partikulat. Sedangkan pada mesin diesel, besarnya emisi ditentukan dalam bentuk opasitas (kepekatan asap) yang tergantung pada banyaknya jumlah bahan bakar yang disemprotkan ke dalam silinder (Swisscontact, 2001: 3).

Gas CO akan bereaksi dengan hemoglobin (Hb) yang mengakibatkan kemampuan darah untuk mentransfer oksigen mulai berkurang (Swisscontact, 2001: 5). Gas HC yang beraroma pada konsumsi rendah dapat menyebabkan iritasi pada mata dan hidung dan dapat meracuni urat saraf (Swisscontact, 2001: 5). Sedangkan gas NO_x dapat mengganggu sistem pernafasan dan merusak paru-paru (Robert Bosch GmbH, 1988). Gas NO_x jika bergabung dengan air akan membentuk hujan asam dan sangat berbahaya bagi lingkungan (PT. Toyota-Astra Motor, 1995). Sedangkan SO_x dapat menimbulkan iritasi pada sistem membran pernafasan dan menyebabkan bronchitis yang sangat berbahaya bagi tubuh manusia (Swisscontact, 2001: 6).

Selain itu, timbal (Pb) yang merupakan racun penyerang syaraf pusat dapat menyebabkan gangguan perkembangan otak pada janin anak-anak dan dampak lanjutannya adalah tekanan darah tinggi. Kemudian partikulat yang terhirup dan mengendap dalam sel paru-paru dapat mengganggu fungsi dari paru-paru tersebut dan dapat menimbulkan flek hitam pada paru-paru (Swisscontact, 2001: 6).

Sedangkan emisi partikel debu halus (partikulat) yang biasanya dihasilkan dari mesin diesel dengan kontribusi 50% memiliki dua dampak. Mengendap dalam sel paru-paru sehingga fungsinya terganggu dan menimbulkan flek hitam pada paru-paru (Swisscontact, 2001: 6).

Untuk lebih jelasnya, Tabel 3 berikut ini menjelaskan jenis emisi gas buang, sifat, sumber penyebab, dan dampaknya terhadap kesehatan.

Tabel 3. Emisi Gas Buang, Sifat, Sumber Penyebab, dan Dampaknya

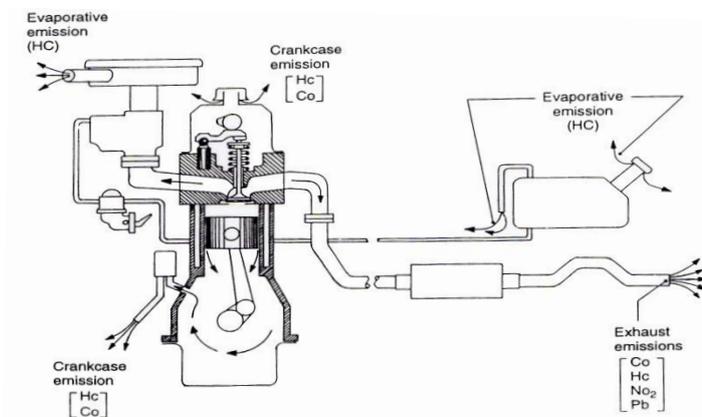
| Emisi | Sifat | Sumber Penyebab | Dampak |
|--------------------------|---|--|--|
| CO (gas) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tidak berwarna, tidak berbau. ▪ Tidak mudah larut dalam air. ▪ Perbandingan berat terhadap udara (1 Atmo°C) adalah 0,967. ▪ Di dalam udara bila diberikan api akan terbakar dengan mengeluarkan asap biru dan menjadi CO₂. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kendaraan bermotor (93%) terutama saat idling (kondisi mobil tidak jalan, tetapi mesin tetap hidup). ▪ Pembangkit listrik 7%. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ CO mengikat hemoglobin darah (Hb) dengan afinitas (daya ikat) yang lebih besar dibandingkan oksigen dan mengganggu saraf pusat. ▪ Pada konsentrasi yang tinggi dan jangka waktu tertentu, CO dapat mengakibatkan pingsan dan kematian. |
| HC (uap organik) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Senyawa kimia terdiri atas ikatan karbon (C) dan hidrogen saja (H). ▪ Berbau. ▪ Mudah menguap. ▪ Bereaksi lebih lanjut dengan NO_x menjadi senyawa fotokimia (ozon). ▪ Bentuk kimianya a.l.: benzena, parafin, olefin. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kendaraan bermotor 57 %. ▪ Penyulingan minyak 43%. ▪ Pemakaian pelarut. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Senyawa fotokimia menyebabkan mata pedih, tenggorokan sakit, memicu serangan asma. ▪ Hidrokarbon aromatik dan senyawa turunannya seperti aldehida bersifat karsinogenik (kanker). |
| NO _x (gas) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Terutama berbentuk NO, NO₂, dan N₂O. ▪ NO tidak berwarna, tidak berbau, sukar larut dalam air, bereaksi lebih lanjut dengan udara menjadi NO₂. ▪ NO₂ berwarna agak kemerahan dan sedikit berbau, mudah larut dalam air bereaksi dengan air menjadi asam nitrit atau nitrat. ▪ NO_x bereaksi dengan hidrokarbon membentuk ozon. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kendaraan bermotor 39%. ▪ Pabrik, generator dan penyulingan minyak 61%. ▪ Proses pembakaran (terutama pada suhu relatif tinggi). | <ul style="list-style-type: none"> ▪ NO₂ adalah hemotoksin (mengikat sel darah merah), dapat menyebabkan gangguan syaraf pusat. ▪ Menimbulkan iritasi tenggorokan, mata dan hidung. ▪ Dan sifat beracunnya akan menimbulkan sukar tidur, batuk-batuk dan sebagainya (konsentrasi 30-50 ppm). |
| SO _x (gas) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Korosif terhadap metal. ▪ Menimbulkan hujan asam. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kendaraan bermotor diesel (50%). ▪ Pabrik, generator, pemanas 50%. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Iritasi sistem membran pernafasan, menyebabkan bronchitis. |
| Pb (partikel halus) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Berbau. ▪ Baracun. ▪ Korosif. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kendaraan bermotor 90%. ▪ Pemakaian cat, pipa yang mengandung timbal. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Racun penyerang syaraf yang dapat menyebabkan gangguan perkembangan otak pada janin anak-anak. ▪ Dampak lanjutan adalah tekanan darah tinggi. |
| Partikulat | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kendaraan bermotor (diesel) 50%. ▪ Pabrik, generator dan pemanas 50%. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mengendap dalam sel paru-paru sehingga fungsinya terganggu. ▪ Menimbulkan flek hitam pada paru-paru. |

1. Sumber Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor

Polutan berasal dari empat sumber pada kendaraan bermotor, yaitu:

- Pipa gas buang (knalpot) adalah sumber yang paling utama (65-85 persen) dan mengeluarkan HC yang terbakar maupun tidak terbakar, bermacam-macam NO_x, CO, dan campuran alkohol, aldehida, keton, penol, asam, ester, ether, epoksida, peroksida, dan oksigenat yang lain.
- Bak oli adalah sumber kedua (20 persen), dan mengeluarkan hidrokarbon yang terbakar maupun tidak yang dikarenakan *blowby*.
- Tangki bahan bakar adalah faktor yang disebabkan oleh cuaca panas dengan kerugian penguapan hidrokarbon mentah (5 persen).
- Karburator adalah faktor lainnya, terutama pengendalian pada posisi *stop-and go* (kondisi macet) dengan cuaca panas, dengan kerugian penguapan dan bahan bakar mentah (5-10 persen) (Obert, 1973: 368).

Emisi gas buang kendaraan bermotor merupakan polutan yang mengotori udara yang dihasilkan dari gas buang kendaraan bermotor dan sangat berbahaya bagi kesehatan manusia, hewan, tumbuhan serta harta dan benda.



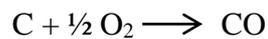
Gambar 4. Sumber Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor
Sumber: Heisler (1995: 658)

2. Karbon Monoksida (CO)

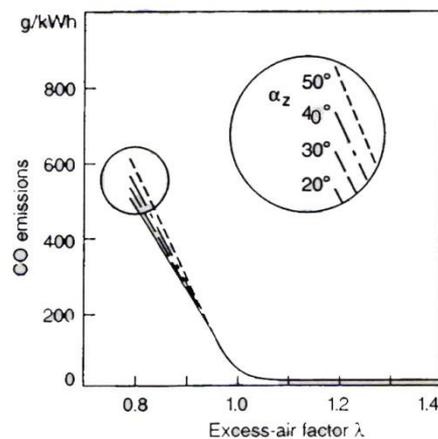
Apabila karbon di dalam bahan bakar terbakar habis dengan sempurna, maka terjadi reaksi sebagai berikut.



Namun, apabila unsur oksigen (udara) tidak cukup, maka terjadi proses pembakaran yang tidak sempurna yang menghasilkan CO seperti pada reaksi di bawah ini.



Jumlah gas CO yang dikeluarkan oleh mesin kendaraan dipengaruhi oleh perbandingan antara udara dan bahan bakar yang dihisap oleh mesin ke dalam ruang bakar.



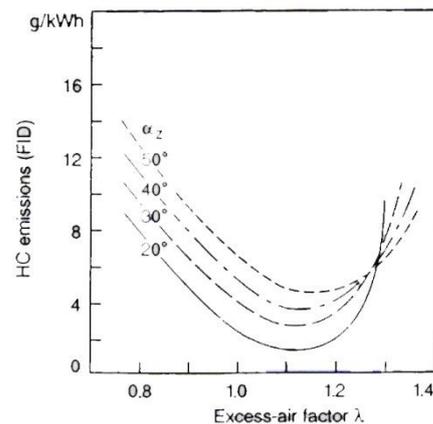
Gambar 5. Grafik Hubungan Lambda Terhadap Emisi CO Dengan Variasi Timing Pengapian
Sumber: Robert Bosch Gmbh (1999: 12)

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa pada saat campuran kaya (kekurangan udara) emisi gas buang CO cenderung naik. Hal ini dikarenakan atom C yang berasal dari bahan bakar kekurangan O₂ yang berasal dari udara untuk berikatan

melalui reaksi kimia di dalam ruang bakar dan berubah menjadi karbondioksida (CO_2). Sedangkan pada kondisi campuran miskin (kelebihan udara) konsentrasi CO berbanding lurus dengan campuran bahan bakar dan udara yang dihisap sehingga konsentrasi CO akan turun karena oksigen yang berasal dari udara cukup untuk memenuhi reaksi dengan karbon membentuk CO_2 .

3. Hidrokarbon (HC)

Sumber dari emisi HC adalah bahan bakar yang belum terbakar tetapi sudah keluar bersama-sama gas buang ke atmosfer, karena bahan bakar yang dipakai pada motor bensin terbuat dari hidrokarbon. Selain itu, disebabkan oleh pembakaran yang kurang sempurna karena kekurangan oksigen, sehingga ada sebagian bahan bakar yang belum terbakar dan keluar masih dalam bentuk hidrokarbon, atau juga terjadi karena penguapan dari tangki bahan bakar dan bak oli.



Gambar 6. Grafik Hubungan Lambda Terhadap Emisi HC Dengan Variasi Timing Pengapian
Sumber: Robert Bosch GmbH (1999: 12)

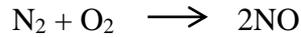
Apabila campuran kurus, maka konsentrasi HC menjadi naik seperti terlihat pada Gambar 6. Hal ini disebabkan kurangnya pasokan bahan bakar sehingga menyebabkan rambatan bunga api menjadi lambat dan bahan bakar akan segera keluar sebelum terbakar dengan sempurna, dan juga pada kondisi campuran kaya konsentrasi HC akan naik akibat dari adanya bahan bakar yang belum bereaksi dengan udara yang dikarenakan pasokan udara tidak cukup untuk bereaksi menjadi sempurna, sehingga ada sebagian hidrokarbon yang keluar pada saat proses pembuangan.

Selain itu, menurut Swisscontact (2001: 7) emisi gas buang hidrokarbon timbul oleh sebab-sebab di bawah ini:

- a. Dinding ruang bakar yang bertemperatur rendah dan mengakibatkan HC di sekitar dinding tidak terbakar dan keluar bersama gas buang.
- b. Pembakaran yang tidak merata (*ever misfire*).
- c. Adanya *overlap intake valve* (kedua katup bersama-sama membuka), sehingga HC berfungsi sebagai gas pembilas/pembersih.

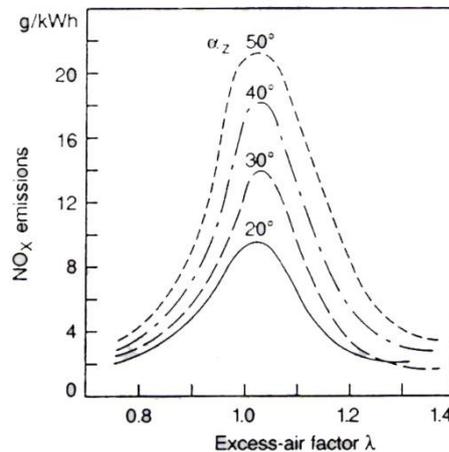
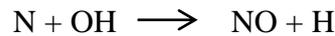
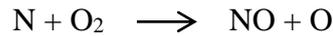
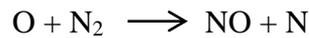
4. Nitrogen Oksida (NO_x)

“Nitrogen oksida atau disingkat NO_x adalah emisi yang dihasilkan oleh pembakaran yang terjadi pada temperatur yang tinggi” (Suyanto, 1989: 346). Udara yang digunakan untuk pembakaran mengandung nitrogen sekitar 78,03%. Pada temperatur yang cukup tinggi (1800°C – 2000°F) nitrogen dalam campuran bahan bakar dengan udara akan bersatu dan membentuk nitrogen oksida.



Selanjutnya, gas NO yang bereaksi di udara membentuk NO₂. Pada proses pembakaran di atas 2000°F kemungkinan timbulnya gas NO_x sangat besar. Sementara itu, NO_x di dalam gas buang terdiri dari 95% NO, 3-4% NO₂ dan sisanya N₂O, N₂O₃ (Swisscontact, 2001: 8). Nitrogen oksida dapat berupa NO, NO₂ dan N₂O dalam jumlah yang sedikit.

Menurut Heywood (1988: 572), reaksi terbentuknya NO adalah sebagai berikut.

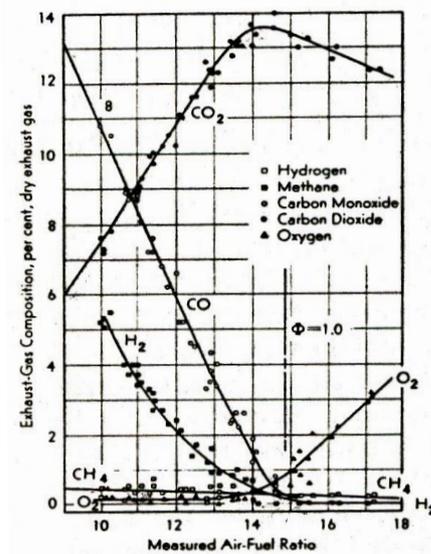


Gambar 7. Grafik Hubungan Lambda Terhadap Emisi NO_x Dengan Variasi Timing Pengapian
Sumber: Robert Bosch GmbH (1999: 12)

Pembentukan gas NO_x juga tergantung dari perbandingan jumlah bahan bakar dan udara yang dihisap ke dalam silinder dan temperatur kerja mesin. Pada Gambar 7 dapat diamati bahwa pada saat rentang campuran kaya (*rich range*)

ada kenaikan kadar NO_x seiring dengan naiknya konsentrasi oksigen. Kadar NO_x maksimum terjadi pada rentang perbandingan udara dan bahan bakar 1,05 sampai 1,1. Sedangkan, pada rentang campuran kurus (*lean range*) konsentrasi NO_x turun akibat turunnya temperatur kerja.

Secara lengkap tren emisi gas buang kendaraan bermotor berupa CO, CO₂, dan O₂ seperti terlihat pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Komposisi Gas Buang vs Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR) Terukur, Untuk Mesin Otomotif Tipe *Non-Supercharger*. Bahan Bakar C₈H₁₇
Sumber: Obert (1973: 365)

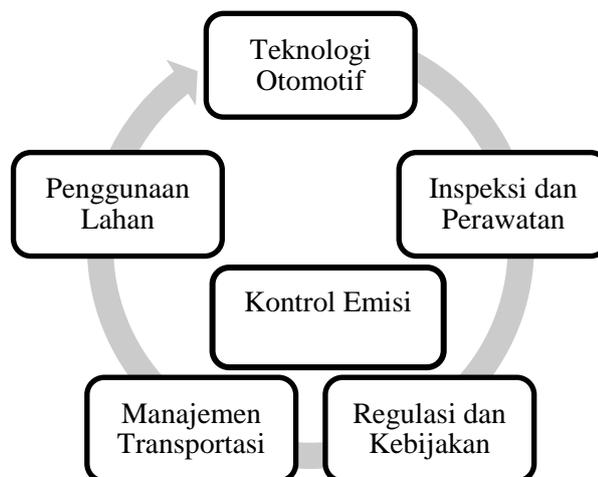
Dari penjelasan di atas dapat dihasilkan kisi-kisi variabel emisi gas buang kendaraan bermotor, yaitu emisi CO (% Vol), CO_{cor} (% Vol), CO₂ (% Vol), O₂ (% Vol), HC (ppm Vol), lambda (λ), dan putaran mesin (RPM) sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen di lampiran 9.

I. Teknologi Reduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor

Melihat begitu besarnya dampak emisi gas buang kendaraan bermotor terutama terhadap kesehatan manusia, maka perlu langkah-langkah strategis dalam pengendaliannya. Usaha pengontrolan emisi gas buang adalah usaha untuk mereduksi atau mengontrol emisi yang keluar dari kendaraan bermotor. Pengontrolan emisi gas buang pada kendaraan bermotor bertujuan untuk mereduksi konsentrasi CO, HC, NO_x, SO_x, Pb, dan partikulat (PM₁₀/PM_{2.5}) pada gas buang.

Menurut Warju (2013: 23), secara umum ada lima usaha yang dapat dilakukan untuk mengontrol polusi udara, yaitu:

1. Teknologi otomotif (*automotive technology*).
2. Inspeksi dan perawatan (*inspection and maintenance*).
3. Regulasi dan kebijakan (*regulation and policy*).
4. Manajemen transportasi (*transportation management*).
5. Penggunaan lahan (*land use*).



Gambar 9. Lima Usaha Pengontrolan Emisi Gas Buang
Sumber: Warju (2013: 23)

Pertama, penerapan teknologi otomotif (*automotive technology*) pada kendaraan bermotor. Banyak usaha yang dapat dilakukan untuk menurunkan kadar emisi gas buang pada kendaraan bermotor. Menurut Mathur (1975: 15), pendekatan yang digunakan untuk mengontrol emisi gas buang adalah:

1. Modifikasi desain mesin (*engine design modification*).
2. Modifikasi bahan bakar (*fuel modification*).
3. Perlakuan pada gas buang (*exhaust gas aftertreatment*).

Sedangkan menurut Obert (1973: 368), ada beberapa langkah awal dalam pengontrolan polusi udara, yaitu:

1. Memodifikasi mesin, komponen, dan bahan bakar untuk mengurangi polusi dari sumber yang tampak jelas untuk beberapa tahun mendatang.
 - a. Sejumlah perubahan kecil dan utama di dalam pembentukan desain mesin dan komponen dapat mengurangi emisi HC, CO, dan NO_x, seperti mengurangi perbandingan kompresi dan temperatur pembakaran.
 - b. Penambahan cuk otomatis untuk menghindari campuran kurus dan campuran gemuk.
 - c. Pemasangan *positive crankcase ventilation* (PCV) yang akan menghisap hidrokarbon di bak oli dan dimasukkan kembali ke *intake manifold* untuk dibakar kembali di ruang bakar. Selain itu, pemasangan PCV berfungsi untuk mengurangi kontaminasi terhadap oli mesin.
 - d. Dengan mengurangi kandungan timbal yang terdapat pada bahan bakar melalui destilasi, sehingga didapat bahan bakar yang bebas timbal.

2. Mendesain komponen baru untuk mengurangi emisi penguapan dari sistem bahan bakar.
 - a. Dengan pemasangan kanister untuk menyimpan uap bahan bakar pada saat motor tidak bekerja.
 - b. Dengan menahan panas yang terjadi pada karburator, sehingga tidak terjadi penguapan.
3. Mendesain komponen baru untuk mengurangi emisi gas buang.
 - a. Dengan pemasangan sistem sirkulasi ulang gas buang atau EGR untuk mensirkulasikan kembali gas bekas hasil pembakaran untuk dimasukkan kembali ke dalam silinder, sehingga mampu mengurangi emisi NO_x.
 - b. Dengan injeksi udara (*air injection*) ke dalam gas buang panas yang terlepas sehingga dapat mengurangi emisi HC, CO, dan aldehida dengan proses oksidasi.
 - c. Dengan pemasangan reaktor panas (*thermal reactor*) di saluran buang yang diisolasi untuk meningkatkan pengaruh temperatur, waktu, dan homogenitas pada komposisi gas buang.
 - d. Dengan pemasangan *catalytic converter* yaitu alat yang digunakan untuk mengurangi HC dan CO dengan menggunakan katalis oksidasi, dan NO dengan katalis reduksi.
4. Meningkatkan pemurnian bahan bakar untuk mengurangi emisi yang reaktif.
5. Desain sosiologi sebagai bagian dari analisis teknik.

6. Penelitian dan desain untuk mengembangkan tipe baru dari penggerak utama (atau sumber power) untuk menggantikan pembakaran mesin.

Jadi, secara umum untuk mereduksi/mengontrol emisi gas buang yang dikeluarkan oleh motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) ada tiga cara. *Pertama*, sebelum pembakaran. *Kedua*, di dalam proses pembakaran, dan *ketiga*, setelah pembakaran, yaitu perlakuan pada gas produk pembakaran di sistem pembuangan (*exhaust gas aftertreatment*).

Salah satu aplikasi pada perlakuan terhadap gas buang kendaraan bermotor yaitu dengan pemasangan *catalytic converter*. Usaha ini mulai dikembangkan oleh peneliti di perguruan tinggi akhir-akhir ini. Kebanyakan para peneliti menggunakan logam-logam mulia sebagai katalis, seperti Platinum (Pt), Rhutenium (Rt), Rhodium (Rh), dan Palladium (Pd). Logam-logam mulia tersebut mempunyai aktivitas spesifik yang tinggi, namun memiliki tingkat volatilitas besar, mudah teroksidasi dan mudah rusak pada suhu 500 – 900°C sehingga dapat mengurangi aktivitas katalis. Selain itu, logam-logam mulia tersebut mempunyai kelimpahan yang rendah dan harga yang cukup mahal (Warju, 2013: 25).

Pemasangan *catalytic converter* pada saluran gas buang yang menggunakan bahan logam katalis Pt, Rt, Rh, dan Pd dengan penyangga alumina, silika, dan ceramic (komposisi 1,5 g platinum, 3 g palladium, dan 0,3 g rhodium), saat ini memerlukan biaya yang cukup mahal dalam pembuatannya, sulit didapat dan kurang cocok digunakan di Indonesia yang bahan bakarnya masih mengandung timbal/timah hitam (Pb). Jenis *catalytic converter* ini dapat

mengkonversi emisi gas buang (CO, HC, dan NO_x) yang sangat tinggi (antara 80% - 99%) (Warju, 2013: 26).

Kedua, melakukan inspeksi dan perawatan (*inspection and maintenance*) pada kendaraan bermotor. Usaha ini dilakukan dengan cara melakukan perawatan secara rutin pada kendaraan bermotor agar kinerja mesin (*engine performance*) tetap optimal, hemat pemakaian bahan bakar, dan rendah emisi gas buang.

Ketiga, penerapan regulasi dan kebijakan (*regulation and policy*) yang mengatur ambang batas (baku mutu) emisi gas buang kendaraan bermotor. Hal ini bertujuan untuk membatasi/menekan kadar emisi gas buang yang dikeluarkan oleh asap kendaraan bermotor.



Gambar 10. Inspeksi dan Perawatan Pada Kendaraan Bermotor
Sumber: Warju (2013: 26)

Tabel 4. Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama

A. Kendaraan Bermotor Kategori L

| Kategori | Tahun Pembuatan | Parameter | | Metode Uji |
|--|-----------------|-----------|----------|------------|
| | | CO (%) | HC (ppm) | |
| Sepeda motor 2 langkah | < 2010 | 4,5 | 12000 | Idle |
| Sepeda motor 4 langkah | < 2010 | 5,5 | 2400 | Idle |
| Sepeda motor (2 langkah dan 4 langkah) | ≥ 2010 | 4,5 | 2000 | Idle |

B. Kendaraan Bermotor Kategori M, N, dan O

| Kategori | Tahun Pembuatan | Parameter | | | Metode Uji |
|--|-----------------|-----------|----------|-------------------|------------------|
| | | CO (%) | HC (ppm) | Opasitas (% HSU)* | |
| Berpenggerak motor bakar cetus api (bensin) | < 2007 | 4,5 | 1200 | | Idle |
| | ≥ 2007 | 1,5 | 200 | | |
| Berpenggerak motor bakar penyalaan kompresi (diesel) - GVW ≤ 3.5 ton - GVW > 3.5 ton | < 2010 | | | 70 | Percepatan bebas |
| | ≥ 2010 | | | 40 | |
| | < 2010 | | | 70 | |
| | ≥ 2010 | | | 50 | |

Catatan:

Untuk kendaraan bermotor berpenggerak motor bakar cetus api kategori M,N dan O

- < 2007 : berlaku sampai dengan 31 Desember 2006

- ≥ 2007 : berlaku mulai tanggal 1 Januari 2007

Untuk kendaraan bermotor kategori L dan kendaraan bermotor berpenggerak motor bakar penyalaan kompresi

- < 2010 : berlaku sampai dengan 31 Desember 2009

- ≥ 2010 : berlaku mulai tanggal 1 Januari 2010

* atau ekivalen % bosch

Sumber: Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama

Keempat, manajemen transportasi (*transportation management*). Untuk menekan penggunaan sepeda motor dan mobil pribadi yang begitu besar agar emisi gas buang dapat ditekan/diminimalisir, maka upaya pengadaan transportasi massal (*public transport*) yang aman, nyaman dan murah menjadi sebuah kebutuhan dan tuntutan. Transportasi massal seperti busway, monorail,

subway dan sebagainya perlu mendapat apresiasi semua pihak dalam rangka menekan kemacetan lalu lintas dan emisi gas buang kendaraan bermotor.



Gambar 11. *Busway* Sebagai Transportasi Masal di Jakarta
Sumber: www.sarwono.net/archive/news.1173173076.jpg

Kelima, penggunaan lahan (*land use*) untuk paru-paru kota. Hal ini dapat dilakukan dengan cara membuat taman-taman kota dengan penghijauan sehingga gas CO₂ yang dihasilkan dari proses pembakaran mesin dapat diserap tanaman untuk proses fotosintesis sehingga akan dihasilkan oksigen.



Gambar 12. Pohon Sebagai Paru-paru Kota
Sumber: Warju (2013: 28)

Penggunaan transportasi erat kaitannya dengan permasalahan lingkungan hidup, khususnya dalam penyediaan bahan bakar yang digunakan dan

pencemaran yang ditimbulkan. Hal ini tidak lepas dari pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor yang selalu meningkat setiap tahunnya. Oleh karena itu, masyarakat sebagai pengguna transportasi sebaiknya juga mempertimbangkan penggunaan transportasi dari sisi kepedulian terhadap lingkungan.

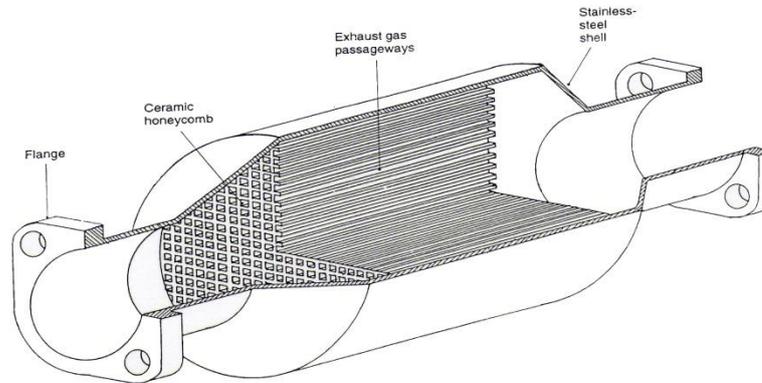
Pembakaran bahan bakar fosil pada kendaraan bermotor telah menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Kualitas udara yang semakin menurun akibat asap pembakaran minyak bumi adalah salah satu efek yang dapat kita lihat dengan jelas. Kemudian efek gas rumah kaca (GRK) yang ditimbulkan oleh gas karbondioksida (CO_2) hasil pembakaran minyak bumi. Seperti kita ketahui, pembakaran bahan bakar fosil yang tidak sempurna akan menghasilkan gas CO_2 yang lama kelamaan akan menumpuk di atmosfer. Radiasi sinar matahari yang dipancarkan ke bumi seharusnya dipantulkan lagi ke angkasa, namun akibat penumpukan gas CO_2 ini akan menghalangi pantulan tersebut. Akibatnya radiasi akan kembali diserap oleh bumi yang akhirnya akan meningkatkan temperatur udara di bumi sehingga muncullah pemanasan global (global warming). Di sisi lain, emisi gas buang yang dikeluarkan oleh asap kendaraan bermotor seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NO_x), timah hitam (Pb), sulfur oksida (SO_x), dan partikulat (PM) akan menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Penyakit asma, bronchitis, hipertensi, terganggunya saraf pusat, mata pedih, kanker, menyebabkan pingsan, dan bahkan menimbulkan kematian merupakan dampak negatif dari emisi gas buang yang dapat kita lihat dengan jelas (Swisscontact, 2001: 5-6).

Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) sektor transportasi merupakan sumber pencemar udara dan Gas Rumah Kaca (GRK) yang terbesar di perkotaan diikuti sumber emisi pencemar halus lain seperti industri, rumah tangga, dan kegiatan komersial. Emisi GRK dari sektor transportasi di perkotaan adalah sekitar 23% dari total emisi GRK dari seluruh sumber (BPS, 2015: 67).

Berikut ini disajikan beberapa teknologi otomotif untuk mereduksi emisi gas buang kendaraan bermotor.

1. *Catalytic Converter*

Emisi gas buang kendaraan bermotor merupakan polutan yang memberikan kontribusi terbesar bagi pencemaran udara. Pipa gas buang (knalpot) kendaraan bermotor adalah sumber yang paling utama emisi gas buang (65-85 persen) dan mengeluarkan hidrokarbon (HC) yang terbakar maupun tidak terbakar, bermacam-macam NO_x, CO, dan gas-gas lainnya (Obert, 1973: 368). Gas-gas tersebut sangat berbahaya bagi kesehatan dan harus dihilangkan semaksimal mungkin. Penggunaan *catalytic converter* pada saluran gas buang (knalpot) kendaraan bermotor dapat mereduksi gas-gas yang berbahaya tersebut menjadi gas yang tidak berbahaya.



Gambar 13. Konstruksi *Catalytic Converter*

Sumber: Heisler (1995: 696)

a. Fungsi *Catalytic Converter*

Catalytic converter berfungsi untuk mengurangi HC dan CO dengan menggunakan katalis oksidasi, dan NO dengan katalis reduksi. Faktor-faktor seperti temperatur, waktu, homogenitas, dan komposisi gas buang dimodifikasi oleh suatu variabel baru yang disebut material katalis (Obert, 1973: 381).

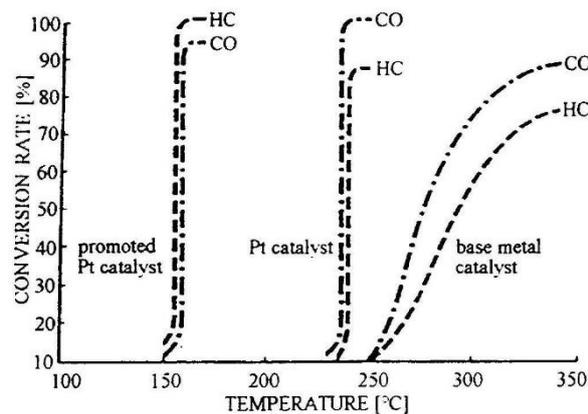
b. Bahan *Catalytic Converter*

Material katalis yang digunakan pada *catalytic converter* harus mampu mereaksikan gas buang yang berbahaya hasil dari pembakaran di dalam silinder menjadi gas yang tidak berbahaya. Logam katalis yang dipakai juga harus mampu mereduksi dan mengoksidasi gas tersebut.

Reaksi oksidasi yang terjadi harus bersih dan sederhana. CO, HC, dan O₂ oleh katalis dikonversikan menjadi H₂O, dan CO₂. Sejumlah bahan

katalis yang diketahui sangat efektif untuk reaksi oksidasi adalah platinum, plutonium, palladium (logam-logam mulia); tembaga, vanadium, besi, cobalt, nikel, mangan, chrom dan oksidanya (Obert 1973: 381).

Sedangkan pada reaksi reduksi prinsip dasarnya harus mampu mengubah molekul NO dengan cara aktivasi, bereaksi pada nikel atau tembaga dalam prosentase CO (tetapi bukan O₂ yang bisa menyebabkan oksidasi) untuk membentuk N₂ dan CO₂. Sejumlah bahan katalis reduksi yang diketahui dapat mengurangi NO sampai beberapa derajat adalah besi, nikel, tembaga, dan oksidanya (Obert 1973: 381a).

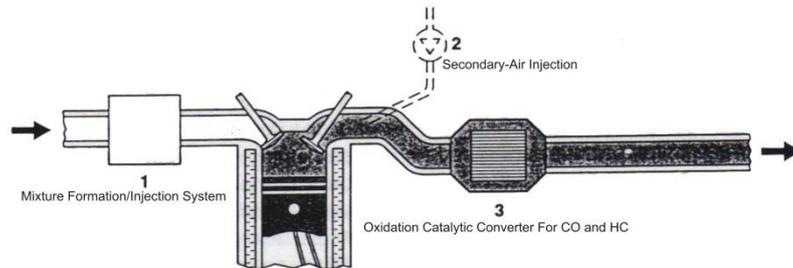


Gambar 14. Grafik Material Katalis Terhadap Temperatur
Sumber: Jenbacher (1996:482)

c. Jenis *Catalytic Converter*

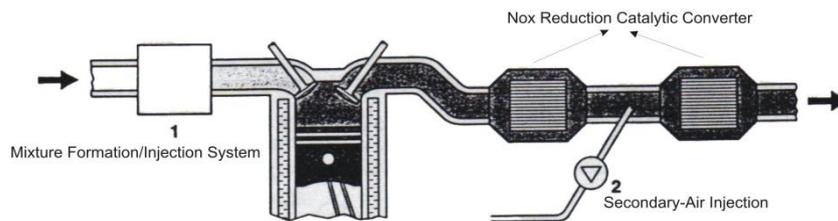
Pada umumnya *catalytic converter* terdiri dari 3 jenis, yaitu:

1) *Single bed oxidation catalytic converter*



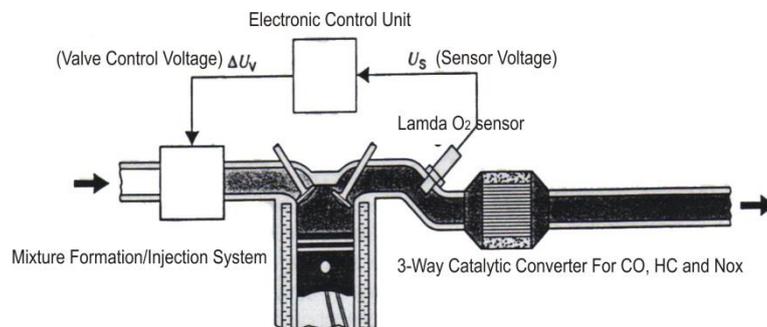
Gambar 15. *Single Bed Oxidation Catalytic Converter*
 Sumber: Robert Bosch GmbH (1999: 27)

2) *Dual bed catalytic converter*



Gambar 16. *Dual Bed Catalytic Converter*
 Sumber: Robert Bosch GmbH Bosch (1999: 27)

3) *Three Way catalytic converter*



Gambar 17. *Three Way Catalytic Converter (TWC)*
 Sumber: Robert Bosch GmbH (1999: 27)

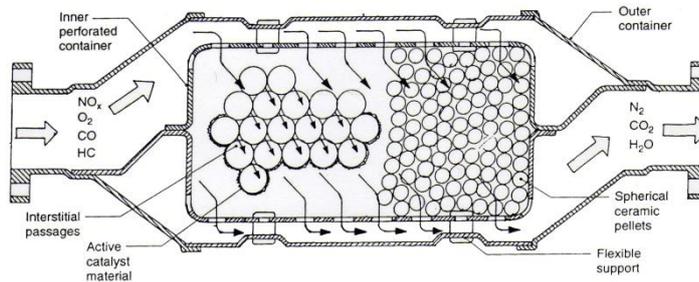
Belakangan ini kendaraan banyak yang menggunakan TWC karena mampu mengurangi ketiga polusi gas buang yang berbahaya tersebut. Fungsi dari *three-way catalytic converter* adalah untuk mengurangi gas polutan yang tidak dikehendaki seperti CO, HC, dan NO_x dari aliran gas buang dengan mengkonversikannya melalui reaksi kimia menjadi CO₂, H₂O dan N₂. Hasil ini diperoleh dengan mengoksidasikan CO dan HC sehingga molekul CO dan HC disusun kembali menjadi CO₂ dan H₂O, sebaliknya NO_x akan direduksi (menghilangkan oksigen) menjadi CO₂ dan N₂. *Three-way catalytic converter* diletakkan sebelum *muffler*, sedekat mungkin dengan *exhaust manifold* (Heisler, 1995: 697).

d. Konstruksi *Three Way Catalytic Converter*

Menurut Heisler (1995: 700), ada tiga konstruksi *three way catalytic converter*, yaitu:

1) *Ceramic pellet* (bola-bola keramik)

Tipe dari katalis ini mempunyai lapisan-lapisan pellet yang berbentuk bola dibagian atas dan di bagian lainnya, pellet tersebut terbuat dari ceramic seperti magnesium dan alumunium yang tahan terhadap temperatur tinggi.

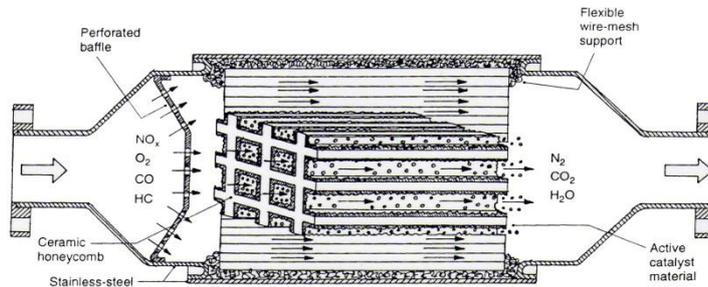


Gambar 18. *Catalytic Converter Tipe Ceramic Pellet*
 Sumber: Heisler (1995: 701)

2) *Ceramic honeycomb (monolith)* atau bentuk sarang lebah keramik

Susunan dari *catalytic converter ceramic honeycomb (monolith)* ini menyerupai struktur sarang lebah dan menyalurkan aliran gas buang secara paralel. *Substrate* dari *honeycomb* dibuat dari bahan keramik magnesium-aluminium silica yang tetap stabil pada temperatur kerja yang tinggi. Saluran ini dibungkus dengan sebuah aluminium kasar dengan tebal sekitar 20×10^{-6} m yang mampu menaikkan area permukaan saluran dari katalis dengan hitungan kasar sekitar 700.

Struktur dari sarang lebah kira-kira 1 mm persegi untuk laluan dari gas buang dan mempunyai tebal kekasaran dinding penyerap 0,15 sampai 0,3 mm. Sekitar 30 sampai 60 cm persegi untuk lubang dari garis depan area.

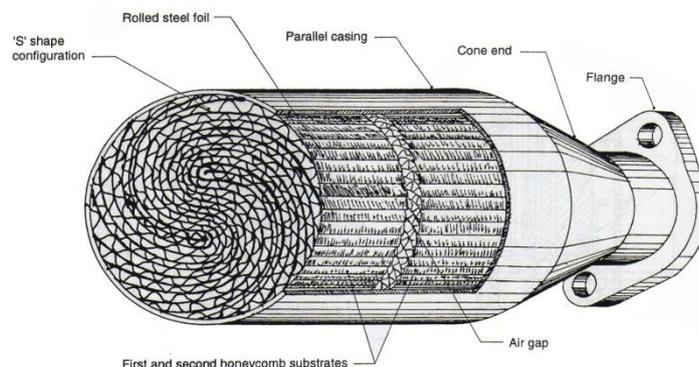


Gambar 19. *Catalytic Converter Tipe Ceramic Honeycomb (Monolith)*

Sumber: Heisler (1995: 701)

3) *Metallic honeycomb (monolith)* atau bentuk sarang lebah logam

Substrate metallic honeycomb ini terdiri dari kertas baja tipis sebagai alternatif lapisan yang datar yang terbuat dari kertas timah yang berbengkok-bengkok dengan tebal berkisar dari 0,04 sampai 0,05 mm dan digulungkan melebar ke dalam sebuah spiral atau dibentuk "S" susunannya. *Catalytic converter metallic honeycomb* kondisinya lebih berat dari pada *catalytic converter ceramic honeycomb* dan harganya 15% lebih mahal.



Gambar 20. *Catalytic Converter Tipe Metallic Honeycomb (Monolith)*

Sumber: Heisler (1995: 701)

e. Prinsip Kerja *Catalytic Converter*

Gas buang mesin bensin yang keluar dari knalpot berkisar antara 300°C sampai 400°C ketika idle, dan mencapai 900°C pada pengoperasian beban penuh. Pengoperasian temperatur khusus berkisar antara 500°C dan 600°C. Untuk menjaga perubahan tingginya temperatur, maka efisiensi konversi dari sebuah katalis berkisar antara 400°C dan 800°C. Jika temperatur pembuangan di dalam *converter* berpindah dari 800°C sampai 1000°C untuk beberapa waktu tertentu, maka logam mulia dan *substrate washcoat* akan memelihara dari pelelehannya (Heisler, 1995: 698).

Efektivitas katalis ditentukan oleh laju konversi (k) yang didefinisikan sebagai berikut.

$$k = \frac{\text{konsentrasi in} - \text{konsentrasi out}}{\text{konsentrasi in}} \times 100\% \quad (1)$$

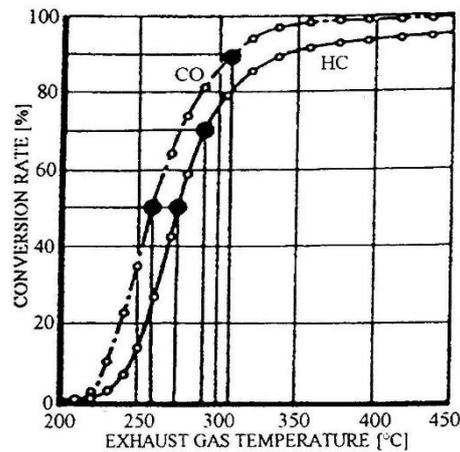
Sumber: Jenbacher (1996: 481)

Untuk mencapai tingkat tertinggi dari konversi gas buang, maka parameter yang digunakan adalah perbandingan udara dan bahan bakar, temperatur gas pembuangan serta kecepatan aliran gas buang yang juga harus disesuaikan seoptimal mungkin (Jenbacher, 1996: 481).

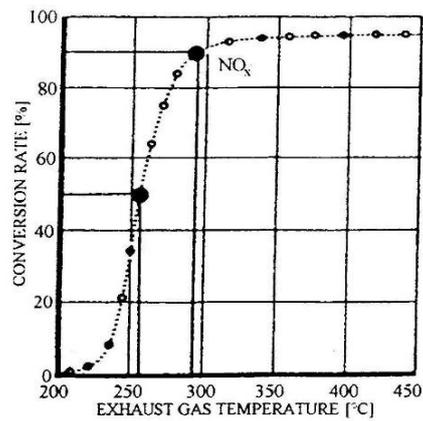
Pada temperatur 300°C efisiensi konversi dari katalis yang baru berkisar antara 98% - 99% untuk CO dan sekitar 95% untuk HC. Bagaimanapun juga untuk temperatur di bawah 300°C katalis praktis tidak efisien. Temperatur katalis yang efektif 50% disebut *light temperature*,

temperatur ini digunakan oleh beberapa pabrik-pabrik sebagai spesifikasi (Heisler, 1995: 698).

Dari gambar 21 ditunjukkan grafik temperatur gas buang terhadap laju konversi CO, HC, dan NO_x.

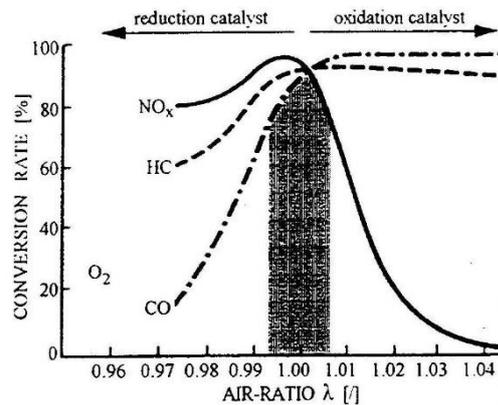


Gambar 21. Grafik Temperatur Gas Buang Terhadap Laju Konversi CO dan HC
Sumber: Jenbacher (1996: 482)

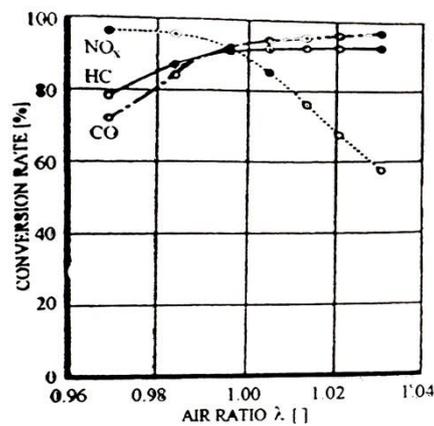


Gambar 22. Grafik Temperatur Gas Buang Terhadap Laju Konversi NO_x
Sumber: Jenbacher (1996: 482)

Selain itu, perbandingan udara dan bahan bakar juga berpengaruh terhadap laju konversi sebuah katalis. Pada gambar di bawah ini ditunjukkan hubungan laju konversi dari CO, HC dan NO_x terhadap perbandingan udara dan bahan bakar pada kondisi statis dan kondisi dinamis.



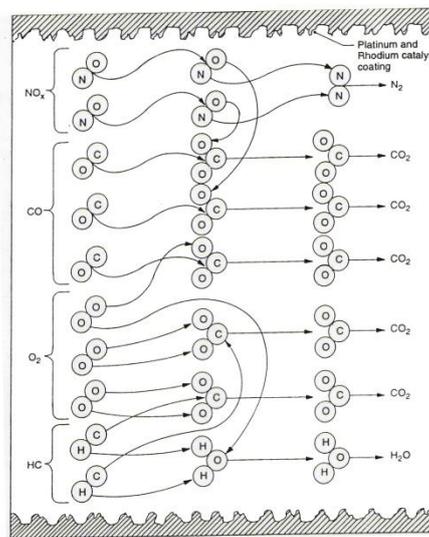
Gambar 23. Grafik Laju Konversi Katalis di Bawah Kondisi Statis
Sumber: Jenbacher (1996: 481)



Gambar 24. Grafik Laju Konversi Katalis di Bawah Kondisi Dinamis
Sumber: Jenbacher (1996: 482)

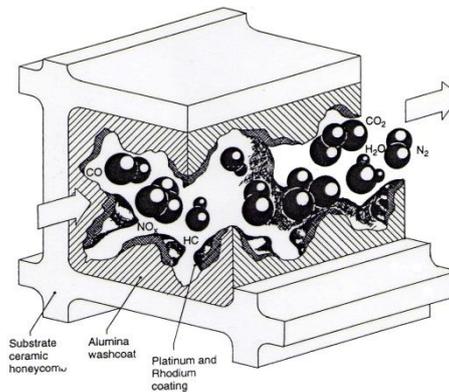
Katalis akan kehilangan keefektifannya akibat adanya penurunan keaktifan material pada saat gas buang panas. Penurunan kereaktifan katalis ini pada dasarnya disebabkan oleh tempat-tempat yang aktif menjadi

terkontaminasi dan beracun, atau logam yang meleleh akibat temperatur pengoperasian yang tinggi untuk periode yang lama. Efeknya, reduksi area permukaan dari tempat-tempat yang aktif tidak cukup untuk mengubah seluruh aliran gas yang melalui tempat-tempat yang efektif tersebut (Heisler, 1995: 698).



Gambar 25. Komposisi Gas Buang Pada Saat Proses Reaksi di *Catalytic Converter*
 Sumber: Heisler (1995: 698)

Reaksi pada *catalytic converter* dimulai dengan penyerapan (*adsorption*) komponen polutan dari gas buang dan oksigen di permukaan katalis. Proses penyerapan berakibat pada melemahnya ikatan antara atom-atom dari molekul-molekul pengikat karena beberapa energi terbagi bersama-sama dengan permukaan katalis. Ikatan atom-atom yang kurang ketat menyebabkan atom-atom ini mudah bereaksi dengan atom-atom lain, seperti itulah reaksi diantara atom-atom tersebut menjadi lebih mudah dan lebih cepat (Jenbacher, 1996: 480).



Gambar 26. Reaksi Pada *Catalytic Converter*
 Sumber: Heisler (1995: 699)

Dari teori di atas dapat dihasilkan kisi-kisi variabel emisi gas buang kendaraan bermotor dari hasil pengujian teknologi *catalytic converter*, yaitu emisi CO (% Vol), COcor (% Vol), CO₂ (% Vol), O₂ (% Vol), HC (ppm Vol), lambda (λ), temperatur gas buang (°C), dan putaran mesin (RPM) sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen di lampiran 9.

2. *Diesel Particulate Trap/Diesel Particulate Filter*

Diesel particulate trap (DPT) atau penjebak partikulat diesel adalah teknologi yang digunakan untuk menjebak partikel debu halus/*particulate matter* (PM_{2,5} dan PM₁₀) yang keluar dari asap gas buang mesin diesel. Diesel particulate trap disebut juga *diesel particulate filter* (DPF) yang digunakan untuk menyaring asap (*smog*) yang keluar dari knalpot motor diesel. Telah kita ketahui bahwa mesin diesel konvensional cenderung menghasilkan opasitas

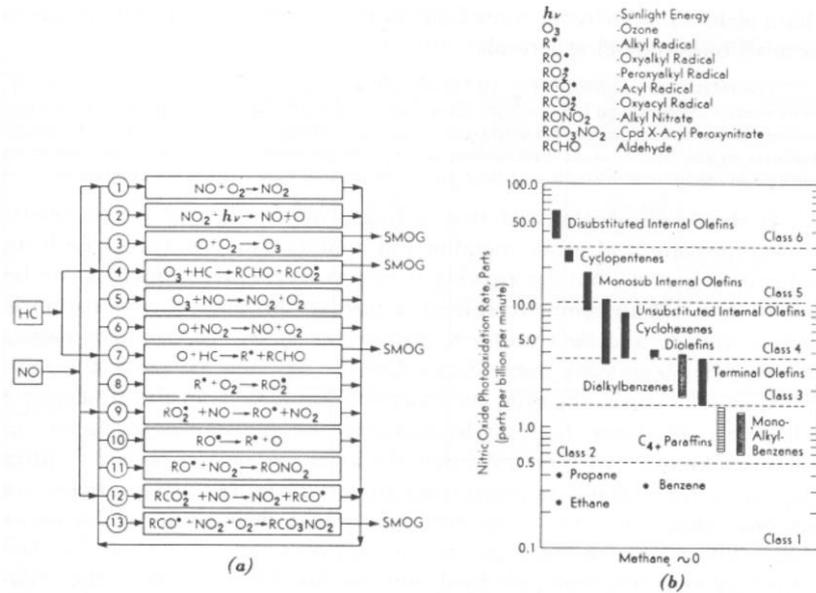
(ketebalan asap) yang tinggi jika dibandingkan dengan mesin diesel modern (berteknologi *common-rail system*). Oleh karena itu, knalpot mesin diesel konvensional harus dipasang teknologi DPT/DPF ini agar lebih ramah lingkungan.

Menurut Obert (1973: 364), proses terbentuknya asap, dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Asap dapat direduksi dengan mengurangi konsentrasi atmosfer dari hidrokarbon yang reaktif.
- b. Untuk memberikan konsentrasi HC reaktif, asap maksimum terjadi pada salah satu konsentrasi partikel NO.

Mereduksi konsentrasi NO_x di atmosfer mungkin tidak mereduksi asap, tetapi justru akan menyebabkan peningkatan asap.

Dari gambar 27 ditunjukkan pembentukan asap fotokimia dan laju foto-oksidasi *nitric oxide* (NO). Pada reaksi 2 dari gambar 27a ditunjukkan bahwa nitrogen dioksida (NO₂) menyerap energi matahari (*sunlight energy/hv*) untuk memicu pembentukan asap. Sedangkan pada reaksi 11, NO₂ bereaksi dengan *Oxyalkyl Radical* (RO) untuk membentuk reaksi rantai (*Alkyl Nitrate/RONO₂*). Pada reaksi 3, substansi (O + O₂) biasanya berasosiasi dengan asap foto-kimia yang disebut ozon (O₃), aldehida (reaksi 4 dan 7), dan X (tidak bernama pada reaksi 13, dimana substansi ini dipercaya berkontribusi terhadap iritasi mata). NO_x menyebabkan tidak hanya iritasi mata dan saluran pernafasan, tetapi juga berdampak pada mutasi gen semua makhluk hidup yang tidak dapat diprediksi.



Gambar 27. (a) Skema Pembentukan Asap Foto-Kimia, (b) Laju Foto-Oksidasi NO
Sumber: Obert (1973: 365)

a. Prinsip Kerja Penjebak Partikulat

Teknologi perlakuan pada gas buang yang dapat mereduksi emisi partikulat mesin diesel adalah penjebak partikulat diesel (*diesel particulate trap*) atau kadang-kadang juga disebut *trap oxidizer*. Toleransi temperatur pada filter atau penjebak menghilangkan material partikulat pada gas buang; filter ini kemudian membersihkan dengan cara mengoksidasi akumulasi partikulat.

Teknologi ini sulit diimplementasikan karena:

- 1) Filter (meskipun bersih) akan meningkatkan tekanan sistem pembuangan.

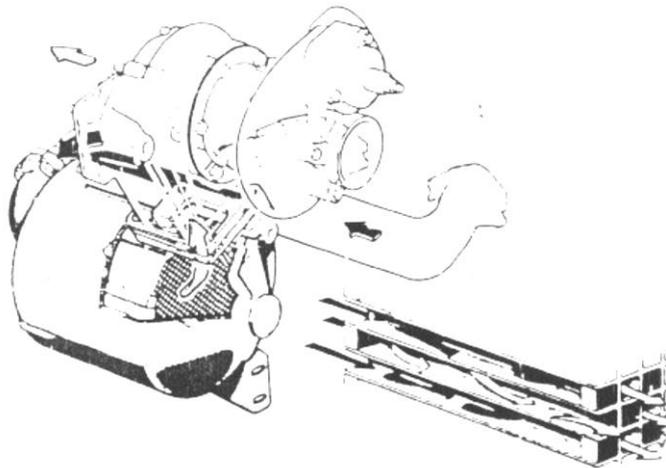
- 2) Tekanan akan meningkat pada saat filter terus mengumpulkan partikel debu halus.
- 3) Di bawah kondisi operasi mesin diesel normal, partikel debu halus yang telah terkumpul tidak akan dibakar dan dioksidasi.
- 4) Penyalaan sendiri pada partikulat akan terjadi, sehingga proses pembakaran harus dikontrol secara hati-hati untuk mencegah kerusakan penjebak partikulat pada temperatur tinggi.

Trap oxidizer biasanya dipasang pada knalpot mesin diesel beban ringan. Penggunaannya pada mesin diesel beban berat akan menimbulkan masalah yang cukup sulit karena beban partikulatnya lebih besar dan temperatur gas buang yang lebih rendah.

Tipe penjebak partikulat termasuk: sarang lebah keramik (*ceramic monolith*), alumina yang dilapiskan pada plat yang dibentuk persegi (*wire mesh*), bentuk keramik, *ceramic fiber mat*, *woven silica-fiber rope wound* pada tabung yang berpori. Setiap bentuk penjebak partikulat memiliki perbedaan dari sisi kerugian tekanan internal dan efisiensi penjebakan.

Partikulat debu halus mesin diesel dapat terbakar pada temperatur sekitar 500-600°C. Temperatur ini di atas temperatur normal gas buang mesin diesel sehingga gas buang yang mengalir melalui penjebak harus dipanaskan atau pembakaran dapat dibuat untuk terjadi pada temperatur rendah dengan menggunakan bahan katalis pada penjebak (lihat sub bab *catalytic converter*) atau dengan cara menambahkan bahan bakar. Lapisan katalis pada penjebak dapat mereduksi temperatur penyalaan sampai 200°C.

Gambar 28 menunjukkan keramik yang dilapiskan pada *particulate trap/trap oxidizer* pada sistem pembuangan mesin diesel injeksi tidak langsung yang menggunakan teknologi *turbocharger*. Penjebakannya adalah sarang lebah keramik dengan setengah cell tertutup pada sisi akhir pemasukan dan setengah cell yang lain tertutup pada sisi akhir pengeluaran. Partikulat gas buang ditekan untuk mengalir melalui dinding cell keramik yang berpori. Bagian luar dari sarang lebah diisolasi/ditutup dengan plat besi/*stainless steel* sehingga penjebakan pada temperatur tinggi dapat dimungkinkan.



Gambar 28. Katalis Keramik yang Dilapiskan Pada *Particulate Trap/Trap Oxidizer* Pada Sistem Pembuangan Mesin Diesel Injeksi Tidak Langsung yang Menggunakan Teknologi *Turbocharger*
Sumber: Heywood (1988: 660)

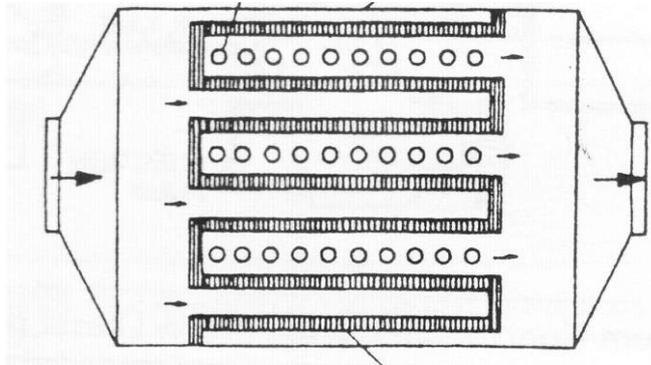
Penurunan tekanan (*pressure drop*) saat melintasi penjebak partikulat tanpa beban akan meningkat dari 0,02 atm pada 1.000 rpm menjadi 0,15 atm pada kecepatan mesin maksimum 4.500 rpm. Ketika penjebak partikulat bebannya meningkat, penurunan tekanan akan meningkat pula sehingga

mebutuhkan lebih banyak bahan bakar untuk diinjeksikan untuk mengkompensasi kehilangan tenaga (*power*). Timbal dalam temperatur gas buang yang lebih tinggi akan menghasilkan penyalaan katalis pada partikulat. Laju oksidasi partikulat tergantung pada temperatur penjebak (*trap*). Dengan desain dan penempatan penjebak partikulat yang sesuai, akan dihasilkan tingkat reduksi partikulat yang tinggi. Dengan menggunakan penjebak partikulat, emisi partikulat dari mesin diesel dapat direduksi 70% atau lebih.

b. Jenis Penjebak Partikulat Pada Mesin Diesel

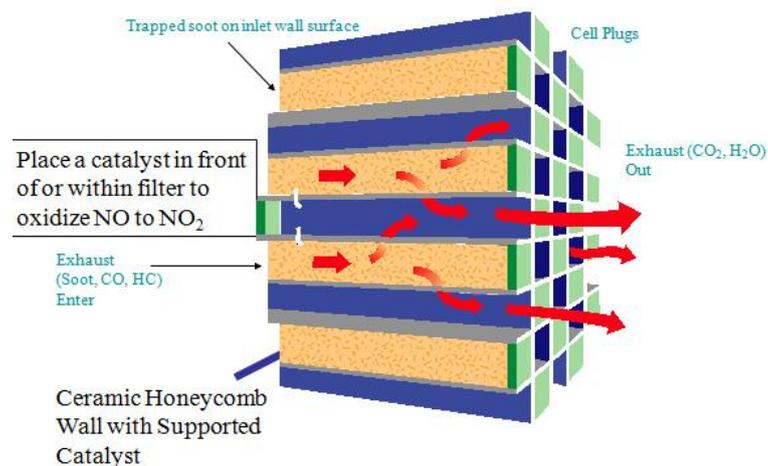
“Bahan/zat yang tidak bisa teroksidasi dalam katalisator biasanya adalah emisi dalam bentuk partikel. Partikel tersebut berukuran mulai dari 0,01 μm sampai dengan 1000 μm (Swisscontact, 2001: 70)”. Untuk mereduksi partikel tersebut agar tidak mencemari lingkungan maka digunakanlah sistem penyaringan/penjebakan partikulat mesin diesel (*diesel particulate trap/diesel particulate filter*).

Banyak jenis filter yang bisa digunakan, salah satunya adalah filter keramik monolith. Bahan utama dari keramik dengan campuran polyurethane, seperti pada gambar 29 berikut ini. Bahan tersebut dapat menyaring dan mereduksi partikulat yang berukuran 5 μm sampai dengan 25 μm .



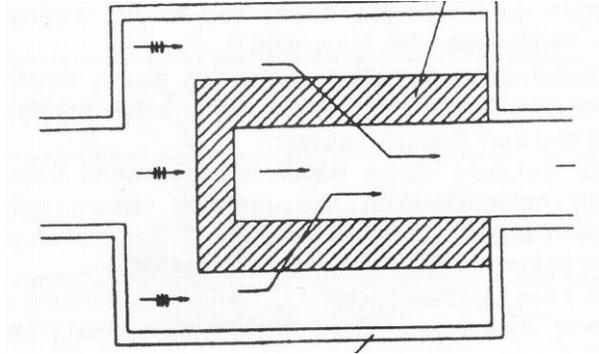
Gambar 29. Filter Keramik Monolith
Sumber: Swisscontact (2001: 70)

Berikut ini gambar yang menunjukkan penampang dan posisi penjebak partikulat jenis filter keramik monolith pada knalpot mesin diesel.



Gambar 30. Penampang Penjebak Partikulat Mesin Diesel Menggunakan Keramik Berpori dan Katalis Untuk Mengumpulkan dan Membakar Jelaga
Sumber: Heywood (1988: 661)

Jenis yang lain dari penyaring/penjebak partikulat mesin diesel adalah *wolffilter*. Bahan dari penyaring/penjebak partikulat jenis ini adalah sejenis serat kaca. Dengan bahan ini, partikulat dapat dikurangi lebih banyak dibandingkan pemakaian bahan keramik. Filter jenis ini bisa menyaring partikel hingga ukuran $0,25 \mu\text{m}$ (Swisscontact, 2001: 71).



Gambar 31. *Wollfilter*
 Sumber: Swisscontact (2001: 71)

Dari teori di atas dapat dihasilkan kisi-kisi variabel emisi gas buang kendaraan berbahan bakar solar dari hasil pengujian teknologi *diesel particulate filter* (DPF), yaitu opasitas gas buang (% HSU), *K-value*, temperatur gas buang ($^{\circ}\text{C}$), tekanan balik gas buang (kPa atau atm), dan putaran mesin (RPM) sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen di lampiran 9.

3. *Thermal Reactor*

Dalam pengembangan mesin, bagian pertama yang perlu ditingkatkan adalah karburator, kendali daya dorong (*trush control*), perbaikan sistem *idling*, optimasi *choke*, *preheating* udara masuk, ruang atomisasi, karburator elektronik, pengapian elektronik, dan sistem injeksi bahan bakar.

Perbaikan juga dilakukan dalam bidang desain ruang bakar (*combustion chamber*). Penggunaan sensor knock memungkinkan kompresi menjadi lebih tinggi sehingga temperatur ruang bakar yang lebih tinggi ini berfungsi sebagai penahan panas gas buang sehingga dapat mengurangi emisi gas buang kendaraan bermotor. Reduksi gas buang akan efisien jika dilakukan pengolahan gas buang yang didukung oleh perbaikan mesin.

HC dapat teroksidasi pada fase gas (tanpa katalis) pada temperatur di atas 600 °C, sedangkan untuk mengoksidasi CO dibutuhkan temperatur di atas 700 °C. Pada motor bensin temperatur gas buang dapat bervariasi antara 300 °C sampai 400 °C pada putaran idle, hingga mencapai 900 °C pada putaran tinggi. Temperatur yang umumnya terjadi adalah 400 °C sampai 600 °C (Heywood, 1988: 648).

Dari hasil uji coba yang penulis lakukan pada sepeda motor, temperatur gas buang yang keluar dari ruang bakar sepeda motor Honda Vario tahun 2010 pada putaran idle mencapai 409 °C.

a. Cara Mereduksi Emisi CO dan HC

Berdasarkan teori pendinginan dinding silinder (*wall quenching*), konsentrasi emisi HC dari gas buang mesin bensin (*spark ignition engine/SIE*) dapat dikurangi dengan cara:

- 1) Temperatur yang lebih tinggi pada gas buang:
 - a) Dengan mengurangi perbandingan kompresi.
 - b) Dengan memundurkan saat pengapian.
 - c) Dengan meningkatkan pemasukan dan temperatur pendingin.
 - d) Dengan meningkatkan kecepatan (sistem pembuangan yang lebih panas).
 - e) Dengan meningkatkan tekanan pemasukan.
 - f) Dengan mengisolasi saluran pembuangan (*exhaust manifold*) untuk mendapatkan temperatur yang lebih tinggi.

- 2) Oksigen yang berlebih pada sistem pembuangan:
 - a) Dengan campuran miskin (limit untuk mesin multi silinder sekitar 18:1).
 - b) Dengan menambah udara ke dalam gas buang panas untuk reaksi yang lebih efektif.
- 3) Massa yang lebih kecil pada pendinginan selubung (*quench envelope*):
 - a) Dengan mengurangi perbandingan permukaan dan volume (atau volume silinder yang lebih besar per silinder dengan jumlah silinder yang lebih sedikit; atau perbandingan diameter dan panjang langkah torak (*bore and stroke*) yang lebih kecil).
 - b) Dengan meningkatkan turbulensi selama pembakaran.
 - c) Dengan meningkatkan pemasukan dan temperatur pendingin.
 - d) Dengan meningkatkan perbandingan kompresi.
 - e) Dengan mengurangi deposit.
- 4) Waktu yang lebih untuk reaksi:
 - a) Dengan mengurangi kecepatan
 - b) Dengan campuran yang lebih homogen (dengan pencampuran/premixed; dengan pemasukan atau temperatur campuran yang lebih tinggi; dengan bahan bakar yang lebih mudah menguap; atau dengan turbulensi di dalam saluran masuk) (Obert, 1973: 371-372).

b. Mengetahui Teknologi *Thermal Reactor*

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengkonversi emisi gas buang secara signifikan pada temperatur tinggi dapat digunakan teknologi berupa reaktor panas (*thermal reactor*).

Pada dasarnya alat yang dirancang untuk menurunkan kadar emisi gas buang kendaraan bermotor khususnya CO dan HC menggunakan sistem thermal reactor yaitu dengan jalan memanaskan kembali gas sisa hasil pembakaran yang dibuang pada knalpot dengan memanfaatkan panas dari ruang bakar pada kendaraan bermotor. Gas buang panas sisa hasil pembakaran disirkulasi melalui knalpot yang telah dipasang lekukan (Arisma, 2010: 15).

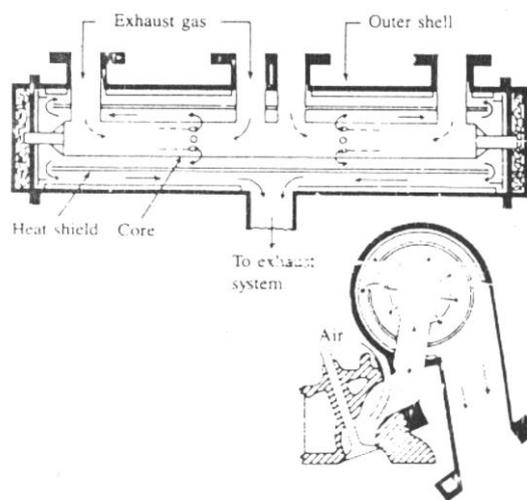
Panas dari ruang bakar dijebak dengan menggunakan lekukan sehingga panas tersebut terisolasi dalam knalpot yang sudah didesain dengan menambahkan lekukan dari bahan yang bersifat katalis atau bahan yang dapat menahan dan meresap panas. Adapun panas yang dijebak digunakan untuk memanaskan kembali gas buang kendaraan bermotor yang keluar dari knalpot khususnya gas CO dan HC. Temperatur gas buang yang masuk ke dalam knalpot yang sudah ditambahkan lekukan dari bahan katalis harus mampu mencapai panas 26 kkal/mol, agar perpindahan panas yang terjadi bisa sebesar mungkin. Apabila perpindahan panas yang terjadi di dalam alat mendekati harga tersebut, maka waktu yang diperlukan untuk menguraikan emisi gas buang kendaraan bermotor menjadi lebih cepat (Arisma, 2010: 15).

Sistem ini bekerja dan bertujuan untuk memanaskan/membakar kembali emisi gas buang hasil proses pembakaran, dimana gas buang yang berada pada

knalpot dipanaskan ulang dengan dibuatkannya lekukan di dalam knalpot dengan bahan katalis. Kalor mempunyai peran besar dalam sistem ini karena sebagian besar proses oksidasi berkaitan dengan pemberian kalor untuk melepaskan gas buang pada tekanan dan temperatur tinggi. Proses pemanasannya akan berlangsung secara periodik dan emisi gas buang dengan temperatur tinggi tersebut akan terus mengalir ke dalam knalpot yang sudah didesain dengan menambahkan bahan katalis yang berfungsi untuk memanaskan gas buang yang ada pada knalpot dan inilah yang akan menurunkan emisi gas buang dari kendaraan bermotor (Arisma, 2010: 16).

Sejumlah bahan katalis yang diketahui sangat efektif untuk reaksi oksidasi adalah platinum, plutonium, palladium (logam mulia); tembaga, vanadium, besi, cobalt, nikel, mangan, chrom, stainless steel, dan oksidanya (Obert, 1973: 381).

Skematik reaktor panas pada knalpot mobil untuk mengoksidasi emisi CO dan HC dapat dilihat pada gambar 32 berikut ini.



Gambar 32. Skema *Thermal Reactor* Pada Knalpot Untuk Oksidasi CO & HC
Sumber: Heywood (1988: 658)

c. Aplikasi *Thermal Reactor* Pada Mobil

Gambar 33 dan 34 berikut ini menunjukkan posisi aplikasi teknologi reaktor panas (*thermal reactor*) pada sejumlah mobil.



Gambar 33. Posisi Reaktor Panas Pada Mobil (Bagian 1)
Sumber: <http://www.google.co.id/imgres?q=thermal+reactor>



Gambar 34. Posisi Reaktor Panas Pada Mobil (Bagian 2)
Sumber: <http://www.google.co.id/imgres?q=thermal+reactor>

d. Persyaratan *Thermal Reactor* untuk Mereduksi Emisi CO dan HC

Penerapan teknologi reaktor panas (*thermal reactor*) pada sistem pembuangan kendaraan bermotor dapat dilakukan dengan cara mengisolasi

saluran pembuangan (*exhaust manifold*) untuk meningkatkan pengaruh temperatur, waktu, dan homogenitas pada komposisi gas buang.

Salah satu reaktor panas produk Dupont memiliki diameter silinder (kerugian panas kecil) untuk mengumpulkan gas panas ke dalam inti (*core*) silinder internal (temperatur > 1600 °F), dilakukan dengan cara medan radiasi (*radiation shields*). Reaktor panas ditutup dengan isolasi keramik yang dilindungi dengan lembaran baja luar. Reaktor panas tergantung aliran balik (*reversed-flow*) diantara inti dan medan radiasi dengan kemungkinan volume yang lebih besar untuk meningkatkan waktu dan pencampuran (homogenitas).

Menurut Obert (1973: 380-381), reaktor panas seharusnya juga memiliki: (a) massa yang kecil (inti dan medan radiasi) untuk mendapatkan temperatur kerja yang lebih cepat (untuk mengontrol/mengendalikan emisi tinggi dari start dingin); (b) hambatan aliran rendah (tekanan balik gas buang yang rendah); (c) kemampuan temperatur tinggi (kegagalan pengapian silinder dapat menyebabkan kerusakan inti, temperatur 2500 °F atau lebih); (d) hambatan korosi-temperatur (dari komponen phosphor dan timbal), dan (e) biaya yang murah untuk bahan, produksi, dan perawatan.

Reaktor panas dioperasikan dengan karburasi kaya atau miskin. Dengan campuran miskin (emisi NO tinggi tetapi bahan bakar irit), gas buang dioksidasi dan reduksi CO dan HC menjadi lebih besar (relatif untuk saluran buang konvensional). Dengan campuran kaya (emisi NO rendah tetapi bahan bakar boros), penambahan udara menyebabkan kenaikan temperatur yang nyata dari

oksidasi CO dan HC (setelah pembakaran) sehingga terjadi pengurangan terbesar CO dan HC (0,5% CO dan 50 ppm HC dapat tercapai).

J. Dampak Kebisingan Terhadap Pendengaran

Selain menghasilkan emisi gas buang yang sangat berbahaya bagi manusia, hewan, tumbuhan, dan lingkungan, mesin bensin dan mesin diesel juga menghasilkan polusi suara atau yang lebih dikenal dengan nama kebisingan. Oleh karena kebisingan dapat mengganggu lingkungan dan merambatnya melalui udara, maka kebisingan dapat dimasukkan sebagai pencemaran udara walaupun susunan udara tidak mengalami perubahan.

Sumber kebisingan yang ditimbulkan oleh motor pembakaran dalam tidak hanya dari sistem pembuangan saja, tetapi juga dari komponen mesin yang lain.

1. Pengertian dan Jenis Kebisingan

Menurut Wardhana (2001: 62-65), berdasarkan asal sumber, kebisingan dapat dibagi menjadi 3 macam, yaitu:

- a. Kebisingan impulsif, yaitu kebisingan yang datangnya tidak secara terus menerus, akan tetapi sepotong-potong. Contohnya: kebisingan yang datang dari suara palu yang dipukulkan, kebisingan yang datang dari mesin pemasang tiang pancang.
- b. Kebisingan kontinyu, yaitu kebisingan yang datang secara terus-menerus dalam waktu yang cukup lama. Contohnya: kebisingan yang datang dari suara mesin yang dijalankan (dihidupkan).

- c. Kebisingan semi kontinyu (*intermittent*), yaitu kebisingan kontinyu yang hanya sekejap, kemudian hilang dan mungkin akan datang lagi. Contohnya: suara mobil atau pesawat terbang yang sedang lewat.

”Kebisingan adalah bunyi yang dapat mengganggu dan merusak pendengaran manusia” (Wardhana, 2001: 65). Sedangkan pendapat lain mengatakan ”kebisingan merupakan polusi yang disebarkan dan diteruskan lewat udara, meskipun sebagian ada juga yang dirambatkan lewat struktur padat” (Prasetya, 1996: 1). Untuk itu, dikenalkanlah besaran tingkat kebisingan (*noise level*) yang dijadikan ukuran kebisingan bunyi-bunyi tertentu. Karena kebisingan pada dasarnya merupakan bunyi, maka tingkat kebisingan dapat dinyatakan dengan tingkat kebisingan bunyi atau *sound pressure level* (SPL).

Menurut teori Fisika, bunyi adalah rangsangan yang diterima oleh syaraf pendengaran yang berasal dari suatu sumber bunyi. Apabila syaraf pendengaran tidak menghendaki rangsangan tersebut, maka bunyi tersebut dinamakan sebagai suatu kebisingan.

Untuk menyatakan kualitas suatu bunyi digunakan pengertian sebagai berikut:

- a. Frekuensi bunyi, yaitu jumlah getaran per detik. Satuan bunyi dinyatakan dalam Hertz, disingkat Hz.
- b. Intensitas bunyi, yaitu perbandingan tegangan suara yang datang dan tegangan suara standar yang dapat didengar oleh manusia normal pada frekuensi 1000 Hz, dengan satuan deci Bell, disingkat dB.

Untuk menentukan tingkat kebisingan, kebisingan tersebut diukur melalui intensitas bunyinya. Cara mengukur intensitas bunyi adalah melalui persamaan berikut ini:

$$dB = 20 \log (p/p_0) \quad (2)$$

dimana:

dB = tegangan suara yang datang.

p = tegangan suara yang datang.

p_0 = tegangan suara standar dengan frekuensi 1000 Hz (0,0002 dyne/cm²)

atau secara matematis SPL dapat dituliskan:

$$SPL = 20 \log \frac{p}{p_{ref}} \text{ (dB)} \quad (3)$$

dengan $p_{ref} = 20 \mu\text{Pa}$ atau 20 mikroPascal

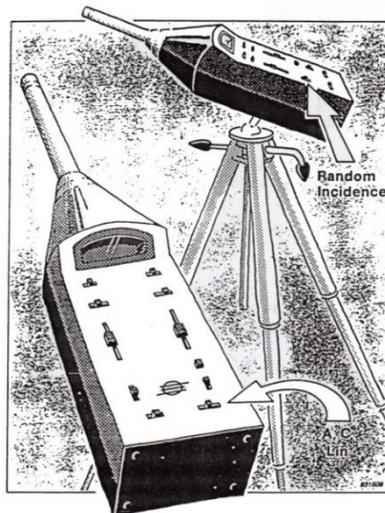
Bunyi terlemah berfrekuensi 1000 Hz yang bertekanan 20 μPa , dan mempunyai SPL sama dengan 0 dB disebut *threshold of audibility*. Bunyi ini masih dapat didengar oleh telinga manusia. Pada batas lain terdapat *threshold of pain*, yaitu besarnya tekanan bunyi yang mulai menyebabkan rasa sakit di telinga dan besarnya adalah 100 Pa atau 134 dB (Prasetya, 1996: 2).

Bunyi berfrekuensi 60 Hz dengan SPL 100 dB ternyata tidak terdengar keras. Sebaliknya bunyi 1000 Hz dengan SPL 100 dB terdengar sangat keras. Ini artinya bahwa walaupun sama-sama 100 dB, kedua bunyi yang berbeda frekuensi itu tidak terdengar sama kerasnya. Dapat disimpulkan bahwa keras atau lemahnya bunyi yang didengar oleh telinga manusia tidak hanya ditentukan oleh besarnya SPL saja, tetapi juga tergantung pada frekuensi bunyinya.

2. *Sound Level Meter (SLM)*

Pengukuran intensitas bunyi dapat dilakukan dengan mudah menggunakan alat yang bernama *Sound Level Meter* atau disingkat SLM (Gambar 35). Dengan meletakkan SLM di suatu tempat atau ruangan yang akan diukur tingkat kebisingannya segera akan diketahui tingkat kebisingannya, yaitu dengan membaca skala (logaritmis) yang ada pada SLM.

Mengingat tanggapan telinga manusia yang tidak sama terhadap frekuensi yang berbeda, maka pada SLM seringkali ditambahkan rangkaian elektronik tertentu, dengan maksud agar alat ukur ini semakin meniru telinga manusia dalam menanggapi bunyi. Hasil pengukuran dengan rangkaian pembobot ini ada beberapa macam. Namun yang paling menyerupai tanggapan telinga manusia adalah rangkaian pembobot A (*weighting network A*) yang menghasilkan pengukuran dalam dBA. Dengan demikian tidaklah mengherankan jika banyak data ditulis dalam dBA.



Gambar 35. *Sound Level Meter (SLM)*
Sumber: Prasetya (1996: 3)

Rangkaian pembobot elektronik yang juga sering dimasukkan dalam SLM adalah rangkaian pembobot C, yang menghasilkan dBC. Satuan ini sering dipakai sebagai pengganti pengukuran dalam dB linier.

SLM berfungsi mengubah gelombang audio menjadi sinyal listrik. SLM pada umumnya terdiri dari 3 komponen, yaitu:

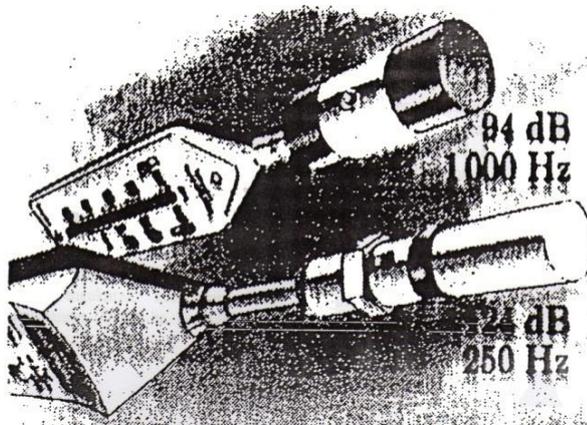
- a. Mikropon yang berfungsi mengubah gelombang audio menjadi sinyal listrik.
- b. Amplifier yang menguatkan sinyal listrik yang telah masuk.
- c. Meter, baik yang digital maupun analog yang berfungsi untuk menunjukkan secara numerik besarnya SPL dalam dB.

3. Pengukuran Tingkat Kebisingan

Pengukuran SPL dilakukan dengan mengarahkan mikropon SLM ke sumber yang akan diukur SPL-nya. Namun sebelum melakukan pengukuran SPL, hendaknya SLM dikalibrasi terlebih dahulu dengan menggunakan kalibrator atau *pistonphone* yang merupakan alat standar berupa sumber bunyi dengan frekuensi dan SPL yang standar dan tetap. Kalibrator Bruel & Kjaer, misalnya, menghasilkan bunyi 1000 Hz pada 94 dB, sedangkan *pistonphone*-nya menghasilkan bunyi 250 Hz pada 124 dB.

Kalibrator yang sudah dihidupkan dipasang pada SLM seperti pada Gambar 36 dan dibaca hasilnya untuk mengetahui apakah nilainya sudah sama dengan *pistonphone* atau kalibrator yang sudah dipasang. Apabila tampak perbedaan, maka dilakukan penyesuaian terlebih dahulu dengan memutar

sekrup (*ateunator*) yang biasanya ada di samping SLM. Pengkalibrasian harus dilakukan sebelum pengukuran dimulai dan juga pada akhir proses pengukuran. Apabila SPL yang diukur cukup tinggi dan/atau pengukuran dilakukan dengan banyak berpindah tempat dan terjadi guncangan-guncangan, maka pengkalibrasian harus sering dilakukan. Hal ini untuk menjaga validitas dari hasil pengukuran.



Gambar 36. Kalibrasi *Sound Level Meter* (SLM)
Sumber: Prasetya (1996: 5)

Pada waktu pengukuran dilakukan, seseorang yang menggunakan SLM harus selalu mengusahakan agar tubuhnya tidak bertindak sebagai pemantul yang akan mempengaruhi hasil pengukuran. Eksperimen menunjukkan bahwa pada frekuensi sekitar 400 Hz, pemantulan bunyi yang disebabkan oleh operator dapat menyebabkan kesalahan sampai 6 dB apabila ia berdiri < 1 m dari SLM. Untuk itu, apabila memungkinkan dalam pengukuran, sebaiknya mikropon dan SLM dilengkapi dengan kabel supaya operator dapat berdiri jauh dari mikropon. Namun apabila tidak memungkinkan, maka pengukuran dilakukan dengan merentangkan tangan sejauh mungkin sambil operator berdiri tegak agak ke

samping. Apabila pengukuran dilakukan di luar ruangan, mikropon perlu dilindungi dari angin dengan menggunakan alat *windscreen*. Jika *windscreen* tidak ada, maka perlu dilakukan pengukuran kecepatan angin. Pengukuran SPL tidak dianjurkan apabila kecepatan angin lebih besar dari 5 m/s.

Dalam setiap pengukuran SPL harus selalu dilakukan pengukuran tingkat bunyi latar belakang. Dengan bunyi latar belakang ini dimaksudkan bunyi yang terdengar apabila sumber yang dipermasalahkan tidak berbunyi. Apabila SPL sumber hanya berbeda 4 dB atau kurang dibandingkan tingkat bunyi latar belakang, maka hasil pengukuran sudah tidak dapat diandalkan lagi. Hasil pengukuran yang baik diperoleh apabila SPL sumber minimum 10 dB di atas tingkat bunyi latar belakang. Apabila perbedaannya 5 dB, maka hasilnya harus dikoreksi dengan mengurangi dengan 2 dB. Sedangkan apabila perbedaannya 6-9 dB, maka koreksi yang harus diberikan adalah 1 dB.

4. Intensitas dan Baku Mutu Kebisingan

Tingkat kebisingan dapat dibagi berdasarkan intensitas yang diukur dengan satuan decibel (dB) seperti tercantum pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Intensitas Kebisingan

| Tingkat Kebisingan | dB | Keterangan | Waktu Kontak (jam) |
|---------------------------------|------|--|--------------------|
| | 0 | Batas ambang dengar | - |
| Amat sangat tenang | 10 | Suara daun bergesek | - |
| Sangat tenang | 20 | Studio radio | - |
| Tenang I | 30 | Ruang perpustakaan | - |
| Tenang II | 40 | Rumah tinggal | - |
| Sedang | 50 | Ruang kantor, lalu-lintas (30 m) | - |
| Kuat I (awal kebisingan) | 60 | Ruang berpendingin, percakapan kuat, radio keras | - |
| Kuat II (bising) | 70 | Pasar, jalan ramai, kantor gaduh | - |
| Sangat bising | 80 | Suasana pabrik, bunyi peluit polisi | < 8 jam |
| Amat sangat bising | 90 | Suara mesin diesel | < 5 jam |
| Menulikan | 100 | Pesawat jet (300 m) | < 1/3 jam |
| Sangat menulikan | 110 | Suara meriam | < 1/5 jam |
| Amat sangat menulikan (hindari) | 120 | Suara halilintar, klakson mobil dekat | 1/12 jam |
| | >120 | Suara mesin roket | Tidak diizinkan |

Sumber: Wardhana (2001: 64)

Waktu kontak di kolom paling kanan pada Tabel 5 adalah waktu kontak maksimum yang diijinkan untuk mendegarkannya. Apabila waktu kontak melebihi batas waktu tersebut, maka akan terjadi gangguan pada alat pendengaran. Makin tinggi tingkat kebisingan, makin kecil (sedikit) waktu kontak yang diijinkan. Suara dengan tingkat kebisingan tinggi dan nada tinggi sangat mengganggu, terlebih lagi bila datangnya secara terputus-putus dan tiba-tiba. Pengaruhnya akan terasa amat mengganggu apabila sumber kebisingan tidak diketahui.

Di Indonesia, sudah ada baku mutu kebisingan yang secara resmi dikeluarkan oleh pemerintah. Seringkali nilai ambang batas (NAB) kebisingan yang dibuat oleh pemerintah Indonesia mengikuti baku mutu kebisingan yang dikeluarkan oleh *International Organization for Standardization* (ISO). Pada Tabel 6 di bawah ini dicuplik beberapa nilai dari *ISO Recommendation – R 1996: Assessment of Noise with Respect to Community Response*.

Tabel 6. Baku Mutu Kebisingan Berdasarkan ISO Recommendation – R 1996

| Daerah/Lokasi | Nilai (dBA) |
|-------------------------------------|--------------------|
| Daerah Pemukiman (<i>Outdoor</i>) | |
| Pedesaan, Rumah Sakit | 35-45 |
| Pinggir Kota | 40-45 |
| Daerah Kota | 45-55 |
| Daerah Kota dengan Bengkel | 50-60 |
| Daerah Perdagangan | 55-65 |
| Daerah Industri | 60-70 |
| Daerah Pemukiman (<i>Indoor</i>) | |
| Kantor, Ruang Seminar | 35 |
| Restoran, Ruang Sekretariat | 45 |
| Bengkel | 45-75 |

Sumber: Prasetya (1996: 7)

Akibat kerusakan pendengaran yang dapat diakibatkan oleh kebisingan, *The Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) mencanangkan 90 dBA untuk 8 jam kerja per hari. Sedangkan *The Environmental Protection Agency* (EPA) merekomendasikan 85 dBA sebagai nilai maksimum yang boleh diterima karyawan di lingkungan kerjanya untuk 8 jam kerja per hari.

Di Indonesia, telah dikeluarkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011, yang menetapkan

NAB kebisingan di tempat kerja adalah 85 dBA untuk waktu kerja 8 jam sehari dan 40 jam seminggu. Menteri Kesehatan RI juga pernah mengeluarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 718/MENKES/PER/XI/1987 yang menetapkan baku mutu kebisingan berdasarkan zona dan jenis daerah. Zona B, yang merupakan jenis daerah perumahan, sekolah, dan tempat rekreasi, ditetapkan batas maksimum 55 dBA. Zona D, untuk jenis daerah industri, pabrik, stasiun kereta api, dan terminal ditetapkan batas maksimum 70 dBA.

Sedangkan di dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 tahun 2009 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru disebutkan bahwa kebisingan yang diijinkan untuk mobil kategori M1 (≤ 9 orang) adalah tahap pertama 90 dBA dan tahap kedua 87 dBA. Secara lengkap dapat dilihat pada tabel 7 berikut ini.

Tabel 7. Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru

| Kategori | Daya | L Max dB (A) | | |
|----------------------|------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | | Tahun Pemberlakuan | | |
| | | (i) | (ii) | |
| M1 (≤ 9 orang) | - | 90 | 87 ^(2,3) | |
| BUS | GVW ≤ 2 T | - | 91 | 88 ⁽²⁾ |
| | 2 T < GVW $\leq 3,5$ T | - | 91 | 89 ^(2,3) |
| | GVW > 3,5 T | P < 150 kW | 92 | 90 ⁽³⁾ |
| | - | 150 kW \leq P | 95 ⁽¹⁾ | 93 ⁽³⁾ |
| Metode Pengujian | | ECE R51 | ECE R51-01 | |

Keterangan:

(1) : 147 kW (ECE) \leq P

(2) : *Direct Injection* + 1 dB(A) *relaxation*

(3) : P < 150 kW (ECE) : +1 dB(A) *relaxation* 150 kW (ECE) \leq P : +2 dB(A)
Relaxation

(i) : tahap 1

(ii) : tahap 2

Sumber: Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru

Dari teori di atas dapat dihasilkan kisi-kisi variabel pengujian kebisingan kendaraan bermotor, yaitu tingkat kebisingan (*noise level/sound pressure*

level/SPL) dengan satuan decibel (dBA) dan putaran mesin (RPM) sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen di lampiran 9.

K. Teknologi Pengendalian Kebisingan

Pengendalian pada sumber kebisingan sebenarnya harus dilakukan pada tahap awal perencanaan dan pemasangan mesin atau sumber bunyi. Menurut Prasetya (1996: 8-9), pengendalian sumber kebisingan secara umum dapat dilakukan dengan cara:

1. Memberi peredam pada mesin.
2. Merancang *muffler*.
3. Menempatkan sumber bunyi pada posisi yang benar.
4. Mengatur jadwal operasi mesin.

Selain pengendalian dilakukan pada sumber kebisingan, pengendalian perambatan kebisingan juga harus dilakukan. Pengendalian ini pada dasarnya berfungsi memperpanjang jarak antara sumber dengan penerima. Cara-cara yang dapat dilakukan untuk mengendalikan perambatan kebisingan adalah sebagai berikut:

1. Memberi penutup penuh atau sebagian pada sumber kebisingan.
2. Memasang *barrier* antara sumber dan penerima.
3. Memberi bahan penyerap sekitar sumber.

Sedangkan pengendalian pada penerima kebisingan yaitu dengan cara memberi penutup pada telinga, misalnya *ear muff*, *ear plug*, dan bahkan kapas.

Oleh karena kendaraan bermotor juga menghasilkan kebisingan terutama dari knalpotnya, maka di sistem pembuangan dipasang peredam suara (*muffler*) untuk mengurangi tingkat kebisingan yang dihasilkan. Kebiasaan sebagian orang mengganti knalpot standar dengan knalpot tanpa peredam justru akan semakin meningkatkan tingkat kebisingan.

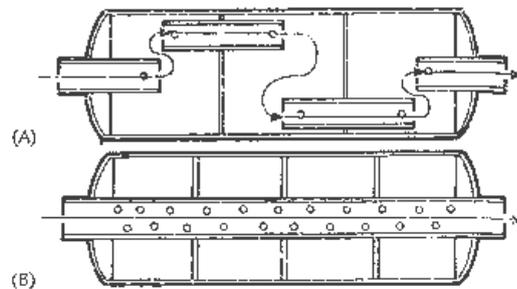
Oleh karena itu, saatnya kita sadar bahwa knalpot kendaraan bermotor selain menghasilkan emisi gas buang yang sangat membahayakan kesehatan, juga menghasilkan kebisingan yang dapat merusak indera pendengaran. Oleh karena itu, sebaiknya digunakan knalpot yang dapat menekan tingkat kebisingan serendah mungkin. Ke depan, pengujian tingkat kebisingan kendaraan bermotor sudah seharusnya dilakukan.

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa strategi pengendalian kebisingan terdiri dari: (a) memberi peredam pada mesin, (b) merancang knalpot (*muffler*), (c) menempatkan sumber bunyi pada posisi yang benar, (d) mengatur jadwal penggunaan mesin, (e) memberi penutup penuh atau sebagian pada sumber kebisingan, (f) memasang penghalang (*barrier*) antara sumber kebisingan dan penerima kebisingan, (g) memberi bahan penyerap sekitar sumber kebisingan, dan (h) memberi penutup pada telinga, misalnya *ear muff*, *ear plug*, dan bahkan kapas.

L. *Muffler*

”*Muffler* adalah komponen yang dipasang pada kendaraan bermotor yang berfungsi untuk memecah pulsa tekanan yang terjadi ketika katub buang terbuka”

(Jenbacher, 1996: 478). Jadi *muffler* berfungsi untuk menurunkan tekanan dan temperatur gas buang dan sekaligus meredam kebisingan yang ditimbulkannya.



Gambar 37. *Muffler*: (a) *Reverse-flow Muffler*, (b) *Straight-through Type muffler*
Sumber: Jenbacher (1996:478)

Dua tipe *muffler* yang sering dipasang pada kendaraan bermotor adalah *reverse flow muffler* dan *straight-through muffler*. *Reverse flow muffler* mengubah arah aliran gas buang yang melewati unit-unit di dalam *muffler*. Sedangkan *straight-through muffler* akan memungkinkan aliran gas buang melewati lubang para *perforated tube* pada saat tekanan gelombang tinggi sehingga tekanannya menurun. Gas buang kemudian akan kembali masuk ke dalam pipa pada saat tekanan gelombang merendah.

Menurut Baxa (1982), rancangan knalpot yang optimal pada dasarnya dapat ditinjau dari 4 faktor, yaitu: (1) pemanfaatan energi kinetik akibat kecepatan gas buang meninggalkan ruang bakar, (2) menganalisa gelombang bunyi dan tekanan untuk menghindari terjadinya resonansi, (3) mengubah tekanan dinamis gas buang menjadi tekanan statis agar mudah melewati ruang-ruang akustik peredam kebisingan suara, dan (4) merancang ruang akustik secara efektif agar dengan bentuk yang sesederhana mungkin dapat menghasilkan peredaman suara maksimal

dengan sedikit hambatan. Keempat faktor ini secara teoritis dapat dijelaskan sebagai berikut.

Faktor pertama, energi kinetik sebanding dengan kuadrat kecepatan massa. Jika ingin memanfaatkan energi kinetik secara optimal, diameter pipa ujung knalpot (*header*) harus dirancang dengan benar. Diameter yang terlalu besar mengakibatkan kecepatan massa gas melambat sehingga energi kinetik yang dikandungnya juga kecil, tetapi energi yang digunakan untuk melawan gesekan juga lebih kecil. Diameter yang terlalu kecil mengakibatkan sebaliknya (Baxa, 1982).

Faktor kedua yang perlu dipertimbangkan adalah frekuensi suara tertentu dapat menimbulkan resonansi pada *exhaust muffler*. Resonansi ini akan menghasilkan "*back pressure*" yang besar sehingga menurunkan kinerja mesin jika knalpot dirancang kurang benar. Sebaliknya, jika panjang pipa knalpot dirancang dengan benar; pengaruh resonansi dapat dihindari. Perhitungan panjang pipa ujung (*header*) ini dikenal dengan "*teori tune pipe*" yang kemudian banyak diimplementasikan pada perancangan knalpot pada mesin-mesin *aeromodelling* (Baxa, 1982).

Faktor ketiga berhubungan dengan perubahan tekanan dinamis menjadi statis. Pada saat keluar mesin, gas buang yang bertemperatur tinggi, ternyata tekanan dinamisnya lebih dominan dibandingkan tekanan statisnya. Dengan alasan tersebut *exhaust system* yang baik harus memiliki ruang ekspansi yang dapat mengubah tekanan dinamis tersebut menjadi tekanan statis terlebih dahulu sebelum melewati gas buang pada kamar-kamar akustik untuk meredam suaranya. Jika ruang ekspansi pada knalpot ternyata tidak berfungsi sempurna, maka tekanan

dinamis gas buang pada saat melewati ruang-ruang akustik masih dominan dan akan menaikkan *pressure drop* lebih besar daripada yang terhitung secara teoritis, sehingga *performance* knalpot secara keseluruhan akan menurun (Baxa, 1982).

Faktor keempat adalah bagaimana merancang ruang akustik secara efektif agar dengan bentuk yang sesederhana mungkin dapat menghasilkan peredaman suara maksimal dengan sedikit hambatan. Pemilihan penggunaan ruang peredaman (*muffler*) berkonstruksi *dissipative* atau *reactive*, serta perancangan dimensinya harus dipertimbangkan berdasarkan jangkauan frekuensi suara, level kebisingan yang diijinkan, serta kemudahan konstruksi untuk menyederhanakan pembuatan *prototype*-nya (Baxa, 1982).

1. Prinsip Kerja Muffler

Prinsip kerja dari *muffler* adalah menurunkan tekanan dan temperatur gas buang serta mengurangi kebisingan yang ditimbulkan oleh ledakan pembakaran di dalam ruang bakar dengan cara pemberian ruangan agar gas buang memiliki kesempatan untuk *berespansi* serta temperatur menjadi turun secara bertahap. Hal ini bertujuan agar *amplitudo* gelombang tekanan dan suara menjadi turun, dengan demikian intensitas suara dan tekanan balik yang ditimbulkan juga ikut menurun (Baxa, 1982: 34).

2. Back Pressure pada Muffler

Tekanan balik yang terpantul kembali dapat berakibat pada kinerja mesin dan mereduksi hentakan akibat keluarnya slug dari pipa yang dapat

mengakibatkan suara ledakan. Tekanan balik (*back pressure*) akan terjadi pada saat kondisi katup buang dalam keadaan terbuka, sehingga gelombang tekanan akan keluar dari kepala silinder menuju pipa gas buang dengan tekanan kira-kira 3-5 kg/cm² (Toyota Astra Motor, 1997: 3-43).

Menurut Baxa (1982: 32), ada beberapa penyebab lain yang dapat meningkatkan terjadinya *back pressure*, antara lain:

- a. *Muffler explosion*, yaitu terjadinya pembakaran bahan bakar dalam saluran gas buang yang dikarenakan adanya bahan bakar yang belum terbakar di dalam ruang bakar. Hal ini ditandai dengan letupan dan bunyi yang keras pada dinding saluran gas buang.
- b. Diameter pipa terlalu kecil.
- c. Penyumbatan lubang pada *baffle* yang ada di dalam *muffler*.
- d. Terlalu banyak pembelokan yang dialami aliran gas buang pada saluran buang.
- e. Lokasi *muffler* terhadap pipa gas buang dan putaran mesin juga berpengaruh terhadap besar kecilnya *back pressure* yang terjadi.

3. Kriteria Desain Muffler

Menurut Ver & Beranek (2006: 36), sedikitnya ada lima kriteria dalam desain *muffler*, antara lain:

- a. Kriteria akustik

Dengan spesifikasi peredaman suara seminimal mungkin yang diperlukan dari *muffler* sebagai fungsi dari frekuensi. Kondisi operasi harus

diikuti karena besarnya aliran yang stabil atau perubahan kecepatan yang besar dapat merubah kinerja akustiknya.

b. Kriteria aerodinamis

Dengan spesifikasi penurunan gelombang tekanan maksimum rata-rata yang melalui *muffler* dapat diterima pada temperatur dan aliran massa.

c. Kriteria geometris

Dengan spesifikasi volume dan pembatasan bentuk maksimum yang diijinkan.

d. Kriteria mekanis

Dapat dirinci atas material penyusunnya, sehingga dapat tahan lama dan memerlukan sedikit perawatan. Hal ini untuk mengatasi masalah tingginya temperatur dan korosivitas gas, atau ketika gas membawa partikel padat dalam bentuk suspensi yang dapat menimbulkan deposit dan mengurangi efektifitas kerja *muffler*.

e. Kriteria ekonomis

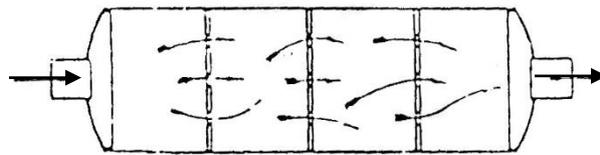
Sebuah *muffler* harus tidak mahal karena harus memperhatikan juga biaya pemeliharaan dan pengoperasiannya.

4. Jenis *Muffler* dan Aliran Gas Buang

Ada beberapa jenis *muffler* yang digunakan oleh kendaraan-kendaraan saat ini, yaitu:

a. *Baffle-type muffler*

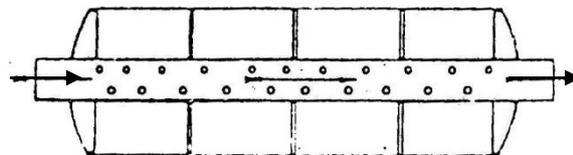
Baffle-type muffler mempunyai keuntungan harganya lebih murah, konstruksi dari *baffle-type muffler* biasanya digunakan pada kendaraan ringan.



Gambar 38. *Baffle-type Muffler*
Sumber: Ver & Beranek (2006: 35)

b. *Resonant-type muffler* atau *straight through-type muffler*

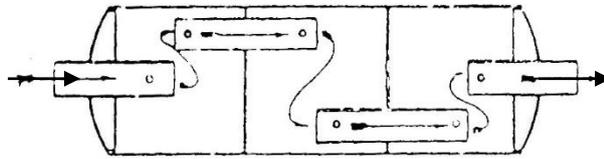
Resonant-type atau *straight through-type muffler* mempunyai kelebihan yaitu *back pressure* yang sedikit atau tidak ada sama sekali dan *muffler* tipe ini sangat efektif untuk frekuensi tinggi.



Gambar 39. *Resonant-type Muffler* atau *Straight-through Type Muffler*
Sumber: Ver & Beranek (2006: 35)

c. *Off-set tube type muffler*

Off-set tube type muffler merupakan *muffler* yang sangat baik untuk mencegah kelebihan *back pressure* dan mudah dibuat.



Gambar 40. *Off-set Tube Type Muffler*
 Sumber: Ver & Beranek (2006: 35)

d. *Louvre-type muffler*

Louvre-type muffler dapat mengatur dan menghaluskan gelombang tekanan luar di dalam knalpot mesin tanpa menimbulkan *back pressure* yang berlebihan.



Gambar 41. *Louvre-type Muffler*
 Sumber: Ver & Beranek (2006: 35)

e. *Three pass tube-type muffler*

Three pass tube-type muffler mempunyai aliran gas buang yang sangat baik tetapi harganya cukup mahal dalam pembuatannya.



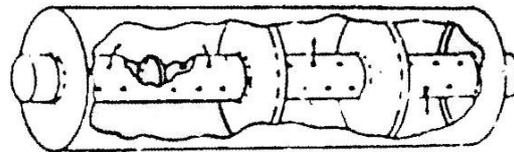
Gambar 42. *Three Pass Tube Type Muffler*
 Sumber: Ver & Beranek (2006: 35)

5. Tipe Muffler

Ada beberapa tipe *muffler* yang sering digunakan antara lain:

a. *Dissipative muffler*

Dissipative muffler ini mengubah energi akustik menjadi energi panas serta performa akustiknya ditentukan terutama oleh peredaman suara yang ditunjukkannya yaitu tahanan alir-alir material (Ver & Beranek, 2006: 37).



Gambar 43. *Dissipative Muffler*
Sumber: Ver & Beranek (2006: 38)

b. *Reactive muffler*

Kinerja dari *reactive muffler* ini ditentukan oleh bentuk geometrisnya. Satu atau lebih ruangan, resonator, atau batasan-batasan bagian pipa dibentuk menjadi *reactive muffler* untuk mencegah *impedance* yang tidak seimbang dari energi akustik yang dirambatkan sepanjang saluran buang (Ver & Beranek, 2006: 38).

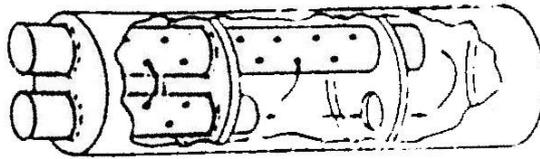
Muffler ini digunakan untuk meredam gelombang suara frekuensi rendah, yang mana *dissipative muffler* tidak efisien digunakan dan dapat mengakibatkan *ansorbtive material* dapat hancur (Ver & Beranek, 2006: 38).



Gambar 44. *Reactive Muffler*
Sumber: Ver & Beranek (2006: 38)

c. Kombinasi atau gabungan keduanya

Muffler ini merupakan gabungan antara tipe *dissipative muffler* dan *reactive muffler*.



Gambar 45. *Muffler* Kombinasi
Sumber: Ver & Beranek (2006: 38)

Dari teori di atas dapat dihasilkan kisi-kisi variabel pengujian kebisingan kendaraan bermotor, yaitu tingkat kebisingan (*noise level/sound pressure level/SPL*) dengan satuan decibel (dBA), temperatur gas buang (oC), tekanan balik (*back pressure*) gas buang (kPa), dan putaran mesin (RPM) sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen di lampiran 9.

M. Pengertian Pendidikan Kejuruan

Di Indonesia, antara pendidikan kejuruan, pendidikan vokasi, dan pendidikan profesi dibedakan. Dalam Undang-Undang Sistem Pendidikan Nasional (Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional) disebutkan bahwa:

1. Pendidikan kejuruan merupakan pendidikan menengah yang mempersiapkan peserta didik terutama untuk bekerja dalam bidang tertentu.

2. Pendidikan vokasi merupakan pendidikan tinggi yang mempersiapkan peserta didik untuk memiliki pekerjaan dengan keahlian terapan tertentu maksimal setara dengan program sarjana.
3. Pendidikan profesi merupakan pendidikan tinggi yang setelah program sarjana yang mempersiapkan peserta didik untuk memiliki pekerjaan dengan persyaratan keahlian khusus.

Lalu bagaimana konsep pendidikan vokasional yang selama ini terjadi di luar negeri? Tentang konsep pendidikan vokasional, Prosser & Quigley (1950) sebagai bapak pendidikan kejuruan/vokasi dunia menyatakan bahwa:

“vocational education is essentially a matter of establishing certain habits through repetitive training both in thinking and in doing, it is primarily concerned with what these habits shall be and how they shall be taught. When consider the matter a little further we find there are general group of habits requires: 1. habits giving adaption to working environment, 2. process habits, 3. thinking habits (Prosser & Quigley, 1950)”.

Pendidikan vokasional pada dasarnya adalah pendidikan untuk membangun kebiasaan dengan cara pelatihan secara berulang-ulang, baik dalam pemikiran maupun dalam tindakan. Bila mempertimbangkan hal tersebut sedikit lebih jauh, kita akan menemukan 3 kelompok kebiasaan umum yang dibutuhkan, yaitu: (1) kebiasaan beradaptasi terhadap lingkungan kerja, (2) kebiasaan proses, dan (3) kebiasaan berpikir.

Sedangkan Pavlova (2009: 45) mendeskripsikan pendapat Sanders dan Stevenson tentang pendidikan vokasional sebagai berikut:

“.....conceptualisations of vocational education are related to skill in using tools and machines (Sanders, 2001), Steven (2003) vocational education is identified a number of dichotomies in these underlying assumptions. These include general knowledge versus specific

knowledge; theoretical knowledge versus practical/functional knowledge; conceptual understanding versus proficiency in skills; creative abilities versus reproductive abilities; ratio intellectual skills versus physical skills; preparation for life versus preparation for work (Pavlova, 2009: 45)”.

Konseptualisasi pendidikan vokasional berkaitan dengan keterampilan menggunakan alat dan mesin. Pendidikan vokasional diidentifikasi ada sejumlah dikotomi secara mendasar dengan pendidikan umum. Diantaranya adalah pengetahuan umum versus pengetahuan spesifik; pengetahuan teoritis versus pengetahuan praktis/fungsional; pemahaman konseptual versus kemampuan dalam keterampilan; kemampuan kreatif versus kemampuan reproduksi; rasio keterampilan intelektual versus kemampuan fisik; persiapan hidup versus persiapan kerja.

Secara lebih detail Pavlova (2009: 7) menyatakan bahwa tujuan pendidikan vokasional secara tradisional adalah:

“Traditionally, direct preparation for work was the main goal of vocational education. It was perceived as providing specific training that was reproductive and based on teacher’s instruction, with the intention to develop understanding of a particular industry, comprising the specific skills or tricks of the trade. Student’s motivation was seen to be engendered by the economic benefits to them, in the future. Competency-based training was chosen by most governments in Western societies as a model for vocational education (VE) (Pavlova, 2009: 7)”.

Secara tradisional, tujuan utama pendidikan vokasional adalah menyiapkan lulusan untuk bekerja. Hal ini juga didukung oleh Billet (2011: 2) yang menyatakan bahwa pendidikan vokasional untuk pekerjaan (*education for occupations*). Hal ini dilakukan dengan cara memberikan pelatihan khusus yang bersifat reproduktif dan berdasarkan pada instruksi guru. Pendidikan vokasional bertujuan untuk

mengembangkan pemahaman peserta didik tentang dunia industri yang terdiri dari keahlian atau trik khusus. Motivasi siswa mengikuti pendidikan vokasional terlihat dari manfaat/keuntungan secara ekonomi di masa depan yang harus memperhatikan kelestarian fungsi lingkungan hidup menuju pembangunan berkelanjutan.

Pendidikan vokasional adalah pendidikan untuk mengembangkan ke vokasian seseorang sehingga memiliki kapasitas atau kemampuan untuk ditugaskan atau diberi perintah untuk melakukan pekerjaan atau melaksanakan jabatan tertentu (Sudira, 2017: 7).

Sedangkan menurut UNESCO, istilah yang dipakai untuk pendidikan vokasional adalah *technical and vocational education and training (TVET)*. “*TVET is concerned with the acquisition of knowledge and skills for the world of work. TVET that deals with both theoretical and practical contents is provided by various entities including schools, training institutes or companies (UNESCO, 2005)*”. TVET fokus pada perolehan pengetahuan dan keterampilan untuk menyiapkan lulusan siap bekerja di dunia kerja. TVET memberikan teori dan praktik vokasional di sekolah, lembaga pelatihan atau perusahaan.

Semua pendapat di atas menganut mazhab Prosser, dimana pendidikan vokasional dikatakan efektif dan berhasil jika lulusannya dapat bekerja sesuai dengan tuntutan dunia kerja. Sedangkan John Dewey yang memiliki mazhab pendidikan demokratis sangat menentang mazhab Prosser yang cenderung menganut konsep *demand driven* atau *market economy forces*.

Menurut Rojewski (2009: 21), Dewey memiliki pandangan yang berbeda tentang konsep pendidikan vokasional, yaitu:

“The principle goal of public education was to meet individual needs for personal fulfilment and preparation for life. This required that all students received vocational education, be taught how to solve problems and have individual differences equalized. Dewey rejected the image of students as passive individuals controlled by market economy forces and existentially limited by inherently proscribed intellectual capacities. In his view, students were active pursuers and constructors of knowledge (Rojewski, 2009: 21)”.

Tujuan utama pendidikan adalah untuk memenuhi kebutuhan individu akan pemenuhan pribadi dan persiapan hidup. Ini mengharuskan semua siswa menerima pendidikan vokasional. Siswa diajar bagaimana memecahkan masalah dan mereka memiliki perbedaan individu yang setara. Dewey menolak citra siswa sebagai individu pasif yang dikendalikan oleh kekuatan ekonomi pasar dan secara eksistensial dibatasi oleh kapasitas intelektual. Dalam pandangannya, siswa adalah penggiat aktif dan konstruktor pengetahuan.

Dari uraian di atas nampak jelas bahwa ada 2 istilah, yaitu pendidikan vokasional dan pendidikan teknikal/teknologi yang sering digunakan secara bergantian. Pendidikan vokasional memiliki arti yang sangat luas, dan bukan sekedar Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) seperti yang ada di Indonesia. Pendidikan kejuruan di Indonesia sering dikonosasikan sebagai pendidikan vokasional yang berfungsi menyiapkan peserta didik untuk bekerja.

Berdasarkan pendapat dari beberapa ahli di atas dapat disimpulkan bahwa pendidikan kejuruan merupakan pendidikan menengah yang mempersiapkan peserta didik untuk menjadi tenaga kerja dan mandiri dalam bidang tertentu yang harus berdasarkan tiga filosofi sentral, yaitu: 1) realitas kompetensi yang diajarkan di pendidikan kejuruan sama dengan dunia usaha dan dunia industri, 2) kebenaran pendidikan kejuruan yang ada di sekolah sama dengan di dunia usaha dan dunia

industri, dan 3) nilai pendidikan kejuruan yang ada di sekolah sama dengan di dunia usaha dan dunia industri.

N. Program Keahlian Teknik Otomotif

Sesuai dengan konsep *vocational education*, pendidikan vokasi sebenarnya berada pada jenjang pendidikan menengah dan pendidikan tinggi, dari program diploma sampai dengan spesialis. Namun, di Indonesia pendidikan kejuruan ada pada jenjang pendidikan menengah yang disebut Sekolah Menengah Kejuruan (SMK). Jenis-jenis pendidikan kejuruan disusun dalam spektrum keahlian pendidikan kejuruan. Spektrum keahlian pendidikan kejuruan dituangkan dalam Keputusan Direktur Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Nomor: 4678/D/KEP/MK/2016 tentang Spektrum Keahlian Pendidikan Menengah Kejuruan tanggal 2 September 2016.

Berdasarkan spektrum keahlian pendidikan menengah kejuruan dapat disimpulkan bahwa jumlah bidang keahlian di SMK ada 9, jumlah program keahlian ada 52, dan jumlah kompetensi keahlian ada 142. Untuk Bidang Keahlian Teknologi dan Rekayasa, Program Keahlian Teknik Otomotif, terdapat 7 Kompetensi Keahlian, yaitu: (1) Teknik Kendaraan Ringan Otomotif, (2) Teknik dan Bisnis Sepeda Motor, (3) Teknik Alat Berat, (4) Teknik Bodi Otomotif, (4) Teknik Ototronik, (5) Teknik dan Manajemen Perawatan Otomotif, dan (7) Otomotif Daya dan Konversi Energi.

Tabel 8 dan tabel 9 berikut ini menunjukkan alokasi waktu mata pelajaran dan struktur kurikulum SMK untuk Program Keahlian Teknik Otomotif, Kompetensi

Keahlian Teknik Kendaraan Ringan Otomotif (Keputusan Direktur Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah Nomor: 130/D/KEP/KR/201 tentang Struktur Kurikulum Pendidikan Menengah Kejuruan tanggal 10 Februari 2017).

Tabel 8. Alokasi Waktu Mata Pelajaran di SMK

Program Keahlian : Teknik Otomotif

Kompetensi Keahlian : Teknik Kendaraan Ringan Otomotif

| MATA PELAJARAN | | ALOKASI WAKTU |
|-------------------------------------|---|---------------|
| A. Muatan Nasional | | |
| 1. | Pendidikan Agama dan Budi Pekerti | 318 |
| 2. | Pendidikan Pancasila dan Kewarganegaraan | 212 |
| 3. | Bahasa Indonesia | 354 |
| 4. | Matematika | 424 |
| 5. | Sejarah Indonesia | 108 |
| 6. | Bahasa Inggris dan Bahasa Asing Lainnya | 352 |
| B. Muatan Kewilayahan | | |
| 1. | Seni Budaya | 108 |
| 2. | Pendidikan Jasmani, Olahraga, dan Kesehatan | 144 |
| Jumlah A dan B | | 2.020 |
| C. Muatan Peminatan Kejuruan | | |
| C1. Dasar Bidang Keahlian | | |
| 1. | Simulasi dan Komunikasi Digital | 108 |
| 2. | Fisika | 108 |
| 3. | Kimia | 108 |
| C2. Dasar Program Keahlian | | |
| 1. | Gambar Teknik Otomotif | 144 |
| 2. | Teknologi Dasar Otomotif | 144 |
| 3. | Pekerjaan Dasar Otomotif | 180 |
| C3. Kompetensi Keahlian | | |
| 1. | Pemeliharaan Mesin Kendaraan Ringan | 594 |
| 2. | Pemeliharaan Sasis dan Pemindah Tenaga Kendaraan Ringan | 560 |
| 3. | Pemeliharaan Kelistrikan Kendaraan Ringan | 560 |
| 4. | Produk Kreatif dan Kewirausahaan | 350 |
| Jumlah C (C1, C2, dan C3) | | 2.856 |
| Total | | 4.876 |

Secara lengkap, struktur kurikulum SMK untuk Program Keahlian Teknik Otomotif, Kompetensi Keahlian Teknik Kendaraan Ringan Otomotif dapat dilihat pada tabel 9 berikut ini.

Tabel 9. Struktur Kurikulum SMK

| MATA PELAJARAN | | KELAS | | | | | |
|-------------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | X | | XI | | XII | |
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| A. Muatan Nasional | | | | | | | |
| 1. | Pendidikan Agama dan Budi Pekerti | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 2. | Pendidikan Pancasila dan Kewarganegaraan | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3. | Bahasa Indonesia | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4. | Matematika | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 5. | Sejarah Indonesia | 3 | 3 | - | - | - | - |
| 6. | Bahasa Inggris dan Bahasa Asing Lainnya | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| B. Muatan Kewilayahan | | | | | | | |
| 1. | Seni Budaya | 3 | 3 | - | - | - | - |
| 2. | Pendidikan Jasmani, Olah Raga, dan Kesehatan | 2 | 2 | 2 | 2 | - | - |
| Jumlah A dan B | | 24 | 24 | 17 | 17 | 16 | 16 |
| C. Muatan Peminatan Kejuruan | | | | | | | |
| C1. Dasar Bidang Keahlian | | | | | | | |
| 1. | Simulasi dan Komunikasi Digital | 3 | 3 | - | - | - | - |
| 2. | Fisika | 4 | 4 | - | - | - | - |
| 3. | Kimia | 3 | 3 | - | - | - | - |
| C2. Dasar Program Keahlian | | | | | | | |
| 1. | Gambar Teknik Otomotif | 4 | 4 | - | - | - | - |
| 2. | Teknologi Dasar Otomotif | 4 | 4 | - | - | - | - |
| 3. | Pekerjaan Dasar Otomotif | 5 | 5 | - | - | - | - |
| C3. Kompetensi Keahlian | | | | | | | |
| 1. | Pemeliharaan Mesin Kendaraan Ringan | - | - | 8 | 8 | 9 | 9 |
| 2. | Pemeliharaan Sasis dan Pemindah Tenaga Kendaraan Ringan | - | - | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 3. | Pemeliharaan Kelistrikan Kendaraan Ringan | - | - | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 4. | Produk Kreatif dan Kewirausahaan | - | - | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Jumlah C (C1, C2, dan C3) | | 22 | 22 | 29 | 29 | 30 | 30 |
| TOTAL | | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 |

O. Dalil Pendidikan Kejuruan

Prosser & Quigley (1950), bapak pendidikan kejuruan dunia, memberikan 16 dalil/teori/prinsip dasar pendidikan kejuruan yang disebut dengan efisiensi sosial (*social efficiency*). Pendidikan kejuruan akan berhasil jika memenuhi 16 dalil/teori/prinsip dasar tersebut. Prinsip-prinsip dasar pendidikan kejuruan adalah sebagai berikut:

1. *“Vocational education will be efficient in proportion as the environment in which the learner is trained is a replica of the environment in which he must subsequently work”* (Prosser & Quigley, 1950: 217). Pendidikan kejuruan akan efisien jika lingkungan dimana siswa dilatih merupakan replika lingkungan dimana nanti ia akan bekerja.
2. *“Effective vocational training can only be given where the training jobs are carried on in the same way with the same operations, the same tools and the same machines as in the occupation itself”* (Prosser & Quigley, 1950: 218). Pendidikan kejuruan yang efektif hanya dapat diberikan dimana tugas-tugas latihan dilakukan dengan cara, alat dan mesin yang sama seperti yang ditetapkan di tempat kerja.
3. *“Vocational education will be effective in proportion as it trains the individual directly and specifically in the thinking habits and the manipulative habits required in the occupation itself”* (Prosser & Quigley, 1950: 220). Pendidikan kejuruan akan efektif jika dia melatih seseorang dalam kebiasaan berpikir dan bekerja seperti yang diperlukan dalam pekerjaan itu sendiri.

4. *“Vocational education will be effective in proportion as it enables each individual to capitalize his interests, aptitudes and intrinsic intelligence to the highest possible degree”* (Prosser & Quigley, 1950: 221). Pendidikan kejuruan akan efektif jika dia dapat memampukan setiap individu memodali minatnya, pengetahuannya dan keterampilannya pada tingkat yang paling tinggi.
5. *“Effective vocational education for any profession, calling, trade, occupation or job can only be given to the selected group of individuals who need it, want it, and are able to profit by it”* (Prosser & Quigley, 1950: 221). Pendidikan kejuruan yang efektif untuk setiap profesi, jabatan atau pekerjaan hanya dapat diberikan kepada seseorang yang memerlukannya, yang menginginkannya dan dapat untung darinya.
6. *“Vocational training will be effective in proportion as the specific training experiences for forming right habits of doing and thinking are repeated to the point that the habits developed are those of the finished skills necessary for gainful employment”* (Prosser & Quigley, 1950: 222). Pendidikan kejuruan akan efektif jika pengalaman latihan untuk membentuk kebiasaan kerja dan kebiasaan berfikir yang benar diulangkan sehingga pas seperti yang diperlukan dalam pekerjaan nantinya.
7. *“Vocational education will be effective in proportion as the instructor has had successful experience in the application of skills and knowledge to the operations and processes he undertakes to teach”* (Prosser & Quigley, 1950: 223). Pendidikan kejuruan akan efektif jika gurunya telah mempunyai

pengalaman yang sukses dalam penerapan keterampilan dan pengetahuan pada operasi dan proses kerja yang akan diperlukan.

8. *“For every occupation there is a minimum of productive ability which an individual must possess in order to secure or retain employment in that occupation. If vocational education is not carried to that point with that individual, it is neither personally nor socially effective”* (Prosser & Quigley, 1950: 223). Pada setiap jabatan ada kemampuan minimum yang harus dipunyai oleh seseorang agar dia tetap dapat bekerja pada jabatan tersebut.
9. *“Vocational education must recognize conditions as they are and must train individuals to meet the demands of the “market” even though it may be true that more efficient ways of conducting the occupation may be known and that better working conditions are highly desirable”* (Prosser & Quigley, 1950: 225). Pendidikan kejuruan harus memperhatikan permintaan pasar (memperhatikan tanda-tanda pasar kerja).
10. *“The effective establishment of process habits in any learner will be secured in proportion as the training is given on actual jobs and not on exercises or pseudo jobs”* (Prosser & Quigley, 1950: 225-226). Proses pembinaan kebiasaan yang efektif pada siswa akan tercapai jika pelatihan diberikan pada pekerjaan yang nyata (pengalaman sarat nilai).
11. *“The only reliable source of content for specific training is an occupation is in the experiences of masters of that occupation”* (Prosser & Quigley, 1950: 226). Sumber yang dapat dipercaya untuk mengetahui isi pelatihan pada suatu okupasi tertentu adalah dari pengalaman para ahli pada okupasi tersebut.

12. *“For every occupation there is a body of content which is peculiar to that occupation and which practically has no functioning value in any other occupation”* (Prosser & Quigley, 1950: 227). Setiap okupasi mempunyai ciri-ciri isi (*body of content*) yang berbeda-beda satu dengan yang lainnya.
13. *“Vocational education will render efficient social service in proportion as it meets the specific training needs of any group at the time that they need it and in such a way that they can most effectively profit by the instruction”* (Prosser & Quigley, 1950: 229). Pendidikan kejuruan akan merupakan layanan sosial yang efisien jika sesuai dengan kebutuhan seseorang yang memang memerlukan dan memang paling efektif jika dilakukan lewat pengajaran kejuruan.
14. *“Vocational education will be socially efficient in proportion as in its methods of instruction and its personal relations with learners it takes into consideration the particular characteristics of any particular group which it serves”* (Prosser & Quigley, 1950: 230). Pendidikan kejuruan akan efisien jika metode pengajaran yang digunakan dan hubungan pribadi dengan peserta didik mempertimbangkan sifat-sifat peserta didik tersebut.
15. *“The administration of vocational education will be efficient in proportion as it is elastic and fluid rather than rigid and standardized”* (Prosser & Quigley, 1950: 231). Administrasi pendidikan kejuruan akan efisien jika dia luwes dan mengalir daripada kaku dan terstandar.
16. *“While every reasonable effort should be made to reduce per capita cost, there is a minimum below which effective vocational education cannot be given, and*

if the course does not permit of this minimum of per capita cost, vocational education should not be attempted” (Prosser & Quigley, 1950: 232).

Pendidikan kejuruan memerlukan biaya tertentu dan jika tidak terpenuhi maka pendidikan kejuruan tidak boleh dipaksakan beroperasi.

Dari 16 dalil/teori/prinsip dasar tersebut dapat disimpulkan bahwa ada 16 butir kriteria ideal pendidikan kejuruan/vokasi, yaitu: (1) lingkungan belajar, (2) program dan fasilitas/peralatan, (3) praktek langsung, (4) budaya kerja, (5) kualitas input, (6) praktek yang berulang kali, (7) tenaga pendidik yang berpengalaman, (8) kemampuan minimal lulusan, (9) sesuai pasar kerja, (10) proporsi praktek, (11) sumber data program dari pengalaman, (12) program dasar kejuruan dan lanjut, (13) kebutuhan tertentu dan waktu tertentu, (14) hubungan dengan masyarakat, (15) administrasi fleksibel, dan (16) biaya pendidikan.

P. Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3)

Dewasa ini, aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3) telah menjadi isu global di semua negara. Oleh karena itu, pemerintah Indonesia telah mencanangkan upaya peningkatan keselamatan dan kesehatan kerja, misalnya dengan mewajibkan penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) (Ramli, 2013).

Di negara-negara maju dengan tingkat kesejahteraan tinggi, aspek keselamatan telah menjadi kebutuhan dan menjadi persyaratan dalam segenap aspek kehidupan. Aspek K3 berkembang luas meliputi berbagai bidang seperti keselamatan mainan (*toy safety*), keselamatan di rumah (*home safety*), keselamatan

di tempat umum (*public safety*), keselamatan di jalan raya (*road safety*), keselamatan bahan kimia (*chemical safety*), keselamatan di sekolah (*school safety*), keselamatan di tempat kerja (*occupational safety*), dan lainnya.

Aspek K3 bersifat multi dimensi. Oleh karena itu, manfaat dan tujuan K3 juga harus dilihat dari berbagai sisi seperti dari sisi hukum, perlindungan tenaga kerja, ekonomi, pengendalian kerugian, sosial, dan lainnya.

1. Aspek Hukum

K3 merupakan ketentuan perundangan dan memiliki landasan hukum yang wajib dipatuhi semua pihak, baik pekerja, pengusaha atau pihak terkait lainnya. Di Indonesia banyak peraturan perundangan yang menyangkut keselamatan dan kesehatan kerja, beberapa diantaranya adalah:

a. Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 Tentang Keselamatan Kerja

Diberlakukan pada tanggal 12 Januari 1970 yang memuat berbagai persyaratan tentang K3. Dalam UU ini, ditetapkan mengenai kewajiban pengusaha, kewajiban dan hak tenaga kerja serta syarat-syarat keselamatan kerja yang harus dipenuhi oleh organisasi.

b. Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2003 Tentang Ketenagakerjaan

Dalam perundangan mengenai ketenagakerjaan ini salah satunya memuat tentang keselamatan kerja. Pasal 86 menyebutkan bahwa setiap organisasi wajib menerapkan upaya K3 untuk melindungi keselamatan tenaga kerja. Pasal 87 mewajibkan setiap organisasi melaksanakan SMK3 yang terintegrasi dengan manajemen organisasi lainnya.

c. Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung

Gedung memuat aspek keselamatan bangunan (*building safety*). Pasal 16 menyebutkan bahwa persyaratan keandalan bangunan gedung meliputi persyaratan keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan. Pasal 17 menyebutkan bahwa persyaratan keselamatan bangunan gedung meliputi persyaratan kemampuan bangunan gedung untuk mendukung beban muatan, serta kemampuan bangunan gedung dalam mencegah dan menanggulangi bahaya kebakaran dan bahaya petir. Sedangkan pasal 21 menyebutkan bahwa kesehatan bangunan gedung meliputi persyaratan sistem penghawaan, pencahayaan, sanitasi, dan penggunaan bahan bangunan gedung.

d. Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 Tentang Ketenagalistrikan

Pasal 44 ayat 1 menyebutkan bahwa kegiatan usaha ketenagalistrikan wajib memenuhi ketentuan keselamatan ketenagalistrikan. Sedangkan pada ayat 2 menyebutkan bahwa ketentuan keselamatan ketenagalistrikan sebagaimana dimaksud pada ayat 1 bertujuan untuk mewujudkan kondisi: (a) andal dan aman bagi instalasi, (b) aman dari bahaya bagi manusia dan makhluk hidup, dan (c) ramah lingkungan.

Di samping perundangan di atas, masih banyak ketentuan lain tentang K3 khususnya yang bersifat teknis, misalnya mengenai pencegahan kebakaran, peralatan teknis, persyaratan tenaga kerja, dan lainnya.

Dari berbagai ketentuan di atas, terlihat bahwa K3 memiliki landasan hukum yang kuat yang wajib dilaksanakan oleh setiap organisasi termasuk oleh sekolah sesuai dengan peran dan fungsinya masing-masing.

2. Aspek Perlindungan Tenaga Kerja

K3 mengandung nilai perlindungan tenaga kerja dari kecelakaan atau penyakit akibat kerja. Dalam konteks sekolah hijau (*green school*), K3 mengandung nilai perlindungan kepada seluruh warga sekolah (guru, siswa, tenaga kependidikan, dan petugas layanan khusus) dan komite sekolah dari kecelakaan, penyakit atau gangguan dari semua aktivitas di sekolah.

Upaya perlindungan keselamatan dan kesehatan kerja telah bersifat universal. Berbagai negara telah mengeluarkan aturan perundangan untuk melindungi keselamatan tenaga kerjanya. Di Indonesia telah dikeluarkan UU No. 1 tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja. Pada tahun yang sama, di USA juga diberlakukan *Occupational Health and safety Act* tahun 1970 dan membentuk Lembaga OSHA (*Occupational Health and Safety Administration*) yang bertugas menangani aspek K3 secara nasional. Sedangkan di tingkat global, perlindungan keselamatan dan kesehatan kerja juga mendapat perhatian dari ILO (*International Labour Organization*) melalui berbagai pedoman dan konvensi mengenai keselamatan dan kesehatan kerja. Sebagai anggota ILO, Indonesia juga telah meratifikasi dan mengikuti berbagai standar dan persyaratan keselamatan dan kesehatan kerja termasuk SMK3.

3. Aspek Ekonomi

Manfaat K3 dapat juga dilihat dari pendekatan ekonomi atau finansial. Kecelakaan menimbulkan kerugian yang sangat besar bagi suatu perusahaan/organisasi. Banyak perusahaan/organisasi yang harus gulung tikar akibat kecelakaan, bencana atau dampak K3 lainnya yang terjadi dalam operasinya. Dampak ekonomi dari K3 dapat dilihat dari sisi produktivitas dan pengendalian kerugian (*loss control*). Kecelakaan mempengaruhi produktivitas perusahaan/organisasi. Di dalam proses produksi, produktivitas ditopang oleh tiga pilar utama, yaitu kuantitas (*quantity*), kualitas (*quality*), dan keselamatan (*safety*).

4. Aspek Pengendalian Kerugian

Aspek K3 juga berkaitan dengan pengendalian kerugian. K3 bukan hanya menyangkut kecelakaan atau cedera pada manusia, tetapi juga menyangkut sarana produksi dan aset perusahaan/organisasi. Setiap kecelakaan baik cedera pada manusia, kebakaran, dan kerusakan material dapat menimbulkan kerugian bagi organisasi. Banyak kecelakaan kerja yang tidak mengakibatkan korban manusia, tetapi hanya berupa kerusakan sarana produksi yang disebut *non injury incident* atau *damage accident*. Oleh karena itu, salah satu tujuan K3 adalah untuk mencegah dan mengendalikan kerugian atau sering disebut *loss control management*.

Kerugian akibat kecelakaan kerja dikategorikan atas kerugian langsung (*direct cost*) dan kerugian tidak langsung (*indirect cost*). Kerugian langsung

misalnya cedera pada tenaga kerja dan kerusakan pada sarana produksi. Sedangkan kerugian tidak langsung adalah kerugian yang tidak terlihat sehingga sering disebut juga sebagai kerugian tersembunyi (*hidden cost*). Misalnya, kerugian akibat terhentinya proses produksi, penurunan produksi, klaim atau ganti rugi, dampak sosial, citra, dan kepercayaan konsumen.

5. Aspek Sosial

Kecelakaan kerja dapat menimbulkan dampak sosial baik terhadap keluarga korban yang terkait langsung maupun lingkungan sosial di sekitarnya. Apabila seorang pekerja mendapat kecelakaan, keluarganya akan turut menderita. Apabila korban tidak mampu bekerja atau meninggal, maka keluarga akan kehilangan sumber kehidupan dan keluarga akan terlantar yang dapat menimbulkan kesengsaraan. Di lingkup yang lebih luas, kecelakaan juga membawa dampak terhadap lingkungan di sekitarnya.

6. Pengertian SMK3

Menurut OHSAS 18001:2007 menyebutkan bahwa “*OHS management system: part of an organization’s management system used to develop and implement its OH&S Policy and manage OH&S risks*”. Di dalam standar itu disebutkan bahwa “*A management system is a set of interrelated elements used to establish policy and objectives and to achieve those objectives*”. Secara lebih detail, di dalam standar itu juga disebutkan bahwa “*A management system includes organizational structure, planning, activities (including for example,*

risk assessment and the setting of objectives), responsibilities, practices, procedures, process and resources”.

Sedangkan menurut Permenaker No. 05 tahun 1996, Sistem Manajemen K3 adalah bagian dari sistem manajemen secara keseluruhan yang meliputi struktur organisasi, perencanaan, tanggung jawab, pelaksanaan, prosedur, proses dan sumber daya yang dibutuhkan bagi pengembangan, penerapan, pencapaian, pengkajian, dan pemeliharaan kebijakan keselamatan dan kesehatan kerja dalam pengendalian risiko yang berkaitan dengan kegiatan kerja guna terciptanya tempat kerja yang aman, efisien, dan produktif.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa SMK3 merupakan konsep pengelolaan K3 secara sistematis dan komprehensif dalam suatu sistem manajemen yang utuh melalui proses perencanaan, penerapan, pengukuran, dan pengawasan.

7. Tujuan SMK3

Setidaknya ada 4 (empat) tujuan Sistem Manajemen K3, yaitu:

- a. Sebagai alat ukur kinerja K3 dalam organisasi.
- b. Sebagai pedoman implementasi K3 dalam organisasi.
- c. Sebagai dasar penghargaan (*awards*).
- d. Sebagai sertifikasi.

Sedangkan *International Association of Safety Professional* (IASP) di USA telah menetapkan 8 prinsip K3 yang menjadi landasan pengembangan K3, yaitu: (a) K3 adalah tanggung jawab moral/etik, (b) K3 adalah budaya bukan

sekadar program, (c) K3 adalah tanggung jawab manajemen, (d) pekerja harus dididik untuk bekerja dengan aman, (e) K3 adalah cerminan kondisi ketenagakerjaan, (f) semua kecelakaan dapat dicegah, (g) program K3 bersifat spesifik, dan (h) K3 baik untuk bisnis.

Q. Kajian Penelitian yang Relevan

1. Penelitian tentang Sekolah Hijau (*Green School*)

Penelitian yang terkait tentang sekolah hijau “*green school*” telah dilakukan oleh Ramli et al. (2012) yang berjudul “*A Comparative Study of Green School Guidelines*”. Hasil penelitian dipresentasikan dalam *ASEAN Conference on Environment-Behaviour Studies* di Bangkok, Thailand, 16-18 Juli 2012 yang dihasilkan perbandingan panduan teknis sekolah hijau seperti disajikan pada Tabel 10 berikut ini.

Tabel 10. Perbedaan Antara Elemen-elemen Desain Sekolah Hijau

| Criteria | Authorities | | |
|-------------------------------------|--|---|---|
| | US Environmental Protection Agency (US EPA) Design Tools for Schools | Collaborative for High Performance Schools (CHPS) | US Green Building Council LEED for Schools (The Center for Green School-K-12 Education) |
| Indoor air quality | √ | √ | √ |
| Thermal Comfort | √ | √ | √ |
| Acoustic | √ | √ | √ |
| Day lighting | √ | √ | √ |
| Solar panels | | | √ |
| Green roof | | | √ |
| Water Efficiency | √ | √ | √ |
| Energy Efficiency | √ | √ | √ |
| Energy Efficient Lighting | √ | | √ |
| Mold Prevention | | | √ |
| Join Use of Facilities | | | √ |
| Recycling | | | √ |
| Low-Emitting Materials | | √ | √ |
| Alternative Transport Option | | | √ |
| Material Efficient | √ | √ | |
| Easy to Maintain & Operate | √ | | |
| Save & Secure | √ | | |
| Commissioned | √ | | |
| Site Selection | √ | √ | |
| Pollutant & Chemical Source Control | | √ | |

Sumber: Ramli et al. (2012: 466).

Dari tabel 10 di atas dapat dilihat bahwa pengendalian limbah kimia dan polusi merupakan salah satu kriteria sekolah hijau (*green school*) untuk standar *Collaborative for High Performance Schools* (CHPS). Sedangkan kualitas udara dalam ruangan, kebisingan, efisiensi air, dan efisiensi energi merupakan standar untuk *US Environmental Protection Agency* (US EPA) *Design Tools for Schools*, CPHS, dan *US Green Building Council LEED for Schools*.

Berdasarkan penelitian Veronese & Kensler (2013), disimpulkan bahwa *Theory of Planned Behavior* (TPB) dapat memberikan pendekatan praktis dalam memahami dan mengidentifikasi peluang untuk mengubah perilaku lingkungan hidup. Hasil studi menunjukkan bahwa kepala sekolah yang berpartisipasi dalam kegiatan *green school* percaya bahwa kegiatan tersebut memiliki manfaat dan sebagian besar pemangku kepentingan akan mendukung dalam usaha penghijauan. Namun, terdapat beberapa kendala dalam implementasi *green school* ini, yaitu keterbatasan sumber daya meliputi biaya, waktu, informasi, dan personil yang dapat memberikan hambatan besar bagi kepala sekolah dalam memimpin dan mengelola sekolah agar lebih hijau.

Berdasarkan penelitian Tan, Chen, Shi, & Wang (2013), disimpulkan bahwa pengembangan kampus hijau di China memiliki perkembangan yang sangat pesat. Hasil analisis menyatakan bahwa pengembangan kampus hemat energi dan sumber daya telah berkembang dalam skala besar terutama dengan penerapan teknologi hemat energi dan manajemen energi kampus. Pemerintah China memiliki inisiatif yang kuat dalam mendukung pengembangan kampus hijau, seperti melakukan promosi kampus hijau secara aktif, memberikan

dukungan kebijakan serta pendanaan. Dengan usaha besar ini menandakan sedang terjadinya *upgrade* dari kampus hemat energi dan sumber daya menuju kampus hijau yang menerapkan konsep pendidikan berkelanjutan. Namun, masih terdapat sejumlah masalah selama proses *upgrade* ini, seperti belum adanya desain baku (model ideal) dalam mengembangkan kampus hijau dan belum adanya mekanisme untuk penjaminan mutu pengembangan kampus hijau jangka panjang.

Berdasarkan penelitian Razak, Iksan, & Zakaria (2013) menunjukkan bahwa hasil analisis refleksi yang dibuat oleh siswa menghasilkan lima dimensi kunci: (1) perasaan positif; (2) kesadaran akan sekolah hijau; (3) pemahaman konsep sekolah hijau; (4) peran guru dalam menanamkan kesadaran tentang sekolah hijau; dan (5) tantangan dalam pelaksanaannya. Siswa yang telah mengerti dan memiliki kesadaran tentang sekolah hijau diharapkan bisa membentuk generasi penerus yang mampu menghargai kehidupan dan lingkungan. Sebagai pendidik, guru harus menjadi panutan dalam membentuk generasi penerus yang mampu menghargai kehidupan dan lingkungan. Manusia bisa hidup di lingkungan yang lebih berkelanjutan jika ia sadar akan pentingnya kelestarian lingkungan, belajar dari alam, dan menjadi warga negara yang aktif dalam usaha peletarian fungsi lingkungan.

Berdasarkan penelitian Maryono (2015) menunjukkan bahwa pendidikan lingkungan hidup (PLH) harus terintegrasi dengan pendidikan karakter yang diposisikan sebagai mata pelajaran tersendiri atau dilakukan dengan pendekatan yang komprehensif untuk mencapai tujuan yang efektif. Pola kemitraan juga

perlu ditingkatkan dengan beberapa institusi pendidikan seperti universitas untuk melakukan evaluasi tentang keberhasilan program PLH agar dapat mencapai visi, misi, dan tujuan sekolah.

Berdasarkan penelitian Somwaru (2016) disimpulkan bahwa kegiatan “*green school*” sudah efektif jika dibandingkan dengan hasil *baseline*. Perubahan positif yang signifikan terhadap perilaku anak terhadap lingkungan telah diamati oleh para guru dan tim *Suriname Waste Management Foundation* (SUWAMA) selama pemantauan. Perubahan perilaku positif terhadap lingkungan telah diamati dan dicatat terutama dalam hal pendidikan tentang spesies yang terancam punah, kegiatan daur ulang, penghematan energi dan air serta pembuatan brigade lingkungan. Saran dari penelitian ini adalah membuat perubahan perilaku positif terhadap lingkungan ini dapat terus berlangsung secara berkelanjutan.

Sementara itu, penelitian yang terkait tentang implementasi sekolah hijau “*green school*” di SMK telah dilakukan oleh Wahyuhadi (2012). Penelitian Wahyuhadi (2012) yang berjudul “Pengelolaan Sekolah Adiwiyata di SMK Negeri 1 Salatiga”, disimpulkan bahwa mata pelajaran yang terintegrasi dengan pendidikan lingkungan hidup di SMK Negeri 1 Salatiga, Jawa Tengah hanya terbatas pada mata pelajaran Bahasa Inggris, IPA, Agama, IPS, dan Penjaskes saja belum mengarah ke mata pelajaran produktif yang merupakan ciri khas di SMK.

Sedangkan penelitian Warju (2015) yang berjudul “*The Evaluation of The Implementation of The Adiwiyata Program (Green School Program) in SMK*”

Semen Gresik” disimpulkan bahwa: (1) hasil evaluasi *context* dilihat dari kepedulian dan harapan masyarakat, relevansi program, regulasi dan kebijakan dikategorikan baik, relevan, dan mendukung; (2) hasil evaluasi *input* karakteristik kepala sekolah, guru, tenaga kependidikan, petugas khusus sekolah, dan komite sekolah menunjukkan semua mengerti dan memahami visi, misi, dan tujuan sekolah dalam upaya PPLH (100%), sedangkan ditinjau dari karakteristik siswa sebanyak 73,33%. Ditinjau dari kurikulum, struktur kurikulum yang memuat upaya PPLH dalam komponen mata pelajaran wajib hanya pada mata pelajaran Agama, Pendidikan Kewarganegaraan, Bahasa Indonesia, Bahasa Inggris, Seni Budaya, dan Kimia yang dilaksanakan secara terintegrasi dan mata pelajaran muatan lokal Pendidikan Lingkungan Hidup yang dilaksanakan secara monolitik; (3) hasil evaluasi *process* menunjukkan hanya sebesar 46,66% RPP yang terintegrasi dengan PLH, hanya 70% tenaga pendidik yang mengembangkan indikator pembelajaran dan instrumen penilaian yang terkait dengan PPLH, hanya 70% tenaga pendidik yang menyusun rancangan pembelajaran yang terkait dengan PPLH, hanya sebesar 53% dari peserta didik yang menghasilkan karya nyata yang terkait dengan PPLH, hanya sebesar 50% peserta didik yang mengkomunikasikan hasil pembelajaran LH, dan ada 5 dokumen MoU yang telah dibangun dengan mitra dalam rangka program adiwiyata; dan (4) hasil evaluasi *product* berdasarkan prestasi siswa, kompetensi siswa, dan tanggapan/kepuasan masyarakat dikategorikan baik.

Penelitian lanjutan dilakukan oleh Warju et al. (2017) yang berjudul “*Evaluating the Implementation of Green School (Adiwiyata) Program: Evidence from Indonesia*”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: pertama, hasil evaluasi konteks dilihat dari aspek kepedulian dan harapan masyarakat, relevansi program, regulasi dan kebijakan pemerintah dikategorikan sangat baik. Kedua, hasil evaluasi input dilihat dari aspek karakteristik kepala sekolah, guru, tenaga kependidikan, petugas layanan khusus, dan komite sekolah; karakteristik siswa; kurikulum; dan karakteristik sarana prasarana ramah lingkungan dikategorikan baik. Ketiga, hasil evaluasi proses dilihat dari aspek persiapan pembelajaran, proses pembelajaran, dan kerjasama dengan instansi lain dikategorikan baik. Keempat, hasil evaluasi produk dilihat dari aspek prestasi siswa, kompetensi siswa, dan tanggapan/kepuasan masyarakat dikategorikan baik.

Dari sejumlah hasil penelitian tentang sekolah hijau (*green school*) di atas dapat disimpulkan bahwa program sekolah hijau dapat dilanjutkan sebagai sebuah upaya untuk mempromosikan paradigma pembangunan berkelanjutan.

2. Penelitian tentang *Catalytic Converter*

Penelitian yang terkait dengan teknologi ramah lingkungan di bidang otomotif, khususnya teknologi *catalytic converter* telah dilakukan oleh sejumlah peneliti. Berdasarkan penelitian Amin, Chavda & Gadhia (2013), disimpulkan bahwa *catalytic converter* berbahan dasar *wiremesh* yang dilapisi dengan tembaga dapat mereduksi emisi CO dan HC pada mesin 4 langkah satu

silinder. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai optimum yang ditemukan pada beban penuh untuk HC sebesar 126 ppm dan CO sebesar 0,03%. Persentase reduksi emisi CO dan HC masing-masing sebesar 30% dan 66% pada beban penuh. Secara teori, dengan diterapkannya *catalytic converter* berbahan dasar *wiremesh* berlapis tembaga yang ditempatkan pada saluran gas buang akan menimbulkan tekanan balik yang dapat mengganggu kinerja mesin. Semakin banyak jumlah shell yang dipasang pada knalpot dapat meningkatkan tekanan balik, namun berdasarkan hasil pengujian peningkatan tekanan balik sangat kecil dan hampir tidak mempengaruhi kinerja mesin secara keseluruhan.

Penelitian lanjutan yang dilakukan oleh Warju & Muliatna (2015) yang berjudul “*The Performance of Copper Metallic Catalytic Converter as Catalyst to Reduce Exhaust Emission from Yamaha Vega Motorcycle*” disimpulkan bahwa: (1) reduksi emisi CO dengan menggunakan *catalytic converter* tembaga dengan tinggi lekukan 4, 6, dan 8 mm masing-masing sebesar 46,30%, 16,25%, dan 14,23%; (2) reduksi emisi HC dengan menggunakan *catalytic converter* tembaga dengan tinggi lekukan 4, 6, dan 8 mm masing-masing sebesar 38,56%, 18,38%, dan 46,81%; (3) penggunaan *catalytic converter* tembaga pada knalpot sepeda motor tersebut dapat memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama.

Berdasarkan penelitian Karthikeyan, Saravanan & Gunasekaran (2016), disimpulkan bahwa dengan menggunakan *catalytic converter* berbahan dasar zeolit yang disintesis dengan abu batubara pada mesin bensin dua silinder

(MPFI) terbukti dapat menurunkan emisi CO, HC CO₂, O₂ dan HC. Setelah dilakukan pengujian dengan menggunakan *exhaust gas analyzer* AVL-444, didapatkan hasil bahwa pada *catalytic converter* dengan sudut 35° dan 40° emisi CO tereduksi sebesar 85%, HC sebesar 80%, sedangkan emisi NO_x tereduksi sebesar 60%. Namun dari penelitian ini juga terdapat sebuah kekurangan, yaitu efisiensi termal pada sudut 30° tergolong sangat rendah. Hal ini terjadi karena adanya ekspansi secara tiba-tiba pada ujung *tapper inlet* yang menyebabkan tingginya tekanan balik di dalam *catalytic converter*. Terciptanya tekanan balik di dalam *catalytic converter* tersebut sangat mempengaruhi efisiensi termal, yang mengakibatkan borosnya pemakaian bahan bakar spesifik.

Penelitian lanjutan dilakukan oleh Nisa, Ratnaningrum, Megawati, and Widyastuti (2016), disimpulkan bahwa penggunaan logam non-mulia seperti tembaga (Cu) dan kuningan (CuZn) dengan desain silinder terbukti dapat mengurangi emisi CO dan HC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *catalytic converter* CuZn dan Cu dapat menurunkan emisi sesuai dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama. *Catalytic converter* CuZn mampu menurunkan emisi CO sampai dengan 47,71% pada putaran 2000 rpm, sedangkan emisi HC turun hingga 55,34% pada putaran 2500 rpm. *Catalytic converter* Cu mampu menurunkan emisi CO hingga 46,61% pada putaran 2000 rpm, sedangkan emisi HC turun hingga 47,13% pada putaran 2500 rpm.

Berdasarkan penelitian Sendilvelan & Mahadeven (2017), disimpulkan bahwa penggunaan *dynamic catalytic converter system* (DCCS) pada mesin

bensin empat silinder mampu menurunkan emisi CO dan HC secara signifikan. DCCS terdiri dari sejumlah pipa dengan diameter berbeda-beda yang disusun secara bertingkat. Pipa dengan diameter terkecil diletakkan pada saluran buang *exhaust manifold*, sedangkan pipa dengan diameter terbesar diletakkan pada saluran masuk *catalytic converter*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penggunaan DCCS, emisi CO berkurang sebesar 60% dengan *pre-catalysts* (PC) dan emisi HC berkurang sebesar 57% dibandingkan dengan *catalytic converter* tanpa DCCS.

Penelitian lanjutan dilakukan oleh Kumar, Singh, and Kaur (2017), disimpulkan bahwa *catalytic converter* berbahan dasar *wiremesh* yang dilapisi dengan Zirconium Oxide (ZrO) dan Cobalt Oxide (CoO) pada mesin 4 langkah satu silinder dapat mereduksi emisi CO, HC, NO_x dan CO₂. Penggunaan *catalytic converter* berbahan *wiremesh* berlapis ZrO dan CoO terbukti dapat mereduksi emisi CO, HC, NO_x dan CO₂ secara signifikan apabila menggunakan bahan bakar LPG. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan menggunakan bahan bakar LPG, emisi CO berkurang sebesar 48%, emisi HC berkurang sebesar 66%, emisi CO₂ berkurang sebesar 52%, dan reduksi emisi NO_x sebesar 73%. Namun, kelemahan dari penelitian ini adalah jika kendaraan menggunakan bahan bakar bensin, terjadi pengurangan kemampuan *catalytic converter* berbahan *wiremesh* berlapis ZrO dan CoO dalam proses reduksi emisi CO, HC, NO_x dan CO₂. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan menggunakan bahan bakar bensin, pengurangan emisi CO, HC, CO₂ dan NO_x masing-masing sebesar 53%, 65%, 30%, dan 39%. Jika dibandingkan dengan

penggunaan bahan bakar bensin, proses reduksi emisi CO, HC, NO_x dan CO₂ pada bahan bakar LPG jauh lebih maksimal, hal tersebut dikarenakan kandungan polusi yang dihasilkan dari bahan bakar bensin jauh lebih banyak daripada bahan bakar LPG.

Dari sejumlah penelitian tentang penggunaan *catalytic converter* di atas dapat disimpulkan bahwa penggunaan bahan *catalytic converter*, desain, dan sudut *inlet* dan *outlet* pada *catalytic converter casing* sangat berpengaruh terhadap reduksi emisi gas buang, tekanan balik, konsumsi bahan bakar, dan performa mesin yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor.

3. Penelitian tentang *Diesel Particulate Filter (DPF)*

Penelitian yang terkait dengan teknologi otomotif ramah lingkungan, khususnya teknologi *diesel particulate trap (DPT)* atau *diesel particulate filter (DPF)* telah dilakukan oleh sejumlah peneliti. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Setiawan dan Warju (2009), dapat disimpulkan bahwa penggunaan *diesel particulate trap (DPT)* berbahan dasar kuningan dapat menurunkan kepekatan asap (opasitas) gas buang mesin diesel stasioner (merek Dong Feng) secara signifikan di setiap putaran mesin. DPT berbahan 200 gr kuningan mampu menurunkan kepekatan asap (opasitas) gas buang sebesar 82,9%, DPT berbahan 300 gr kuningan mampu menurunkan kepekatan asap (opasitas) gas buang sebesar 85,7%. Sedangkan DPT berbahan 400 gr kuningan mampu menurunkan kepekatan asap (opasitas) gas buang sebesar 65,6%. Pada

penelitian tersebut, kuningan sebagai bahan DPT dibuat menjadi bentuk serabut.

Penelitian sejenis juga dilakukan oleh Sulistyono dan Warju (2009), dengan penggunaan DPT berbahan dasar tembaga juga dapat menurunkan kepekatan asap (opasitas) gas buang mesin diesel stasioner (merek Dong Feng) secara signifikan di setiap putaran mesin. DPT berbahan 100 gr tembaga mampu menurunkan kepekatan asap (opasitas) gas buang sebesar 82,2%. DPT berbahan 200 gr tembaga dapat menurunkan kepekatan asap (opasitas) gas buang sebesar 88,5%. Sedangkan DPT berbahan 300 gr tembaga mampu menurunkan kepekatan asap (opasitas) gas buang sebesar 85,3%. Pada penelitian tersebut, tembaga sebagai bahan DPT juga dibuat menjadi bentuk serabut. Namun pemakaian tembaga dan kuningan yang berbentuk serabut sebagai bahan dasar pembuatan DPT, masih meninggalkan persoalan dalam penggunaannya di mesin diesel. Diantaranya sulitnya start awal, suara yang masih bising, dan mengumpulnya deposit/jelaga di bagian ujung depan DPT.

Melihat fenomena tersebut, perlu adanya penelitian lanjutan dengan menggunakan desain DPT yang lain, yaitu bentuk sarang lebah logam (*metallic honeycomb/monolith*) berbahan dasar logam transisi seperti plat *stainless steel*, plat tembaga, dan plat kuningan yang dikombinasikan dengan pemakaian *glasswool* sebagai material penyerap deposit/jelaga. Harga plat *stainless steel*, plat tembaga, plat kuningan, dan *glasswool* masih relatif murah dan mudah didapat di pasaran.

Berdasarkan penelitian Vasanthan (2013), disimpulkan bahwa penggunaan *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar tembaga pada mesin diesel 4 langkah dapat menurunkan emisi partikulat (*particulate matter/PM*) secara signifikan. Hal tersebut dibuktikan oleh hasil penelitian yang menunjukkan bahwa reduksi emisi PM mencapai 60-70%. Selain itu, terjadi peningkatan torsi dan daya hingga 14%, konsumsi bahan bakar spesifik lebih irit 12%, dan terdapat penurunan efisiensi termal sebesar 12-16%. Kelemahan penelitian ini adalah penggunaan DPF menimbulkan peningkatan tekanan balik (*back pressure*) pada gas buang. Hal tersebut terjadi karena terdapat hambatan aliran gas buang di sepanjang jalur keluar knalpot menuju atmosfer.

Berdasarkan penelitian Ibrahim, Alotaibi, and Wenghoefer (2014), disimpulkan bahwa penggunaan *active diesel particulate filter* (ADPF) berbahan dasar serat logam yang disinter berpori yang terbagi menjadi *strip filter* pada mesin Genset Caterpillar model 3306B tahun 1994 terbukti sangat efisien dalam membakar akumulasi jelaga (emisi PM) dan mereduksi emisi NO₂. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *strip filter* diregenerasi secara aktif dengan menerapkan pemanas listrik langsung untuk membakar akumulasi jelaga (PM) emisi gas buang. Melalui cara tersebut, reduksi jelaga (emisi PM) mampu mencapai 84-94%. Sedangkan reduksi emisi NO₂ mencapai 42% bila dibandingkan dengan knalpot mesin diesel standar. Selain itu, dari data hasil pengujian juga ditunjukkan bahwa seiring bertambahnya usia pemakaian ADPF dapat mereduksi emisi NO₂ hingga mencapai 96%. Hasil tersebut jauh melampaui standar verifikasi AS-EPA dan CARB terbaru terkait emisi NO₂.

Kelemahan dalam penelitian ini adalah apabila regenerasi dilakukan secara pasif, maka proses regenerasi filter sangat bergantung pada emisi NO₂. Teknik ini mengharuskan emisi NO dioksidasi menjadi NO₂ oleh katalis mesin diesel berbahan platinum (logam mulia). Namun, hanya sebagian emisi NO₂ yang dibutuhkan dalam proses oksidasi. Kelebihan NO₂ yang diproduksi berpotensi untuk keluar menuju atmosfer, padahal NO₂ juga dikenal sebagai salah satu emisi gas buang mesin diesel yang paling berbahaya bagi lingkungan.

Berdasarkan penelitian Warju dan Marsudi (2015) yang berjudul “Rancang Bangun *Diesel Particulate Trap* (DPT) untuk Mereduksi Opasitas, Konsumsi Bahan Bakar, dan Tingkat Kebisingan Mesin Isuzu Panther” disimpulkan sebagai berikut: (1) penggunaan DPT *stainless steel* (Fe+Cr) +100 gr *glasswool* dengan desain *metallic honeycomb* dapat mereduksi opasitas, tingkat kebisingan, dan konsumsi bahan bakar mesin Isuzu Panther tahun 1997 secara signifikan; (2) dengan menggunakan DPT Fe+Cr 20 mm + 100 gr *glasswool* dapat mereduksi opasitas gas buang sebesar 70%; (3) dengan menggunakan DPT Fe+Cr 15 mm + 100 gr *glasswool* dapat mereduksi opasitas gas buang sebesar 82%; (4) dengan menggunakan DPT Fe+Cr 10 mm dapat mereduksi opasitas gas buang sebesar 89%; (5) DPT Fe+Cr 20 mm dapat mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 3,1%; (6) DPT Fe+Cr 15 mm dapat mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 4,8%; (7) DPT Fe+Cr 10 mm dapat mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 7,9%; (8) DPT Fe+Cr 20 mm dapat mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar 1,7%; (9) DPT Fe+Cr 15 mm dapat mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar 3,5%;

dan (10) DPT Fe+Cr 10 mm dapat mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar 5%.

Penelitian lanjutan dilakukan oleh Ariyanto dan Warju (2016) yang berjudul “Unjuk Kemampuan *Diesel Particulate Trap* Berbahan Tembaga dan *Glasswool* Terhadap Reduksi Opasitas Gas Buang”. Hasil pengujian menunjukkan bahwa: (1) dengan menggunakan DPT Cu 20 mm + 100 gr *glasswool* dapat mereduksi opasitas gas buang mesin Isuzu Panther 1996 sebesar 75%; (2) DPT Cu 15 mm + 100 gr *glasswool* dapat mereduksi opasitas gas buang sebesar 81%; dan (3) DPT Cu 10 mm + 100 gr *glasswool* dapat mereduksi opasitas gas buang sebesar 88%.

Berdasarkan penelitian Sharif, Jagadish, Kumar, and Rakesh (2016), disimpulkan bahwa penerapan *diesel particulate filter* (DPF) berbahan silikon karbida (Sic) mampu mengurangi emisi PM mesin diesel. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa terjadi reduksi emisi PM sebesar 67%, dari kepekatan asap 52 %HSU berkurang menjadi 35 %HSU setelah penggunaan DPF. Selain itu, emisi CO, CO₂, dan NO_x juga ditemukan berkurang secara signifikan.

Berdasarkan penelitian Quan-shuna, Jian-wei, Yun-shana, Li-jun, and Zihanga (2017), disimpulkan bahwa setelah melakukan pengujian sebelum dan sesudah penggunaan *diesel particulate filter* (DPF) terbukti terjadi reduksi emisi gas buang secara signifikan. Berdasarkan hasil uji coba pada jalan sesungguhnya, efisiensi penyaringan rata-rata *particulate number* (PN) mencapai 0,95506 hingga 0,99058. Sedangkan hasil uji coba pada *chassis dynamometer*, efisiensi penyaringan rata-rata *particulate number* (PN)

mencapai 0,95274 hingga 0,98343. Mesin diesel yang telah dilengkapi *diesel particulate filter* (DPF) dan *diesel oxidation catalyst* (DOC), konsentrasi emisi CO setelah melakukan transformasi mendekati 1,02 dan 1,15 kali sebelumnya. Sedangkan kendaraan yang dilengkapi dengan DPF tetapi tidak ada DOC, konsentrasi CO setelah melakukan transformasi mendekati 7,5 dan 7,1 kali sebelumnya. Pemasangan DPF memiliki pengaruh yang besar terhadap konsentrasi emisi NO₂. Rata-rata emisi NO₂ turun menjadi 0,43775 kali lipat dari asalnya. Untuk emisi NO_x, rasio konsentrasi emisi sebelum dan sesudah transformasi mendekati 1, artinya hampir tidak ada perubahan.

Sedangkan penelitian lanjutan yang dilakukan oleh Stelmasiak, Pielecha, and Pietras (2017), disimpulkan bahwa dengan menerapkan *diesel particulate filter* (DPF) pada mesin diesel FT 1.3 MJS berbahan bakar solar yang dikombinasikan dengan gas alam CNG terbukti dapat mereduksi emisi partikulat (PM). Bahan bakar solar tetap menjadi bahan bakar utama sebesar 0,70-0,75 dari total energi yang digunakan, sedangkan gas alam CNG menjadi bahan bakar campuran yang diinjeksikan dalam ruang bakar. Standar pengujian menggunakan *New European Driving Cycle* (NEDC). Berdasarkan hasil pengujian, diketahui bahwa dengan penambahan gas alam CNG menunjukkan efek yang positif terhadap opasitas gas buang dan emisi partikulat (PM). Reduksi yang terjadi bergantung pada kondisi uji, rata-rata opasitas berkurang sebesar 10-92% dan jumlah partikel sebesar 30-40%. Selain itu, terdapat dampak positif lain dengan penambahan gas alam CNG ini. Diantaranya adalah berkurangnya beban DPF dalam proses penyaringan PM sehingga

memperpanjang umur pemakaian dan dapat meningkatkan keandalan mesin dikarenakan jumlah emisi partikulat (PM) yang mengendap dalam DPF berkurang.

Dari sejumlah penelitian tentang penggunaan *diesel particulate trap* (DPT) atau *diesel particulate filter* (DPF) di atas dapat disimpulkan bahwa penggunaan bahan DPT/DPF, desain, dan jenis bahan bakar yang digunakan sangat berpengaruh terhadap reduksi emisi PM atau opasitas gas buang, tekanan balik, konsumsi bahan bakar, dan performa mesin yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor.

4. Penelitian tentang *Thermal Reactor*

Penelitian tentang reaktor panas (*thermal reactor*) telah dilakukan oleh Arisma (2010) dengan menerapkan *reheater* pada knalpot sepeda motor Jupiter Z. *Reheater* mempunyai sistem kerja yang sama dengan *thermal reactor*, yaitu memanfaatkan panas dari sisa hasil pembakaran kendaraan bermotor dimana CO akan direduksi menjadi CO₂ dan HC akan direduksi menjadi H₂O jika temperatur di atas 650°C. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa penggunaan *reheater* dapat menurunkan kadar emisi CO pada knalpot standar dari 3,307 % menjadi 0,749 % atau terjadi reduksi emisi CO sebesar 77 %.

Penelitian lanjutan dilakukan oleh Hidayah dan Warju (2012) yang berjudul “Kadar Emisi Gas Buang Sepeda Motor Empat Langkah dengan Menggunakan *Thermal Reactor*” disimpulkan bahwa: (1) penggunaan *thermal reactor* berbahan *stainless steel* pada Honda Vario tahun 2010 dapat mereduksi

emisi CO rata-rata sebesar 80%; dan (2) penggunaan *thermal reactor* berbahan *stainless steel* pada Honda Vario tahun 2010 dapat mereduksi emisi HC rata-rata sebesar 65%.

Dari sejumlah penelitian tentang *reheater* atau *thermal reactor* di atas dapat disimpulkan bahwa penggunaan bahan dan desain *thermal reactor* sangat berpengaruh terhadap reduksi emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor.

5. Penelitian tentang *Eco-Muffler*

Penelitian tentang *muffler* ramah lingkungan (*eco-muffler*) telah dilakukan oleh Warju, Muliatna, dan Dewanto (2009) yang berjudul “Rancang Bangun *Muffler* dengan *Catalytic Converter* Berbahan Baku Alternatif sebagai Upaya Meningkatkan Partisipasi Masyarakat dalam Pelaksanaan Program Langit Biru”. Dari pengujian *catalytic converter* tembaga dan *straight through muffler* pada knalpot Toyota Kijang Innova Tipe G tahun perakitan 2005 dapat mereduksi tingkat kebisingan yang dihasilkan mesin sebesar 15,21%. Penggunaan *catalytic converter* tembaga dan *three pass tube type muffler* dapat mereduksi tingkat kebisingan yang dihasilkan mesin sebesar 9,2%. Sedangkan penggunaan *catalytic converter* tembaga dan *off-set tube type muffler* dapat mereduksi tingkat kebisingan yang dihasilkan mesin sebesar 8,43%.

Penelitian sejenis dilakukan oleh Warju dan Sanata (2010) dengan judul “Unjuk Kemampuan *Straight Through Muffler* dengan *Catalytic Converter* Tembaga Berlapis Mangan Terhadap Tingkat Kebisingan Sepeda Motor Empat

Langkah”. Dari hasil penelitian ditunjukkan bahwa penggunaan *straight through muffler* dengan delapan variasi *catalytic converter* tembaga berlapis mangan akan menaikkan tingkat kebisingan knalpot sepeda motor Honda Karisma di setiap putaran mesin. Komposisi katalis 170 gr Cu + 30 gr Mn merupakan komposisi terbaik dalam menaikkan tingkat kebisingan knalpot yaitu sebesar 3,7%.

Penelitian lanjutan dilakukan oleh Pal, Golan, Kumar, Jain, Ramdas, & Sharma (2014) yang berjudul “*Design of a Muffler & Effect of Resonator Length for 3 Cylinder SI Engine*”. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa penggunaan resonator menyerupai piston yang dapat diatur pada posisi berbeda terbukti dapat meredam suara. Hal tersebut dibuktikan oleh hasil penelitian yang menyatakan bahwa terjadi penurunan/peredaman suara disetiap putaran mesin. Apabila dibandingkan dengan knalpot standar, terjadi penurunan setelah penggunaan resonator. Penurunan suara maksimum sebesar 16,5 dBA dan penurunan minimum sebesar 10 dBA. Kelemahan penelitian ini adalah penggunaan resonator membutuhkan biaya yang lebih mahal karena bentuknya yang menyerupai piston dan membutuhkan pengaturan silinder sehingga dinilai tidak ekonomis untuk tujuan umum. Selain itu, tingkat kebisingan maksimal yang dihasilkan masih berada pada angka 90,1 dBA.

Penelitian lanjutan dilakukan oleh Allam (2014) yang berjudul “*Numerical Assessment and Shape Optimization of Dissipative Muffler and Its Effect on I.C. Engine Acoustic Performance*”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaplikasian *micro perforated panels* (MPP) dalam *muffler* mesin

diesel empat langkah dapat digunakan untuk mereduksi kebisingan mesin. Penggunaan MPP memiliki beberapa keuntungan, yaitu reduksi kebisingan mencapai 6 dBA dan konsumsi bahan bakar spesifik turun hingga 8% pada kondisi yang sama. Selain itu, untuk memperoleh desain yang optimal biaya yang dikeluarkan juga relatif rendah.

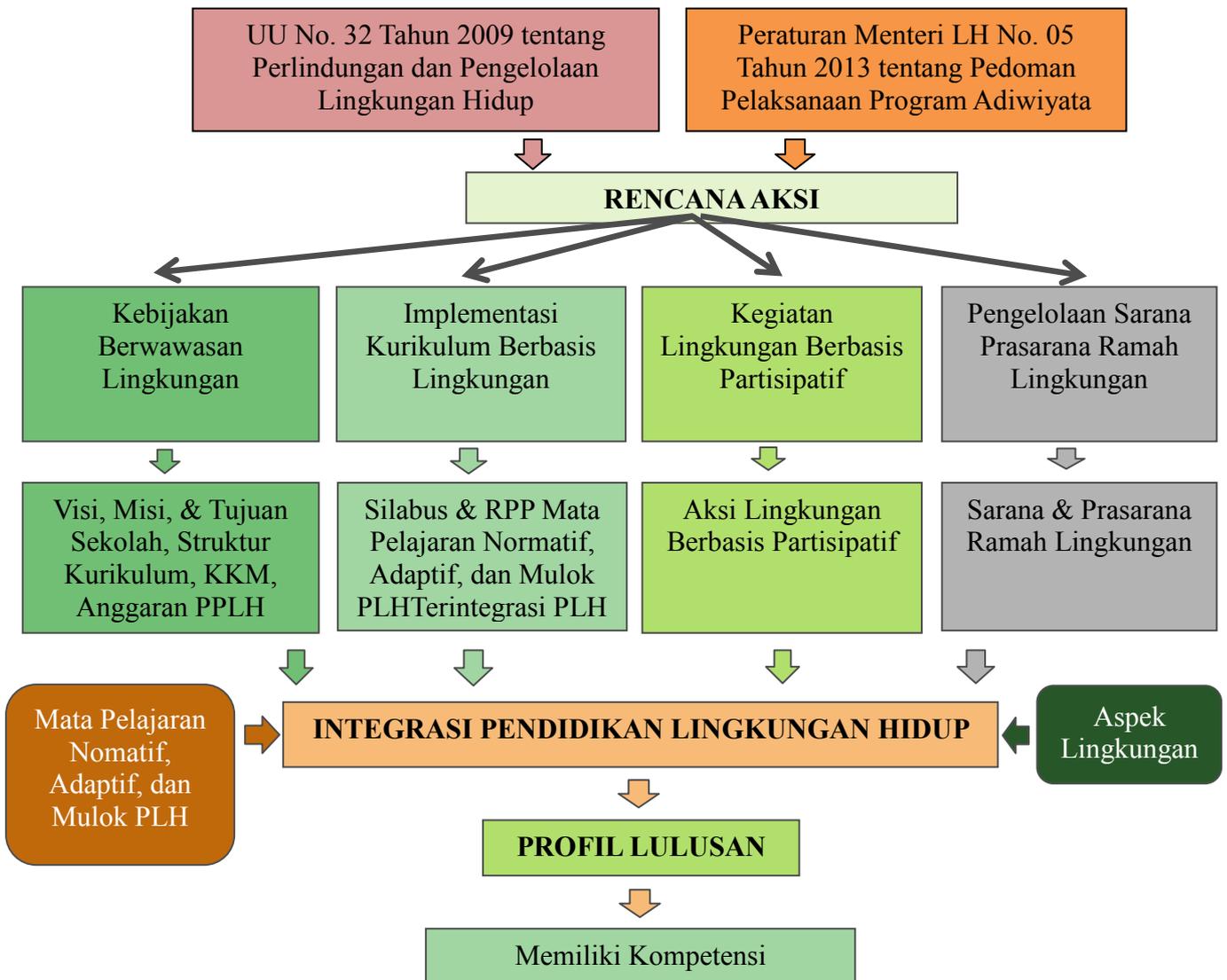
Penelitian lanjutan dilakukan oleh Singh & Shrivastava (2015) yang berjudul “*Study of Noise Behavior on Mufflers for IC Engine: A Review*”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penggunaan *muffler* tipe reflektif, absorptif ataupun *hybrid* terbukti dapat menurunkan kebisingan. *Muffler* jenis tersebut merupakan perangkat kedap suara akustik yang dirancang untuk mengurangi kebisingan yang dihasilkan oleh mesin. Rata-rata reduksi kebisingan yang dihasilkan oleh mesin sebesar 10 dB sampai 15 dB setelah gas buang melewati *muffler*.

Penelitian lanjutan juga dilakukan oleh Reddy & Prakash (2016) yang berjudul “*Design and Fabrication of Reactive Muffler*”. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa *muffler* dengan desain reaktif mampu mereduksi kebisingan pada frekuensi rendah, antara 200 Hz sampai 500 Hz jika dibandingkan dengan knalpot standar mesin Mahindra Maxx MDI 3200 DI. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa reduksi maksimum terletak pada putaran mesin 3500 rpm. *Muffler* standar menghasilkan kebisingan sebesar 96,7 dB, setelah dipasang *reactive muffler* turun menjadi 80,5 dB sehingga terjadi penurunan kebisingan sebesar 16,2 dB. Pada putaran mesin 2500 rpm, *muffler* standar menghasilkan

kebisingan sebesar 87,5 dB, setelah dipasang *reactive muffler* turun menjadi 76,8 dB sehingga terjadi penurunan kebisingan sebesar 10,7 dB.

Dari sejumlah penelitian tentang *eco-muffler* di atas dapat disimpulkan bahwa jenis dan desain *muffler* yang digunakan sangat berpengaruh terhadap reduksi kebisingan yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor.

R. Model Lama Sekolah Adiwiyata (*Green School*) di SMK



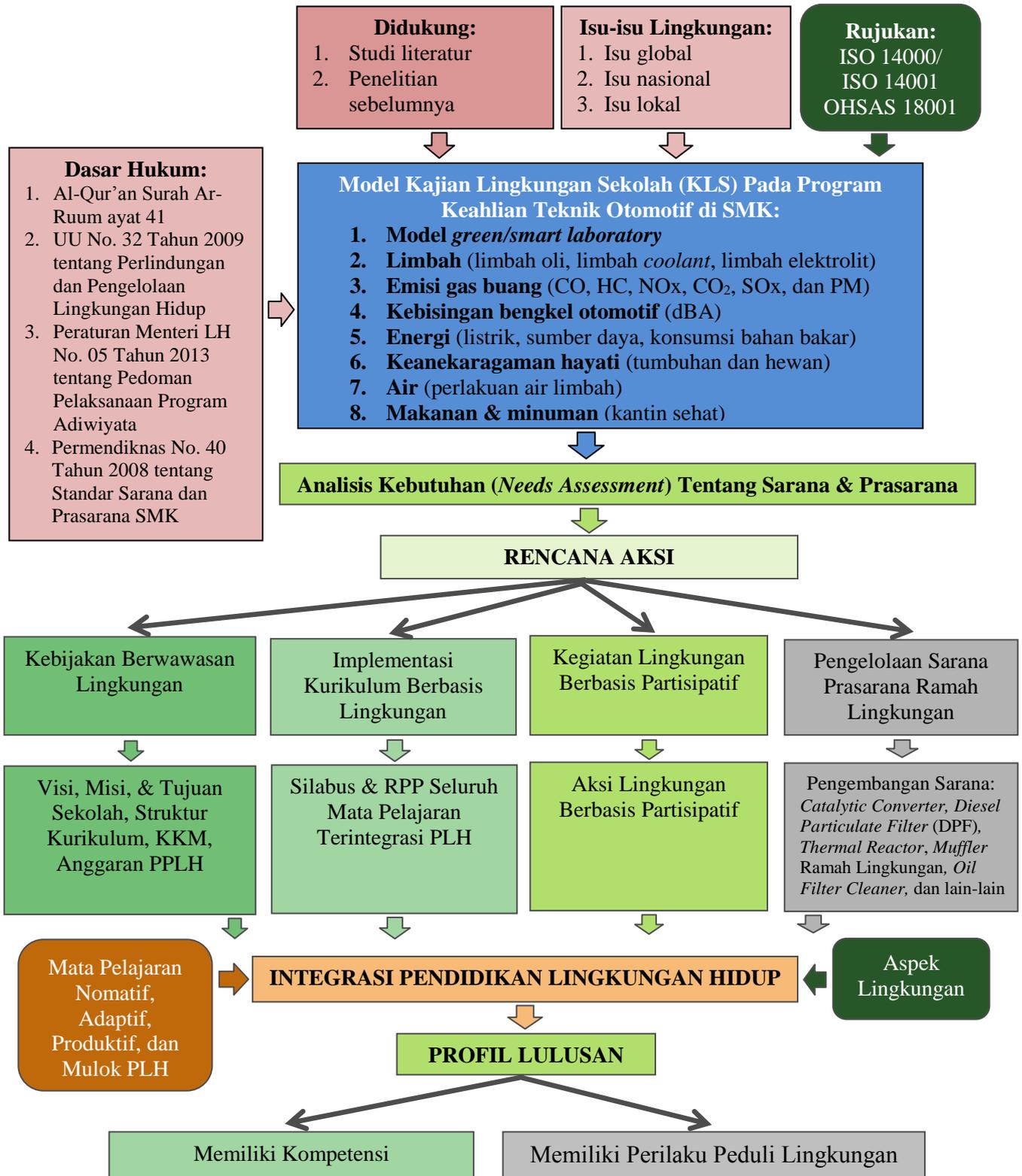
Gambar 46. Model Lama Sekolah Adiwiyata (*Green School*) di SMK

Dari Gambar 46 dapat dilihat bahwa model sekolah hijau (*green school*) di SMK selama ini hanya mengacu pada 2 dasar hukum, yaitu: (1) UU No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, dan (2) Peraturan Menteri LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata. Dalam implementasi sekolah hijau (*green school*) di lapangan, SMK lebih banyak merujuk pada Lampiran III Peraturan Menteri LH tersebut, yaitu: 1) Petunjuk Teknis Pencapaian Sekolah Adiwiyata, dan 2) Petunjuk Teknis Penilaian Sekolah Adiwiyata.

Sayangnya, PLH yang ada di SMK selama ini tidak didasari oleh hasil kajian lingkungan yang komprehensif, analisis kebutuhan (*need assessment*), isu global (SDGs, pemanasan global, perubahan iklim, pencemaran lingkungan, dan lain-lain), isu nasional, dan isu lokal. Berdasarkan hasil penelitian, mata pelajaran wajib yang diintegrasikan dengan PLH di SMK hanya terbatas pada mata pelajaran normatif, adaptif, dan muatan lokal (mulok) PLH yang dilaksanakan secara monolitik. Padahal, untuk SMK, mata pelajaran produktif merupakan ciri khas yang membedakannya dengan sekolah umum.

Selain itu, SMK juga kurang dalam hal pengembangan sarana ramah lingkungan berbasis teknologi sehingga aktivitas lingkungan belum mengarah pada bidang/paket keahlian yang ada di sekolah. Oleh karena itu, sangatlah wajar jika di SMK selama ini, aspek perilaku peduli lingkungan hidup belum mendapatkan perhatian dan belum menjadi salah satu penilaian. Selama ini, prestasi siswa hanya diukur dari aspek sikap, pengetahuan, dan keterampilan yang mengarah pada kompetensi saja dan belum mengukur perilaku peduli lingkungan hidup.

S. Kerangka Berfikir



Gambar 47. Model Baru Sekolah Adiwiyata (*Green School*) di SMK

Dari Gambar 47 dapat dilihat bahwa idealnya model sekolah hijau (*green school*) di SMK seharusnya merujuk pada isu-isu lingkungan, baik isu global (SDGs, pemanasan global, perubahan iklim, pencemaran lingkungan, dan lain-lain), isu nasional, dan isu lokal (kespesifikan lokal). Terdapat 4 dari 17 tujuan pembangunan berkelanjutan (*the seventeen sustainable development goals/SDGs*) yang berkaitan dengan pengembangan model ideal sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK. Pertama, tujuan SDGs ke-3 yaitu menjamin kehidupan yang sehat dan mempromosikan kesejahteraan bagi semua pada segala usia. Kedua, tujuan SDGs ke-6 yaitu memastikan ketersediaan dan pengelolaan air yang berkelanjutan serta sanitasi untuk semua. Ketiga, tujuan SDGs ke-13 yaitu mengambil tindakan yang mendesak untuk menanggulangi perubahan iklim dan dampaknya. Keempat, Tujuan SDGs ke-4 yaitu melindungi, memulihkan, dan mempromosikan pemanfaatan ekosistem darat yang berkelanjutan, mengelola hutan secara lestari, memerangi penggurunan, membalikkan degradasi lahan dan menghentikan hilangnya keanekaragaman hayati. Selain itu, pengembangan model sekolah hijau (*green school*) di SMK seharusnya didukung oleh literatur dan hasil penelitian terkini sehingga dihasilkan model ideal sekolah hijau (*green school*) di Indonesia.

Kajian lingkungan sekolah (KLS) yang komprehensif harus dilakukan untuk mencari model *green/smart laboratory*, potensi limbah, emisi gas buang, kebisingan bengkel otomotif, penggunaan energi, kondisi keanekaragaman hayati, sanitasi (pengelolaan air limbah), dan pengelolaan kantin sehat. Penyusunan KLS pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK dilakukan dengan cara

melakukan survei tentang kebutuhan konsumsi bahan bakar untuk kepentingan proses belajar mengajar di Bengkel Otomotif SMK (lampiran 3) dan kebutuhan bahan bakar pada kendaraan bermotor seluruh warga sekolah untuk moda transportasi pulang dan pergi ke sekolah dalam satuan liter per tahun (lampiran 4 dan 5). Hasil dari survei konsumsi bahan bakar tersebut digunakan untuk menghitung potensi total beban emisi seperti CO, HC, NO_x, SO_x, PM₁₀ dan CO₂ yang disumbangkan oleh sekolah ke atmosfer dalam satuan ton/tahun. Untuk mengetahui tingkat kebisingan di bengkel otomotif, juga diperlukan survey kebisingan di bengkel otomotif (*automotive workshop*) DU/DI (lampiran 6) dan di bengkel otomotif SMK Semen Gresik (lampiran 7). Selain itu, diperlukan juga survey tentang limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) yang dihasilkan oleh sekolah (lampiran 7) yang dapat menunjuk pada ISO 14000 atau ISO 14001 tentang Standar Manajemen Lingkungan dan OHSAS 18001: 2007 tentang SMK3.

Selanjutnya, sekolah perlu melakukan analisis kebutuhan (*needs assessment*) tentang sarana ramah lingkungan untuk mereduksi potensi emisi gas buang, opasitas gas buang, kebisingan, konsumsi bahan bakar, dan limbah oli (lampiran 8). Untuk itu, diperlukan survey tentang sarana ramah lingkungan di DU/DI (lampiran 6) dalam hal perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Setelah itu, diperlukan juga survey tentang sarana dan prasarana ramah lingkungan di sekolah (lampiran 7) dalam hal perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Hasil survey di DU/DI dan di sekolah kemudian dibandingkan untuk kemudian dicari skala prioritas sarana ramah lingkungan mana yang perlu dikembangkan di sekolah

untuk mereduksi potensi emisi gas buang, opasitas gas buang, tingkat kebisingan, konsumsi bahan bakar, dan limbah oli yang dihasilkan.

Kemudian merencanakan rencana aksi (*action plan*) untuk mengembangkan model sekolah hijau (*green school*) di SMK dengan mengacu pada keempat komponen adiwiyata, yaitu: (1) kebijakan sekolah berwawasan lingkungan, (2) pelaksanaan kurikulum berbasis lingkungan, (3) kegiatan lingkungan berbasis partisipatif, dan (4) pengelolaan sarana ramah lingkungan. SMK dapat merujuk pada 4 dasar hukum implementasi sekolah hijau (*green school*), yaitu: (1) Al-Qur'an Surah Ar-Ruum ayat 45 tentang penyebab kerusakan lingkungan hidup, (2) UU No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, (3) Peraturan Menteri LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata, dan (4) Permendiknas No. 40 Tahun 2008 tentang Standar Sarana dan Prasarana SMK.

Untuk mengembangkan kebijakan sekolah berwawasan lingkungan pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK, yang perlu dilakukan sekolah adalah: (1) menyusun visi, misi, dan tujuan sekolah agar mencakup 3 fungsi PPLH, (2) menggunakan dokumen kajian lingkungan sekolah (KLS) untuk perencanaan kebijakan, (3) menyusun kebijakan sekolah dalam mengintegrasikan pelajaran lingkungan hidup pada semua mata pelajaran, baik normatif, adaptif maupun produktif, (4) membuat kebijakan peningkatan sumber daya manusia, (5) membuat kebijakan sekolah yang mendukung lingkungan sekolah yang bersih dan sehat, (6) menyusun kebijakan sekolah untuk pengalokasian dan penggunaan dana kegiatan yang terkait dengan lingkungan hidup, (7) pengembangan kurikulum berbasis

lingkungan hidup, dan (8) menyusun Kriteria Kekuntasan Minimal (KKM) untuk seluruh mata pelajaran terintegrasi PLH.

Untuk mengembangkan implementasi kurikulum berbasis lingkungan pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK, yang perlu dilakukan sekolah adalah: (1) pengembangan silabus dan RPP terintegrasi PLH, (2) pengembangan model pembelajaran lintas mata pelajaran., (3) pengendalian dan pengembangan materi serta persoalan lingkungan hidup yang ada di masyarakat sekitar, (4) pengembangan metode belajar berbasis lingkungan dan budaya, (5) pengembangan kegiatan ekstrakurikuler untuk peningkatan pengetahuan dan kesadaran siswa tentang lingkungan hidup.

Untuk mengembangkan kegiatan lingkungan berbasis partisipatif pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK, yang perlu dilakukan sekolah adalah: (1) menciptakan kegiatan ekstrakurikuler di bidang lingkungan hidup yang bersifat partisipatif di sekolah, (2) mengikuti kegiatan aksi lingkungan hidup oleh pihak luar, (3) membangun dan memprakarsai kegiatan kemitraan dalam pengembangan lingkungan hidup di sekolah, dan (4) mengintegrasikan tugas sekolah untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan hidup yang ada di sekolah/bengkel/laboratorium yang bersifat partisipatif dan lintas disiplin ilmu.

Untuk mengembangkan dan mengelola sarana dan prasarana ramah lingkungan pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK, yang perlu dilakukan sekolah adalah: (1) membuat model *green/smart laboratory* yang dapat mengacu pada *US Green Building Council (USGBC)* dan *The Environmental Protection Agency (EPA)*; (2) pengembangan sistem pengelolaan sampah, seperti: komposter,

takakura, dan biopori; (3) pengembangan teknologi pengelolaan limbah cair, seperti: Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dan *oil filter cleaner*. Instrumen pengujian teknologi *oil filter cleaner* seperti ditunjukkan pada lampiran 9; (4) pengembangan teknologi reduksi emisi gas buang kendaraan bermotor, seperti: *catalytic converter*, *diesel particulate filter* (DPF), dan *thermal reactor*. Instrumen pengujian teknologi *metallic catalytic converter* dan *diesel particulate filter* (DPF) seperti ditunjukkan pada lampiran 9; (5) pengembangan teknologi pengendalian kebisingan, seperti: *muffler* ramah lingkungan (*eco-muffler*). Instrumen pengujian teknologi *eco-muffler* seperti ditunjukkan pada lampiran 9; (6) pengembangan fungsi sarana pendukung sekolah yang ada untuk pendidikan lingkungan hidup, (7) peningkatan kualitas lingkungan hidup di dalam dan di luar kawasan sekolah, (8) penghematan sumber daya alam (energi, listrik, air), dan (9) peningkatan kualitas pelayanan makanan sehat.

Sedangkan pendidikan lingkungan hidup (PLH) diintegrasikan ke seluruh mata pelajaran, baik mata pelajaran normatif, adaptif, maupun produktif. Jadi, konten materi pelajaran produktif tidak hanya mengajarkan konten materi pelajaran kejuruan saja, namun juga diintegrasikan dengan topik-topik lingkungan yang terkait.

Untuk lulusan sekolah hijau (*green school*) idealnya tidak hanya diukur dari segi kompetensinya saja, namun juga perilaku peduli terhadap lingkungannya. Lulusan sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif diharapkan tidak hanya memiliki sikap, pengetahuan, dan keterampilan di bidang otomotif saja, namun juga berwawasan lingkungan.

T. Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan kerangka berfikir di atas, pertanyaan penelitian yang diangkat adalah:

1. Seperti apakah model kajian lingkungan sekolah (KLS) yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK?
2. Bagaimana pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* yang dapat mereduksi emisi gas buang, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK?
3. Bagaimana pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) yang dapat mereduksi opasitas gas buang, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK?
4. Bagaimana pengembangan teknologi *eco-muffler* yang dapat mereduksi kebisingan kendaraan bermotor pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK?
5. Bagaimana pengembangan teknologi *oil filter cleaner* yang dapat mereduksi limbah oli pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK?
6. Seperti apakah model ideal sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK?

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap praksis pelaksanaan sekolah adiwiyata (*green school*) yang selama ini ada di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) guna untuk mengembangkan model sekolah hijau (*green school*) yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK. Oleh karena itu, jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian & pengembangan, yang biasa disingkat R & D. Alasan penggunaan metode tersebut karena metode R & D dalam banyak hal sering digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dalam bidang pendidikan dan pembelajaran serta menguji keefektivan produk yang dihasilkan.

Metode penelitian dan pengembangan (R & D) termasuk penelitian kombinasi *sequential mixed approaches*. Dikatakan *sequential mixed approaches* karena ada dua tahap kegiatan yang berurutan. Kegiatan tahap pertama adalah melakukan *research* (R) untuk menghasilkan rancangan produk dan kegiatan tahap kedua adalah melakukan *development* (D) untuk membuat produk rancangan dan mengujinya (Creswell, 2009).

Dalam penelitian ini, digunakan pendekatan campuran (*mixed approach*), yaitu pendekatan kualitatif-kuantitatif. Pendekatan kualitatif studi kasus digunakan karena peneliti menentukan terlebih dahulu kekhasan sekolah model yang akan dikembangkan, yaitu SMK Semen Gresik, Jawa Timur. Alasannya adalah: (1)

sekolah ini merupakan sekolah adiwiyata (*green school*) tingkat nasional pada tahun 2012; (2) sekolah ini telah menjadi sekolah adiwiyata (*green school*) tingkat mandiri pada tahun 2014 yang telah menjadi sekolah rujukan pengembangan sekolah adiwiyata (*green school*) bagi sekolah-sekolah lainnya; dan (3) sekolah ini mendapatkan dukungan penuh dari Semen Gresik Foundation (SGF) yang saat ini telah berubah nama menjadi Semen Indonesia Foundation (SIF). Sedangkan pendekatan kuantitatif digunakan dalam penelitian ini karena dihasilkan data-data kuantitatif dari hasil pengujian teknologi otomotif ramah lingkungan untuk menentukan efektivitas dari produk yang dikembangkan.

Secara umum tujuan dari R & D tidak dimaksudkan untuk menguji teori, akan tetapi untuk menghasilkan atau mengembangkan produk tertentu, misalnya model sekolah. Melalui penelitian dan pengembangan ini diharapkan akan dihasilkan model sekolah hijau (*green school*) yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat

Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dalam R & D adalah penentuan lokasi, alasan fenomena sosial atau peristiwa yang terjadi di lokasi, atau mungkin adanya kekhasan lokasi yang akan diteliti. Penelitian ini dilaksanakan di SMK Semen Gresik, Jawa Timur yang sudah berstatus sebagai sekolah adiwiyata (*green school*) tingkat nasional dan mandiri.

Alasan pemilihan SMK Semen Gresik sebagai tempat penelitian adalah:

(1) pada tahun 2012, SMK Semen Gresik telah memperoleh penghargaan sebagai sekolah adiwiyata (*green school*) tingkat nasional; (2) pada tahun 2014, SMK Semen Gresik telah dinobatkan menjadi sekolah adiwiyata (*green school*) mandiri oleh Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia; dan (3) penelitian ini mendapatkan dukungan finansial dari Semen Indonesia Foundation (SIF) untuk mengembangkan model di SMK Semen Gresik. Artinya, sekolah ini dilihat dari keempat komponen adiwiyata, yaitu: (1) kebijakan berwawasan lingkungan, (2) pelaksanaan kurikulum berbasis lingkungan, (3) kegiatan lingkungan berbasis partisipatif, dan (4) pengelolaan sarana pendukung ramah lingkungan sudah tergolong sangat baik sehingga pengembangan model sekolah hijau (*green school*) yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK akan lebih mudah dilaksanakan.

Dari hasil observasi terhadap prasarana sekolah terlihat bahwa SMK Semen Gresik telah memelihara tiga (3) prasarana ramah lingkungan sesuai fungsinya, yaitu:

- a. Ruang memiliki pengaturan cahaya dan ventilasi udara secara alami.
- b. Pemeliharaan dan pengaturan pohon peneduh dan penghijauan.
- c. Menggunakan paving block dan rumput untuk mencegah banjir.

Di sisi lain, terdapat sejumlah inovasi warga sekolah dalam menciptakan sarana ramah lingkungan untuk pembelajaran lingkungan hidup di SMK Semen Gresik, yaitu:

- a. Mesin pencacah sampah organik yang diberi nama “GHILAS”, dimana hak patennya sudah didaftarkan ke Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia.
- b. Mesin penyedot debu “VACREZAQ”.
- c. Mesin pencacah *Munisipal Solid Water* (MSW) menjadi *Refuse Derived Fuel* (DRF) yang diberi nama “SHREDDER”.
- d. Mesin plong plat logam.
- e. Mesin pamarut kelapa mini.
- f. *Composter* untuk membuat pupuk kompos dari sampah organik yang diberi merek “esgepride”.
- g. Lubang Resapan Biopori (LRB). LRB berfungsi untuk mencegah genangan dan banjir; mencegah erosi dan longsor; meningkatkan cadangan air bersih; dan membuat kompos dan menyuburkan tanah.
- h. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang didalamnya terdapat meterial tawas, batu zeolit, ijuk, pasir, batu koral, dan arang. Tawas berfungsi sebagai koagulan. Koagulan ini memperbesar ukuran partikel lumpur dan pertikel lain yang melayang di air sehingga dapat diendapkan. Batu zeolit berfungsi untuk menurunkan kandungan logam besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), dan timbal (Pb) yang terdapat dalam air. Batu zeolit juga mampu menurunkan kadar amoniak dalam air buangan. Ijuk berfungsi untuk menyaring partikel yang lolos dari lapisan penyaring sebelumnya dan meratakan aliran air. Pasir berfungsi untuk menahan endapan lumpur. Batu koral berfungsi sebagai penyaring dan membantu aerasi oksigen.

Sedangkan arang yang permukaannya memiliki pori-pori berfungsi sebagai penyerap partikel halus, bau, dan warna pada air.

- i. Sumur resapan. Sumur resapan berfungsi untuk mengurangi aliran permukaan sehingga dapat mencegah/mengurangi terjadinya banjir dan genangan air, mempertahankan dan meningkatkan tinggi permukaan air tanah, mengurangi erosi dan sedimentasi, mengurangi/menahan intrusi air laut bagi daerah yang berdekatan kawasan pantai, mencegah penurunan tanah (*land subsidence*), dan mengurangi konsentrasi pencemaran air/tanah.
- j. Tempat sampah terpisah (sampah daun, sampah plastik, sampah kertas, dan sampah/limbah logam).
- k. Hutan sekolah (*school forest*) untuk Ruang Terbuka Hijau (RTH) sebagai penghasil oksigen bagi warga sekolah.
- l. *Green house*. *Green house* adalah tempat pembibitan yang berbentuk rumah dan digunakan untuk menyemai benih/kecambah dan penyapihan bibit yang bersifat sementara sampai menjadi bibit yang siap tanam di lapangan. Menyemai merupakan kegiatan untuk menumbuhkan benih/kecambah dalam media pot/*polybag* pada tempat pembibitan. Sedangkan menyapih bibit merupakan memisahkan atau memindahkan bibit dari kelompoknya hingga menjadi tanaman individu dalam suatu wadah tersendiri sesuai dengan ukuran pertumbuhannya.
- m. Tandon penampung air AC. Manfaat air AC dapat digunakan untuk: 1) menyiram tanaman, 2) menambah elektrolit pada accu, 3) mengisi air radiator pada kendaraan yang efektif (menghindari korosif), 4)

membersihkan lantai atau kaca, 5) mencuci, dan 6) mengisi aquarium (untuk menghindari lumut).

- n. Takakura. Takakura adalah sistem pengolahan sampah organik berbasis rumah tangga dengan menggunakan biang berupa pupuk kompos.

2. Waktu

Penelitian dan pengembangan (R & D) ini dilaksanakan mulai bulan Juni 2016 sampai dengan Januari 2018.

C. Subyek Penelitian

Subyek penelitian ini adalah para guru, siswa, tenaga kependidikan, dan petugas layanan khusus di SMK Semen Gresik yang telah mengisi kuesioner perhitungan beban emisi (lampiran 4) sebanyak 361 orang yang terdiri dari 44 orang guru, 308 orang siswa, 6 orang tenaga kependidikan, dan 3 orang petugas layanan khusus sekolah. Subyek penelitian termasuk 1 orang guru sebagai Kepala Bengkel Otomotif yang diwawancarai tentang sarana ramah lingkungan yang ada di SMK Semen Gresik. Selain itu, subyek penelitian adalah 5 orang dari DU/DI yang diwawancarai tentang teknologi otomotif ramah lingkungan yang ada di Agen Tunggal Pemegang Merek (ATPM) atau bengkel otomotif di Jawa Timur, yaitu dari: (1) Auto 2000 HR Muhammad, (2) PT. Astra International Tbk-Daihatsu Waru, (3) PT. Murni Berlian Motors (Mitsubishi), (4) Astra Peugeot HR Muhammad, dan (5) PT. United Motor Center (UMC) Suzuki Madiun.

D. Prosedur Pengembangan

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sebuah model sekolah hijau (*green school*) yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK. Secara umum, R & D dilaksanakan dalam dua tahap. **Pertama**, melakukan penelitian awal dan mengumpulkan informasi untuk merencanakan model sekolah hijau (*green school*) yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK. **Kedua**, melakukan uji coba model di lapangan apakah model tersebut efektif.

Prosedur penelitian dan pengembangan yang akan dipakai dalam penelitian ini mengikuti tahapan yang dikembangkan oleh Borg & Gall (1983). Tahapan-tahapan tersebut terdiri dari sepuluh (10) langkah pelaksanaan penelitian dan pengembangan, yaitu:

1. *Research and Information Collecting*

Kegiatan pada tahap ini meliputi studi pendahuluan dan pengumpulan informasi (mengkaji kepustakaan, pengamatan bengkel/laboratorium, membuat kerangka kerja penelitian). Hasil yang diharapkan dari studi pendahuluan dan pengumpulan data ini adalah data konsumsi bahan bakar untuk kegiatan pembelajaran di bengkel otomotif (dengan mengisi lembar survey di lampiran 3) dan konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor warga sekolah untuk keperluan pergi dan pulang ke sekolah (dengan mengisi kuesioner di lampiran 4) untuk menghitung estimasi total beban emisi di sekolah, data tingkat kebisingan di bengkel otomotif DU/DI (lampiran 6) dan data tingkat kebisingan di bengkel otomotif sekolah (lampiran 7), data limbah saringan oli bekas (*used oil filter*) untuk menghitung estimasi limbah oli yang dibuang di sekolah

(lampiran 7), sarana ramah lingkungan di DU/DI (lampiran 6), sarana dan prasarana ramah lingkungan yang ada di sekolah (lampiran 7), dan analisis kebutuhan (*needs assessment*) tentang sarana ramah lingkungan yang ada di DU/DI dibawah *Department of Health, Safety, and Environment* (HSE) yang akan dikembangkan di sekolah (lampiran 8). *Needs assessment* dilakukan dengan cara melakukan survey langsung di bengkel/industri otomotif (lampiran 6).

2. Planning

Kegiatan pada tahap ini meliputi merumuskan tujuan penelitian, memperkirakan dana dan waktu yang diperlukan, prosedur kerja penelitian, teknologi ramah lingkungan yang akan dikembangkan, dan berbagai bentuk partisipasi kegiatan selama kegiatan penelitian. Berdasarkan hasil analisis kebutuhan (*needs assessment*) yang telah dilakukan, maka telah diketahui dan disetujui teknologi otomotif yang direncanakan akan dikembangkan di SMK Semen Gresik, yaitu: (a) teknologi *metallic catalytic converter*, (b) teknologi *diesel particulate filter* (DPF), (c) teknologi *muffler* ramah lingkungan (*eco-muffler*), dan (d) teknologi *oil filter cleaner*.

3. Develop Preliminary Form of Product

Kegiatan pada tahap ini adalah mengembangkan produk awal (perancangan draft awal produk). Draft produk awal yang ditargetkan adalah: (1) dokumen kajian lingkungan sekolah (KLS) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK; (2) teknologi reduksi emisi gas buang, seperti *metallic catalytic converter*; (3) teknologi reduksi opasitas gas buang, seperti *diesel*

particulate filter (DPF); (4) teknologi pengendalian kebisingan, seperti *muffler* ramah lingkungan (*eco-muffler*); dan teknologi pengelolaan limbah oli, seperti *oil filter cleaner*.

4. *Preliminary Field Testing*

Kegiatan pada tahap ini adalah mencobakan draft produk ke wilayah dan subyek yang terbatas. Uji coba awal dilaksanakan di SMK Semen Gresik, Jawa Timur. Prototipe teknologi yang diujicobakan adalah *metallic catalytic converter*, *diesel particulate filter* (DPF), *muffler* ramah lingkungan (*eco-muffler*), dan *oil filter cleaner*.

5. *Main Product Revision*

Kegiatan pada tahap ini adalah revisi untuk menyusun produk utama (revisi produk berdasarkan hasil uji coba awal).

6. *Main field Testing*

Kegiatan pada tahap ini adalah uji coba terhadap produk hasil revisi ke wilayah dan subyek yang lebih luas. Uji lapangan utama dilaksanakan di SMK Semen Gresik, Jawa Timur.

7. *Operational product revision*

Kegiatan pada tahap ini adalah melakukan revisi untuk menyusun produk operasional.

8. *Operational field testing*

Kegiatan pada tahap ini adalah uji efektivitas produk. Uji efektivitas produk dilaksanakan di SMK Semen Gresik, Jawa Timur.

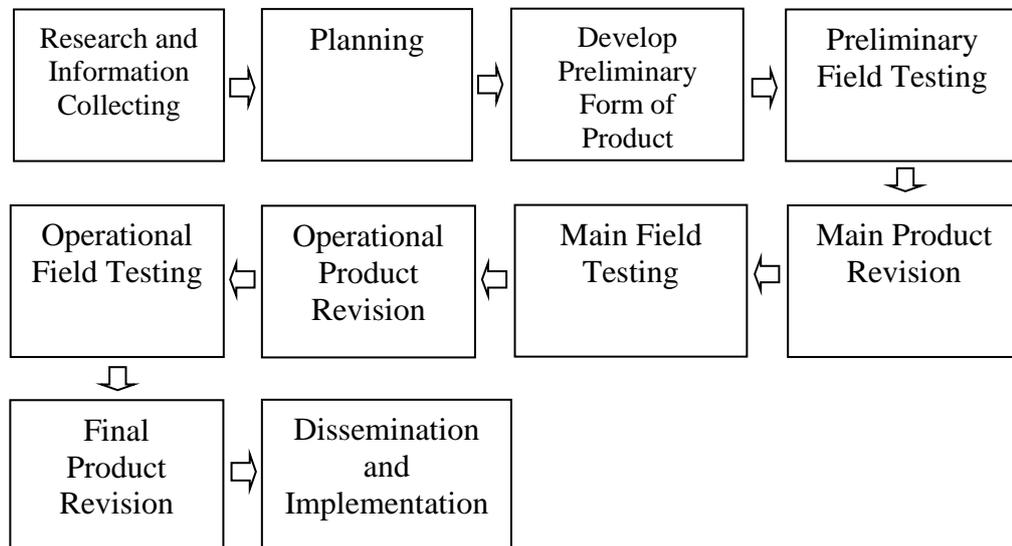
9. *Final product revision*

Kegiatan pada tahap ini adalah melakukan revisi produk agar efektif dan *applicable*.

10. *Dissemination and implementation*

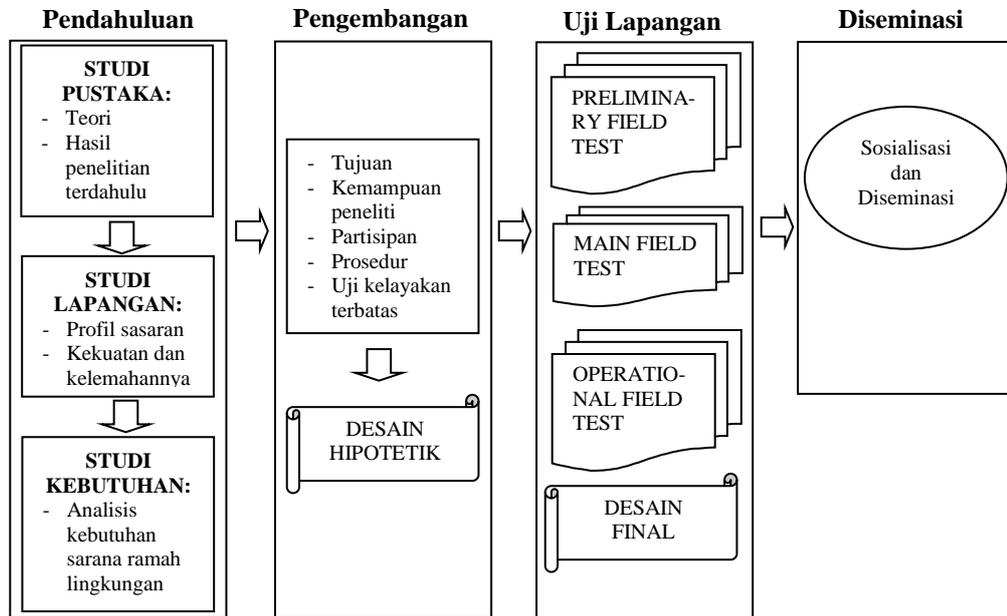
Kegiatan pada tahap ini adalah diseminasi dan implementasi produk hasil pengembangan. Kegiatan diseminasi dilakukan dengan cara mempublikasikan hasil penelitian pada jurnal internasional bereputasi dan/atau melalui forum seminar/konferensi internasional/nasional dan/atau workshop di sekolah-sekolah adiwiyata.

Kesepuluh langkah-langkah penelitian dan pengembangan (R & D) menurut Borg & Gall tersebut dapat digambarkan seperti Gambar 48.



Gambar 48. Langkah-langkah Penelitian dan Pengembangan Menurut Borg & Gall (1983)

E. Diagram Alur Penelitian dan Pengembangan



Gambar 49. Diagram Alur Penelitian dan Pengembangan
 Sumber: Diadaptasi dari Ghufron, Purbani, & Sumardiningih (2007)

Gambar 49 di atas menunjukkan bahwa model penelitian dan pengembangan merupakan suatu model penelitian yang relevan untuk meningkatkan dan mengembangkan mutu pendidikan. Empat tahap penelitian yang ada, memungkinkan para peneliti mampu mengembangkan berbagai model, pendekatan atau strategi pembelajaran, atau tindakan lainnya di bidang pendidikan dan pembelajaran untuk memperbaiki dan mengembangkan mutu pendidikan dan pembelajaran.

Kegiatan penelitian adalah mengembangkan produk dan melakukan uji validasi (uji lapangan) hasil pengembangan. **Pertama**, melakukan pembuatan dan pengembangan prototipe model untuk kepentingan peningkatan dan pengembangan mutu pembelajaran. **Kedua**, melakukan uji validitas terhadap prototipe model

tersebut di lapangan, agar diperoleh model pengembangan yang efektif dan *applicable*.

1. Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan merupakan langkah awal dalam melaksanakan penelitian dengan model penelitian ini. Bahkan, ada pakar yang secara ekstrem mengatakan bahwa studi pendahuluan merupakan tahap krusial dan urgen bagi kelancaran dan keberhasilan penelitian. Hasil studi pendahuluan ini biasanya dipakai sebagai acuan dalam perumusan masalah dan penajaman fokus penelitian berdasarkan data empirik di lapangan, pemantapan teori, dan pemahaman kondisi empirik di mana penelitian hendak dilakukan.

Studi pendahuluan dilakukan dalam dua bentuk, yaitu studi pustaka dan survei terhadap kondisi empirik di mana masalah pendidikan dan pembelajaran terjadi. Kedua, kegiatan tersebut adakalanya dilakukan secara simultan, namun tidak menutup kemungkinan dilakukan secara linear. Artinya, setelah melakukan kajian teori kemudian melakukan survei lapangan untuk mengetahui kondisi nyata di lapangan sebagai tempat berlangsungnya aktivitas pendidikan dan pembelajaran yang menjadi pusat perhatian peneliti.

Hasil yang diharapkan dari studi pendahuluan dan pengumpulan data ini adalah data konsumsi bahan bakar untuk kegiatan pembelajaran di bengkel otomotif (lampiran 3) dan konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor warga sekolah untuk keperluan pergi dan pulang ke sekolah untuk menghitung estimasi total beban emisi di sekolah (lampiran 4 dan 5), data tingkat kebisingan

di bengkel otomotif DU/DI (lampiran 6) dan data tingkat kebisingan di bengkel otomotif sekolah (lampiran 7), data limbah saringan oli bekas (*used oil filter*) untuk menghitung estimasi limbah oli yang dibuang di sekolah (lampiran 7), sarana dan prasarana ramah lingkungan yang ada di sekolah (lampiran 7).

Pada tahap ini, juga dilakukan analisis kebutuhan (*needs assessment*) tentang sarana ramah lingkungan yang ada di DU/DI di bawah *Department of Health, Safety, and Environment* (HSE) (lampiran 6). *Needs assessment* dilakukan dengan cara survei langsung tentang sarana ramah lingkungan di bengkel/industri otomotif (lampiran 6). Secara lebih detail, departemen HSE yang akan disurvei seperti disajikan pada Tabel 11 berikut ini.

Tabel 11. Daftar ATPM dan Bengkel Otomotif yang Disurvei

| No. | Nama Bengkel | PIC | Jabatan |
|-----|--|--------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Auto 2000 HR. Muhammad (Toyota) | Suparna, S.Pd. | Head of Service Department |
| 2 | Astra Peugeot HR. Muhammad | Hery Suryo | Head of Service Department |
| 3 | PT. United Motor Center (Suzuki) | Eko Mardyanto, S.Pd., M.Pd. | Branch Manager |
| 4 | Astra Daihatsu Waru | Aidil F. B. Swastomo | Head of Service Department |
| 5 | PT. Murni Berlian Motors (Mitsubishi) | Sudarsono, S.E., M.M. | Branch Manager |

Setelah fokus masalah diketahui, teori-teori yang melingkupi masalah dikaji, dan berbagai data empirik pendukung diambil dari tempat terjadinya masalah. Dari kegiatan pendahuluan ini akan diketahui kebutuhan sarana ramah lingkungan di sekolah (*needs assessment*) yang merupakan sarana ramah lingkungan yang ada di DU/DI (*what should be*) dikurangi sarana ramah lingkungan yang ada di sekolah (*what is*). Skala prioritas teknologi otomotif

ramah lingkungan mana yang akan dikembangkan di sekolah berdasarkan apa yang dapat dilakukan (*what can be*) dikurangi dengan sarana ramah lingkungan yang telah ada di sekolah (*what is*). Dapat dikatakan bahwa peneliti telah memiliki modal atau bahan-bahan untuk digunakan dalam memilih dan menentukan teknologi ramah lingkungan sebagai model sekolah hijau (*green school*) yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK untuk dikembangkan prototipenya. Hasil analisis kebutuhan (*needs assessment*) tentang teknologi otomotif ramah lingkungan di SMK Semen Gresik dapat dilihat pada lampiran 8. Dengan demikian, peneliti telah melaksanakan satu tahap yang menentukan bagi tahap-tahap berikutnya.

2. Pengembangan Prototipe

Setelah model sebagai solusi alternatif untuk memecahkan masalah berdasarkan studi pendahuluan ditetapkan, kemudian peneliti perlu segera melanjutkan kegiatan untuk mengembangkan (membuat) prototipenya.

Dalam proses pengembangan prototipe ini peneliti dapat membuat sendiri atau memodifikasi terhadap produk-produk pendidikan dan pembelajaran yang sudah ada atau tersedia. Hasil dari tahap ini adalah diperolehnya draft prototipe model yang siap diujikan di lapangan.

Ada beda aktivitas yang dilakukan peneliti dalam pengembangan prototipe model jika peneliti membuat sendiri prototipe model dibandingkan peneliti melakukan modifikasi terhadap produk-produk pendidikan dan pembelajaran yang tersedia. Apabila peneliti membuat sendiri modelnya, maka

peneliti akan membuatnya sendiri sebagaimana prosedur yang berlaku. Namun apabila peneliti memilih melakukan modifikasi terhadap produk-produk yang tersedia, maka peneliti tinggal menyesuaikan beberapa aspek atau prosedur kerja sesuai dengan situasi dan kondisi yang dikehendaki.

Proses pengembangan prototipe model perlu memperhatikan beberapa hal, antara lain:

- a. Menggunakan prosedur baku operasional sebagaimana yang dituntut oleh model yang hendak dikembangkan.
- b. Apabila peneliti ingin melakukan modifikasi produk-produk pendidikan yang sudah tersedia, maka produk-produk yang dimodifikasi harus terlebih dahulu dikemukakan, sehingga jelas aspek-aspek dan tindakan-tindakan atau langkah-langkah yang dimodifikasi.
- c. Apabila prototipe hasil pengembangan terwujud, maka prototipe tersebut perlu dikonsultasikan ke ahli, baik ahli media maupun ahli materi.

Teknologi ramah lingkungan di bidang otomotif yang dikembangkan di SMK merupakan temuan baru (*invention*) dalam penelitian ini.

Spesifikasi produk/prototipe yang dihasilkan pada tahap ini adalah:

- a. Model kajian lingkungan sekolah (KLS) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.
- b. Teknologi *metallic catalytic converter* untuk mereduksi emisi gas buang kendaraan berbahan bakar bensin di bengkel otomotif SMK.
- c. Teknologi *diesel particulate filter* (DPF) untuk mereduksi opasitas gas buang kendaraan berbahan bakar solar di bengkel otomotif SMK.

- d. Teknologi *eco-muffler* untuk mereduksi kebisingan kendaraan berbahan bakar bensin dan solar di bengkel otomotif SMK.
- e. Teknologi *oil filter cleaner* untuk mereduksi limbah oli di bengkel otomotif SMK.

Tahapan kegiatan ini dapat dikatakan sebagai tahap awal pengembangan produk pendidikan dan pengembangan dalam bentuk prototipe. Target akhir dari tahap kegiatan ini adalah diperolehnya draft prototipe hipotetik yang siap diujikan di lapangan, yaitu:

- a. Teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan untuk mereduksi emisi gas buang kendaraan berbahan bakar bensin di bengkel otomotif SMK.
- b. Teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* untuk mereduksi opasitas gas buang kendaraan berbahan bakar solar di bengkel otomotif SMK.
- c. Teknologi *eco-muffler* dengan jenis *straight-through type muffler* yang dikombinasikan dengan *glasswool* untuk mereduksi kebisingan kendaraan berbahan bakar bensin dan solar di bengkel otomotif SMK.
- d. Teknologi *oil filter cleaner* untuk mereduksi limbah oli di bengkel otomotif SMK.

3. Uji Lapangan

Ada tiga bentuk uji lapangan yang dilakukan secara berurutan terhadap prototipe model sebagai hasil dari tahap pengembangan. Pertama, uji coba awal (*preliminary field test*). Kedua, uji lapangan utama (*main field test*). Ketiga, uji

lapangan operasional (*operational field test*). Setiap uji lapangan dilaksanakan secara berulang-ulang dan direvisi, sampai ditemukan produk prototipe yang mantap sebelum menuju pada tahap uji lapangan berikutnya.

Uji coba awal bertujuan untuk memperoleh bukti-bukti empirik tentang kelayakan proses pelaksanaan atau prosedur kerja dari model/prototipe secara terbatas, baik subyek maupun aspek-aspeknya. Pola uji lapangannya dalam bentuk mencobakan produk awal/prototipe tersebut ke sekolah, dengan langkah-langkah: draft awal, implementasi, evaluasi, dan revisi. Uji coba awal prototipe teknologi ramah lingkungan meliputi 4 jenis, seperti: (1) *metallic catalytic converter*, (2) *diesel particulate filter* (DPF), (3) *muffler* ramah lingkungan (*eco-muffler*), dan (4) *oil filter cleaner*, dilakukan dengan cara eksperimen dengan membandingkannya dengan kelompok kontrol (standar).

- a. Uji coba awal teknologi *metallic catalytic converter* dilaksanakan dengan cara eksperimen dengan membandingkannya dengan kelompok kontrol (standar). Teknologi ini digunakan untuk mereduksi emisi gas buang CO dan HC dari kendaraan berbahan bakar bensin. Metode pengujian emisi gas buang pada kendaraan berbahan bakar bensin dilakukan pada kondisi putaran *idle* berdasarkan SNI 09-7118.1-2005 dengan menggunakan alat ukur yang disebut *exhaust gas analyzer* dan instrumen serta peralatan pendukung seperti: *thermocouple*, *digital thermometer*, *digital tachometer*, *U-tube manometer*, *fuel flow meter*, *stopwatch*, dan *blower*.
- b. Uji coba awal teknologi *diesel particulate filter* (DPF) dilaksanakan dengan cara eksperimen dengan membandingkannya dengan kelompok kontrol

(standar). Teknologi ini digunakan untuk mereduksi opasitas (kepekatan asap) gas buang berupa PM_{2,5} dan PM₁₀ dari kendaraan berbahan bakar solar. Metode pengujian opasitas gas buang pada kendaraan berbahan bakar solar berdasarkan SNI 09-17118.2-2005, yaitu dengan putaran mesin diakselerasi tanpa beban (*free running acceleration*) sesuai SAE-J1667 (*snag acceleration test procedure*), dengan menggunakan alat ukur yang disebut *smoke opacity meter* dan instrumen serta peralatan pendukung seperti: *thermocouple*, *digital thermometer*, *digital tachometer*, *U-tube manometer*, *fuel flow meter*, *stopwatch*, dan *blower*.

- c. Uji coba awal teknologi *muffler* ramah lingkungan (*eco-muffler*) dilaksanakan dengan cara eksperimen dengan membandingkannya dengan kelompok kontrol (standar). Teknologi ini digunakan untuk mereduksi kebisingan (*noise level*) dari kendaraan berbahan bakar bensin dan solar. Pengukuran tingkat kebisingan dilakukan berdasarkan standar ISO/FDIS 5130:2006(E). Metode pengujian kebisingan dilakukan dengan transmisi pada kondisi netral dan kopling tidak bekerja serta *throttle* dibuka sebesar setengah dari putaran mesin maksimum. Pengujian kebisingan dengan menggunakan alat ukur yang disebut *sound level meter* (SLM) dan instrumen serta peralatan pendukung seperti: *thermocouple*, *digital thermometer*, *digital tachometer*, *U-tube manometer*, dan *blower*.
- d. Uji coba awal *oil filter cleaner* dilakukan untuk melihat apakah alat tersebut berfungsi dengan baik dalam membersihkan saringan oli bekas (*used oil filter*) untuk mereduksi limbah oli di bengkel otomotif SMK.

Semua kejadian selama uji coba awal ini dicatat (proses dan hasil) dan akan digunakan untuk bahan perbaikan prototipe model. Uji coba awal dilakukan di SMK Semen Gresik, Jawa Timur.

Uji lapangan utama, baik dari sisi subyek maupun aspek-aspeknya bertujuan untuk mengetahui tingkat kelayakan proses pelaksanaan model/prototipe dan dampak atau kemajuan yang diperoleh sebagai hasil dari pelaksanaan model/prototipe tersebut. Di sini peneliti dapat menggunakan desain eksperimen lagi yang melibatkan kelompok kontrol sebagai pihak pembanding atas kelompok yang diberikan perlakuan. Uji lapangan pada tahap ini dapat dilakukan secara berulang-ulang sesuai kebutuhan dan dilaksanakan seperti uji coba awal. Uji lapangan utama terhadap teknologi ramah lingkungan yang dikembangkan dapat dilakukan dengan variasi putaran mesin untuk melihat trend emisi gas buang kendaraan bermotor dan tingkat kebisingan diberbagai putaran mesin. Hasil uji lapangan pada tahap ini menjadi bahan-bahan untuk merevisi prototipe model sebelum menuju pada tahapan berikutnya. Uji lapangan utama dilakukan di SMK Semen Gresik, Jawa Timur.

Uji lapangan operasional merupakan uji lapangan untuk mengetahui tingkat efektivitas model/prototipe tanpa melibatkan kehadiran peneliti. Dengan demikian, desain penelitian yang dipakai adalah desain eksperimen, yang melibatkan kelompok kontrol sebagai pihak pembanding atas kelompok yang diberikan perlakuan. Uji lapangan operasional dilakukan di SMK Semen Gresik, Jawa Timur.

4. Diseminasi Produk Hasil Pengembangan

Tahap ini bertujuan agar produk yang dikembangkan bisa dipakai oleh masyarakat luas. Inti kegiatan pada tahap ini adalah melakukan sosialisasi produk hasil pengembangan. Hal ini dilaksanakan dengan 3 (tiga) cara, yaitu:

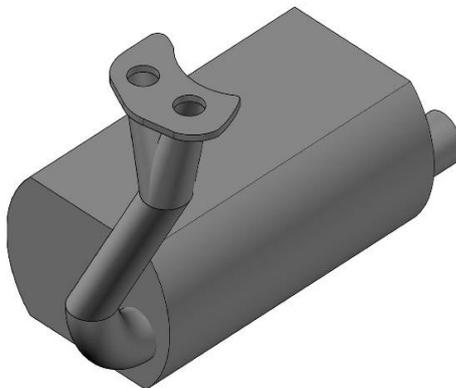
- a. Mempublikasikan hasil penelitian pada jurnal internasional bereputasi.
- b. Mempublikasikan hasil penelitian pada konferensi internasional; dan
- c. Mendiseminasikan hasil penelitian melalui workshop di sekolah-sekolah adiwiyata, khususnya di SMK Semen Gresik.

F. Pengembangan Teknologi *Metallic Catalytic Converter*

1. Pengukuran Dimensi Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K

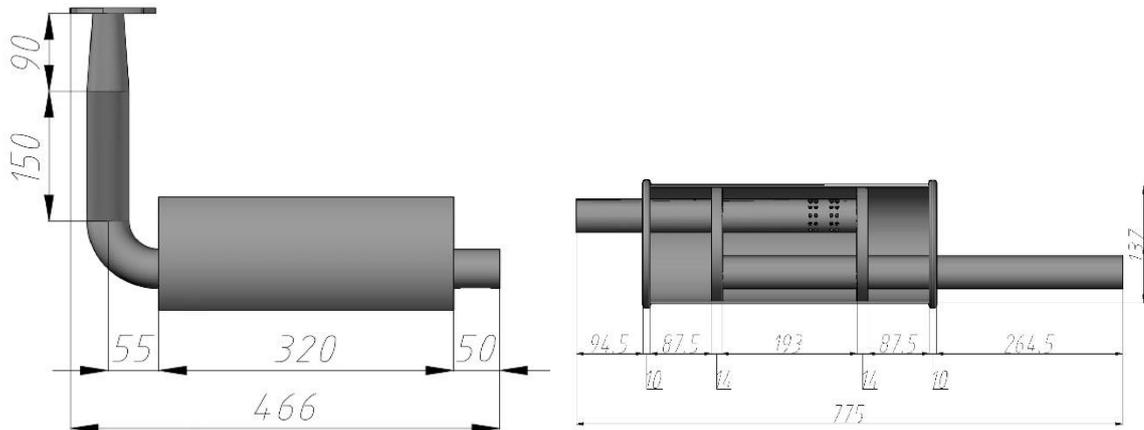
Pengukuran dimensi knalpot standar Toyota Kijang Tipe 7K di SMK Semen Gresik dilakukan dengan cara membelah knalpot tersebut menjadi dua bagian sehingga dapat diketahui dimensi knalpot secara keseluruhan. Proses pembelahan knalpot dilakukan dengan menggunakan mesin gerinda potong.

Knalpot standar Toyota Kijang Tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat dilihat pada gambar 50 berikut ini.



Gambar 50. Knalpot Standar Mesin Toyota Kijang Tipe 7K

Jika dibelah, maka akan tampak potongan knalpot standar Toyota Kijang Tipe 7K seperti pada gambar 51 berikut ini.



(a) (b)
Gambar 51. Potongan Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K:
(a) pandangan samping, (b) pandangan atas

Dari gambar 51 di atas, terlihat bahwa sistem peredam suara (*muffler*) Toyota Kijang Tipe 7K menggunakan desain *two pass tube type muffler* dengan sistem aliran balik (*reverse flow muffler*).

2. Perancangan *Metallic Catalytic Converter* Berbahan Dasar Plat Kuningan

Berdasarkan penelitian Nisa et al., (2016) disimpulkan bahwa penggunaan *metallic catalytic converter* berbahan dasar pipa kuningan (Cu+Zn) pada knalpot sepeda motor dapat mereduksi emisi CO dan HC masing-masing sebesar 47,71% dan 55,34%. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan didesain ulang bentuk *metallic catalytic converter* tersebut menggunakan bentuk sarang

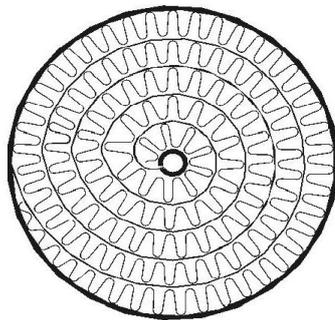
lebah logam (*metallic honeycomb*) berbahan dasar plat kuningan agar didapatkan reduksi emisi CO dan HC yang lebih maksimal.

Cara pembuatan *metallic catalytic converter* adalah plat kuningan dengan tebal 0,15 mm, panjang 1200 mm, dan lebar 360 mm dipotong-potong menjadi ukuran panjang 1200 mm dan lebar 120 mm.

Untuk membuat *metallic catalytic converter* dibutuhkan 12 (dua belas) lembar plat kuningan dengan tebal 0,15 mm, panjang 1200 mm, dan lebar 120 mm. Enam (6) lembar plat kuningan tersebut kemudian dibuat berbengkok-bengkok atau membentuk sebuah lekukan dengan tinggi lekukan 2 mm. Setelah itu, 6 lembar plat kuningan yang telah dibuat lekukan tersebut dengan 6 lembar plat kuningan yang tidak dibuat lekukan digulungkan melebar ke dalam menjadi sebuah spiral dengan bantuan pin yang terbuat dari pipa *stainless steel* berdiameter 6 mm. Hal ini memungkinkan aliran gas buang menjadi laminar di kedua plat kuningan tersebut sehingga dapat meningkatkan konversi gas berbahaya (CO dan HC) menjadi gas yang tidak berbahaya (CO₂ dan H₂O). Dengan begitu akan didapatkan knalpot Toyota Kijang Tipe 7K yang rendah emisi gas buang (*low emission vehicle*).

Metallic catalytic converter yang telah digulung menjadi sebuah spiral tersebut kemudian dimasukkan ke dalam tabung yang terbuat dari plat *stainless steel* tebal 0,8 mm dengan tinggi tabung 120 mm dan diameter 115 mm.

Hasil perancangan *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan dapat dilihat pada Gambar 52 berikut ini.



Gambar 52. *Metallic Catalytic Converter* Berbahan Dasar Plat Kuningan Dengan Tinggi Lekukan 2 mm

Selanjutnya, *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan tersebut dilakukan kalsinasi dengan menggunakan oven untuk lebih mengaktifkan permukaan katalis pada *metallic catalytic converter* agar mampu mereduksi emisi gas buang secara signifikan. Temperatur kalsinasi dibuat bertingkat mulai dari 100°C selama 30 menit, 120°C selama 12 jam, dan 550°C selama 6 jam yang merujuk pada penelitian Kalam, Masjuki, Redzuan, Mahlia, Fuad, Mohibah, Halim, Ishak, Khair, Shahrir, & Yusoff (2009: 473).

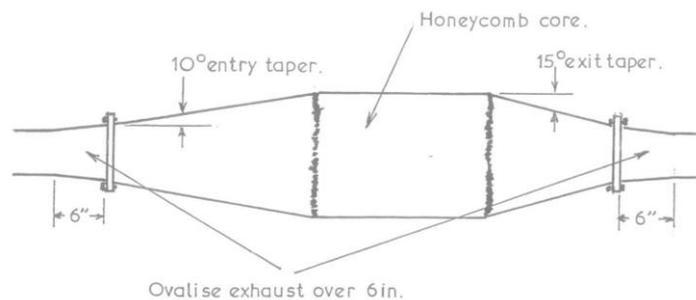
Proses kalsinasi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan dengan menggunakan oven dapat dilihat pada Gambar 53 berikut ini.



Gambar 53. Proses Kalsinasi *Metallic Catalytic Converter* Berbahan Dasar Plat Kuningan Dengan Variasi Temperatur

3. Perancangan *Metallic Catalytic Converter Casing*

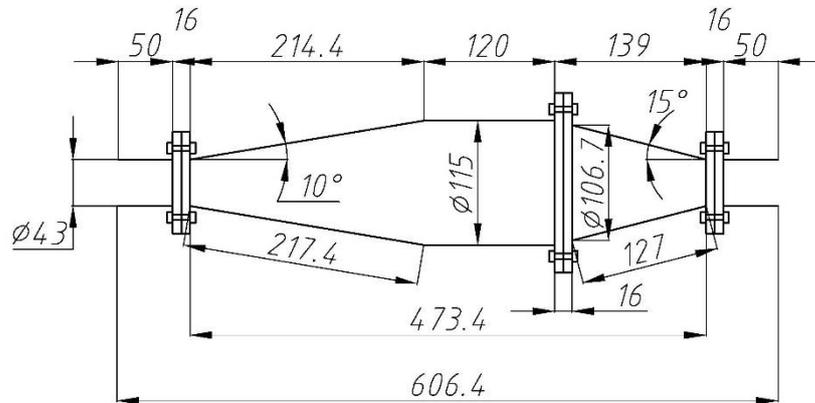
Bentuk rancangan *metallic catalytic converter casing* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang Tipe 7K di SMK Semen Gresik mengacu pada desain yang telah dibuat oleh A. Graham Bell (1998: 299) berikut ini.



Gambar 54. Modifikasi CAT Untuk Memaksimalkan Aliran
Sumber: Bell (1998: 299)

Pada rancangan modifikasi CAT tersebut, diameter pipa sebelum dan sesudah *catalytic converter (honeycomb core)* dibuat tirus, dimana sudut kemiringan pada *diffuser* depan dengan *entry taper* sebesar 10° dan sudut kemiringan pada *diffuser* belakang dengan *exit taper* sebesar 15° . Desain seperti ini dimaksudkan untuk meminimalisir turbulensi aliran gas buang sehingga dapat menurunkan tekanan balik (*back pressure*) yang cenderung merugikan mesin.

Oleh karena itu, rancangan *metallic catalytic converter casing* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang Tipe 7K di SMK Semen Gresik dibuat seperti terlihat pada Gambar 55 berikut ini.

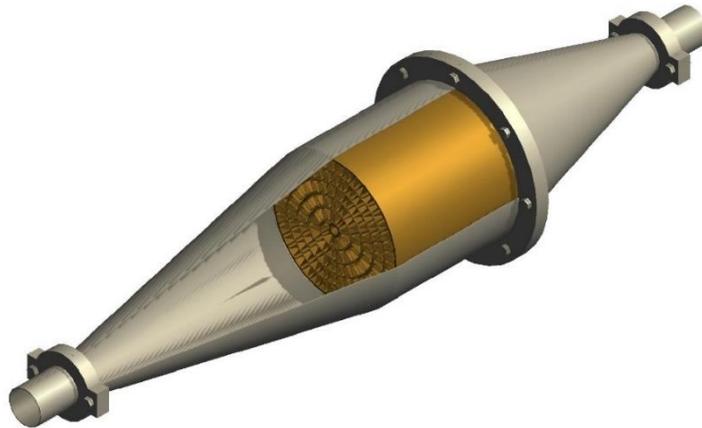


Gambar 55. Desain *Metallic Catalytic Converter Casing*

Metallic catalytic converter casing dibuat dari plat galvanis dengan tebal 1 mm dengan panjang total 606,4 mm, dimana pada bagian depan *casing* diberi *front diffuser* dengan panjang 214,4 mm dengan *entry taper* 10° dan dibagian belakang *casing* juga diberi *back diffuser* dengan panjang 139 mm dengan exit *taper outlet* 15° .

Pada bagian depan *diffuser* belakang juga ditambahkan *stopper* yang terbuat dari pipa besi berdiameter 5 mm untuk mencegah *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan menjadi tirus terkena tekanan gas buang pada saat putaran mesin tinggi. Bentuk *metallic catalytic converter casing* seperti ini dimaksudkan untuk meminimalkan turbulensi aliran sehingga dapat menurunkan tekanan balik (*back pressure*) gas buang. Dampaknya akan membantu menyempurnakan pembilasan gas buang sehingga dapat menyempurnakan proses pembakaran.

Sedangkan posisi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan di dalam *casing* dapat dilihat pada gambar 56 berikut ini.

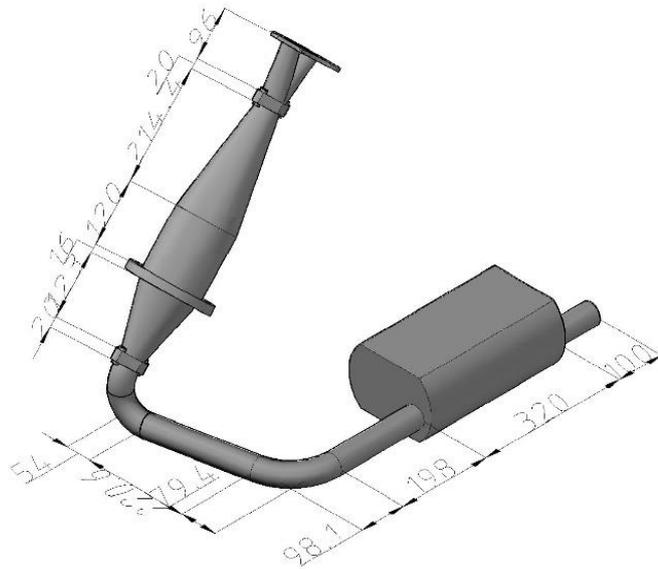


Gambar 56. Posisi *Metallic Catalytic Converter* Cu+Zn di dalam *Casing*

4. Perancangan Penempatan *Metallic Catalytic Converter* pada Knalpot Eksperimen Toyota Kijang Tipe 7K

Penempatan *metallic catalytic converter* pada pipa depan (*front pipe*) knalpot eksperimen Toyota Kijang Tipe 7K dilakukan dengan memperhatikan jarak dari *exhaust port* (berhubungan dengan temperatur gas buang). Karena putaran mesin yang digunakan sampai putaran 5000 rpm (putaran maksimum mesin), maka peneliti menempatkan *metallic catalytic converter* pada jarak \pm 330,4 cm dari *exhaust manifold*. Penempatan *metallic catalytic converter* dengan jarak tersebut dimaksudkan agar diperoleh temperatur kerja optimal katalis, yaitu $>300^{\circ}\text{C}$ dengan menambahkan pembungkus knalpot (*exhaust wrap*).

Penempatan *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan pada knalpot eksperimen Toyota Kijang Tipe 7K ditunjukkan pada gambar 57 berikut ini.



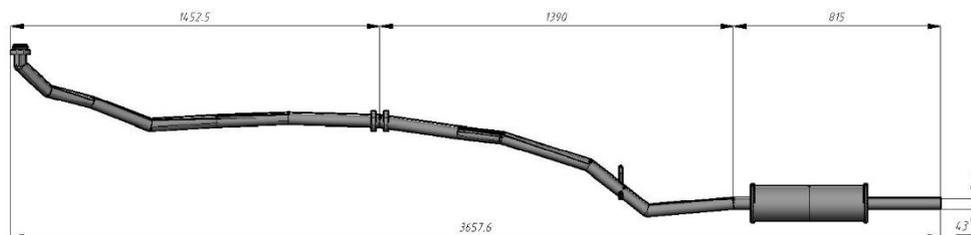
Gambar 57. Posisi *Metallic Catalytic Converter* Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K

G. Pengembangan Teknologi *Diesel Particulate Filter* (DPF)

1. Pengukuran Dimensi Knalpot Standar Mesin Isuzu C190

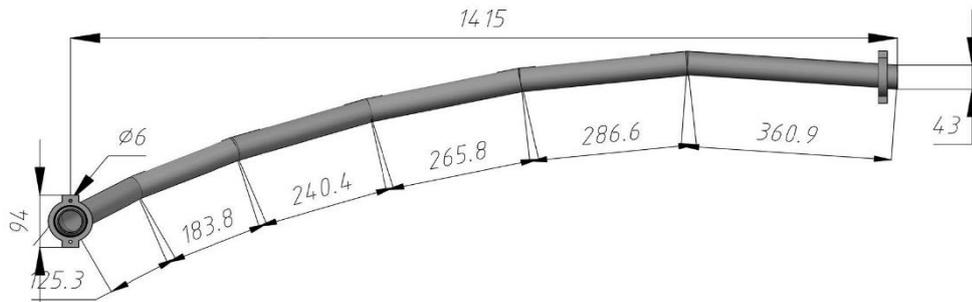
Pengukuran dimensi knalpot standar mesin Isuzu C190 dilakukan dengan mengukur secara detail setiap bagian dari knalpot tersebut sehingga ukurannya dapat diketahui.

Hasil pengukuran knalpot standar mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat dilihat pada gambar 58 berikut ini.

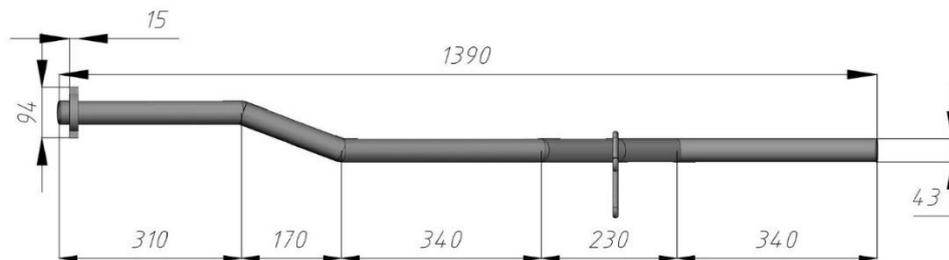


Gambar 58. Knalpot Standar Mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik

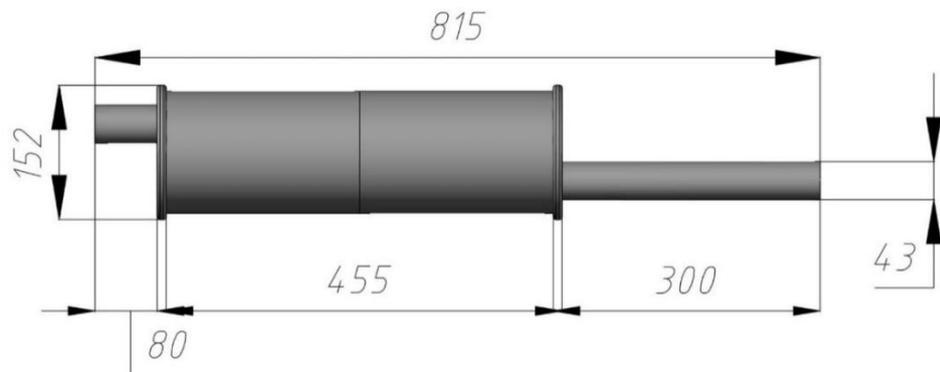
Untuk lebih jelasnya, di bawah ini akan ditunjukkan rincian ukuran dari masing-masing dimensi knalpot standar mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik.



Gambar 59. Pipa Depan (*Front Pipe*) Knalpot Standar Mesin Isuzu C190



Gambar 60. Pipa Tengah (*Center Pipe*) Knalpot Standar Mesin Isuzu C190



Gambar 61. Muffler dan Pipa Ekor (*Tail Pipe*) Knalpot Standar Mesin Isuzu C190

2. Rancangan DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool*

Sebagaimana telah dikemukakan pada kajian pustaka bahwa penjebak partikulat diesel dengan bentuk sarang lebah logam (*metallic honeycomb diesel particulate trap/diesel particulate filter*) dipasang pada knalpot mobil diesel untuk mereduksi emisi partikulat (PM) sehingga opasitas gas buang yang dihasilkan menjadi lebih rendah. Reduksi partikulat atau opasitas ini dilakukan dengan menggunakan material penjebak, yaitu *glasswool* yang terdapat pada penjebak partikulat diesel.

Selama ini, jenis penjebak partikulat diesel yang umumnya ada di pasaran adalah: (1) sarang lebah keramik (*ceramic monolith*), (2) alumina yang dilapiskan pada plat yang dibentuk persegi (*wiremesh*), (3) bentuk keramik, (4) *ceramic fiber mat*, dan (5) *woven silica-fiber rope wound* pada tabung yang berpori. Setiap bentuk penjebak partikulat diesel memiliki perbedaan dari sisi kerugian tekanan internal dan efisiensi penjebakan. Kelima jenis penjebak partikulat diesel tersebut cukup mahal, sulit dibuat secara *handmade*, dan memiliki kelimpahan yang rendah. Kondisi ini tentunya mempunyai konsekuensi teknis, yaitu penjebak partikulat diesel menjadi sangat mahal dan tidak menguntungkan secara ekonomi bagi para pemakai.

Oleh karena itu, penjebak partikulat diesel (*diesel particulate filter/DPF*) yang diciptakan dalam invensi ini menggunakan logam transisi sekaligus berfungsi sebagai katalis, yaitu dari plat *stainless steel* yang dikombinasikan dengan material *glasswool*, dimana logam dan material *glasswool* ini memiliki

kelimpahan yang banyak, mudah didapatkan di pasaran, mudah dibuat, dan harga yang cukup terjangkau.

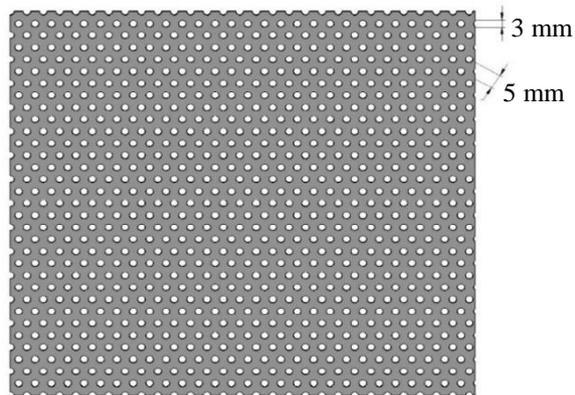
Berdasarkan penelitian Warju & Marsudi (2015) disimpulkan bahwa *diesel particulate trap* (DPT) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 100 gr *glasswool* dapat mereduksi opasitas gas buang mesin Isuzu Panther 1997 sebesar 70%. Oleh karena itu, perlu penambahan jumlah *glasswool* menjadi 110 gr *glasswool* pada DPT/DPF untuk mendapatkan reduksi opasitas gas buang yang signifikan.

Mengacu pada Gambar 62, yang memperlihatkan tampak depan dari penjebak partikulat diesel dengan bentuk sarang lebah logam (*metallic honeycomb diesel particulate filter*) berbahan dasar plat *stainless steel* dan *glasswool* sesuai dengan invensi ini. Susunan dari penjebak partikulat diesel dengan bentuk sarang lebah logam (*metallic honeycomb diesel particulate filter*) terdiri dari 32 (tiga puluh dua) buah plat *stainless steel* dengan tebal 0,8 mm, panjang 160 mm, dan lebar 170 mm.



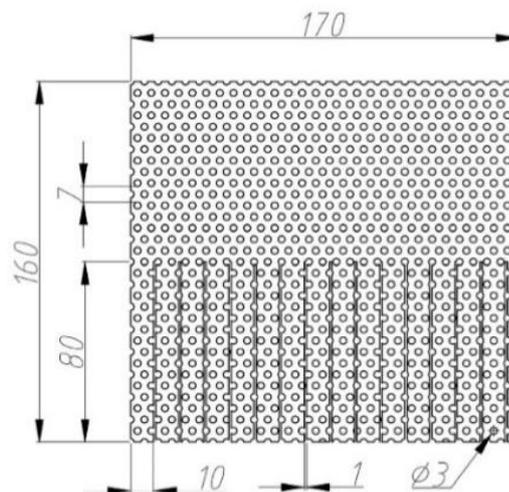
Gambar 62. *Diesel Particulate Filter* Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel*

Setiap lembar plat *stainless steel* tersebut kemudian dibuat berlubang-lubang (*perforated*) dengan diameter lubang 3 mm dan jarak antar lubang 5 mm secara diagonal (lihat gambar 63).



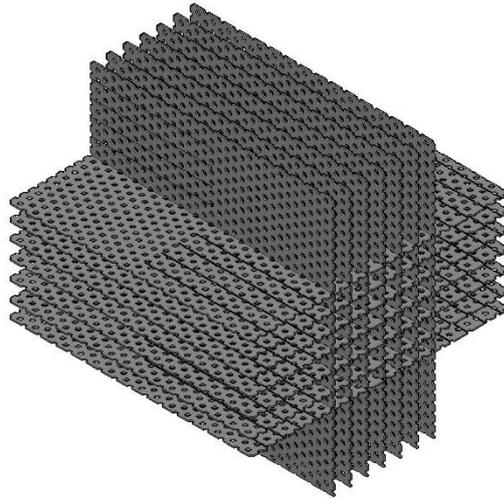
Gambar 63. *Perforated Stainless Steel*

Setelah itu, plat *stainless steel* yang telah dibuat lubang-lubang (*perforated*) tersebut dibuatkan alur seperti bentuk garpu sepanjang 80 mm dengan menggunakan mesin gerinda potong dengan jarak antar alur sebesar 10 mm (lihat gambar 64).



Gambar 64. Pembuatan Alur Pada Plat *Stainless Steel*

Kemudian, plat-plat *stainless steel* yang telah dibuat alur tersebut dipasangkan dan disusun sedemikian rupa sehingga membentuk sarang lebah logam (*metallic honeycomb*) (lihat gambar 65).



Gambar 65. Rancangan Perakitan Plat *Stainless Steel*

Metallic honeycomb diesel particulate filter yang telah disusun tersebut kemudian dimasukkan ke dalam tabung yang terbuat dari plat *stainless steel* dengan tebal 0,8 mm dengan diameter 170 mm dan tinggi 160 mm. Setengah dari cell ditutup di bagian pemasukan penjebak partikulat diesel dan setengah dari cell yang lain ditutup di bagian pengeluaran penjebak partikulat diesel dengan menggunakan potongan plat *stainless steel* dengan diameter tutup cell 10 mm dan tebal 0,8 mm. Proses penutupan cell dengan plat *stainless steel* menggunakan las listrik. Hasil perancangan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dapat dilihat pada Gambar 66.



Gambar 66. Hasil Perancangan DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel*

Langkah selanjutnya adalah menimbang *glasswool* sebesar 110 gr menggunakan timbangan digital (lihat gambar 67), dimana *glasswool* tersebut difungsikan sebagai material penjebak/penyaring opasitas gas buang (emisi partikulat) yang mengalir melalui knalpot mesin diesel.



Gambar 67. Penimbangan *Glasswool* Sebesar 110 gr Menggunakan Timbangan Digital

Glaswool sebanyak 110 gr tersebut kemudian dimasukkan ke dalam DPF yang dibagi merata di seluruh cell bagian depan (pemasukan) penjebak

partikulat diesel untuk mereduksi emisi partikulat (opasitas) gas buang mesin diesel (lihat Gambar 68).



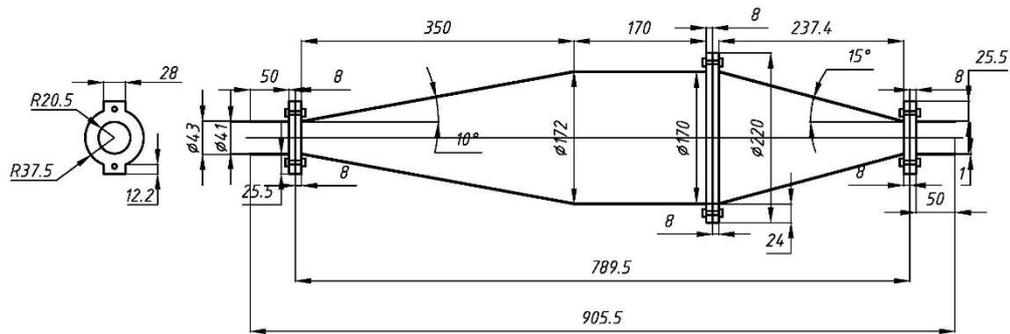
Gambar 68. DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool*

DPF akan dipasang dengan jarak 660,6 mm dari *exhaust manifold* mesin Isuzu C190 agar dicapai temperatur kerja $\geq 300^{\circ}\text{C}$ dengan menambahkan pembungkus knalpot (*exhaust wrap*). Hal ini disebabkan karena bahan DPF berupa plat *stainless steel* (Fe + Cr) merupakan salah satu logam katalis, dimana katalis bekerja pada temperatur tersebut. Selain itu, pemasangan DPT dengan jarak 313 mm dari *exhaust manifold* bertujuan untuk membakar partikulat (*trap oxidizer*) yang keluar dari asap gas buang mesin diesel.

3. Rancangan *Diesel Particulate Filter Casing*

Rancangan *diesel particulate filter casing* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik juga mengacu pada desain yang telah dibuat oleh A. Graham Bell (1998: 299) seperti pada Gambar 54.

Oleh karena itu, rancangan DPF *casing* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat dilihat pada gambar 69 berikut ini.



Gambar 69. Desain Diesel Particulate Filter Casing

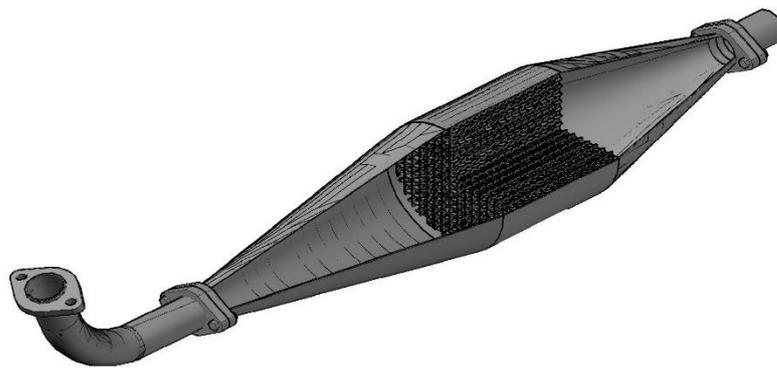
Mengacu pada Gambar 69, yang memperlihatkan dimensi casing penjebak partikulat diesel sesuai dengan invensi ini. Casing penjebak partikulat diesel dibuat dari plat galvanis tebal 1 mm dengan panjang total 905,5 mm dan diameter 170 mm, dimana pada bagian depan casing diberi *front diffuser* dengan panjang 350 mm dengan *entry taper* 10° dan pada bagian belakang casing juga diberi *back diffuser* dengan panjang 237,4 mm dengan *exit taper* 15° .

Desain casing seperti ini juga dimaksudkan untuk meminimalkan turbulensi aliran sehingga akan mengurangi tekanan balik (*back pressure*) gas buang. Dampak lanjutannya akan menaikkan torsi dan daya mesin (*high engine performance*) sekaligus menghemat pemakaian bahan bakar (*fuel economy*). Penambahan penjebak partikulat diesel juga dimaksudkan untuk mereduksi tingkat kebisingan (*noise level*) agar suara yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor tidak terlalu bising. Selain itu, bentuk casing penjebak partikulat diesel dibuat dengan cara terpisah antara *diffuser* bagian belakang dan casing penjebak partikulat diesel. Hal ini memungkinkan knalpot dan penjebak

partikulat diesel dapat dibongkar-pasang dengan mudah untuk proses penggantian penjebak partikulat diesel (*metallic honeycomb diesel particulate filter*). Dapat dikatakan, konsep knalpotnya adalah bongkar-pasang (*completely knock-down/CKD*).

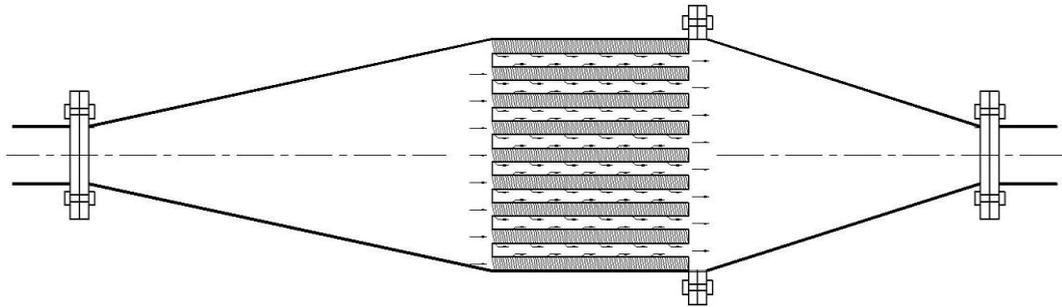
Untuk menyambungkan *diffuser* bagian belakang dan *casing* penjebak partikulat diesel, ditambahkan sambungan/*joint flange* dengan menggunakan baut ukuran 10 mm sejumlah 8 buah. Sedangkan untuk menyambungkan *diffuser* bagian depan dengan pipa depan (*front pipe*) dan *diffuser* bagian belakang dengan pipa tengah (*intermediate pipe*) pada knalpot/*muffler* mesin diesel juga ditambahkan sambungan/*joint flange* dengan menggunakan baut ukuran 12 mm yang masing-masing sejumlah 2 buah.

Penempatan posisi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* di dalam *casing* dapat dilihat pada gambar 70 berikut ini.



Gambar 70. Posisi DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool* di Dalam *Casing*

Sedangkan aliran gas buang saat melintasi penampang *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* di dalam casing seperti ditunjukkan pada gambar 71 berikut ini.



Gambar 71. Aliran Gas Buang Saat Melintasi DPT Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool* di Dalam *Casing*

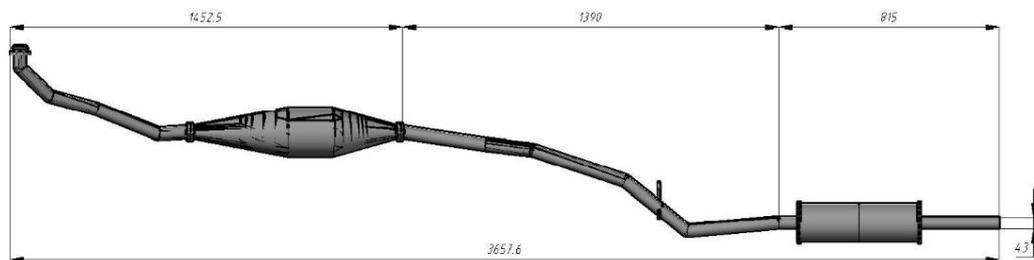
4. Rancangan Penempatan *Diesel Particulate Filter* (DPF) Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool* Pada Knalpot Eksperimen Mesin Isuzu C190

Diesel particulate filter (DPF) akan dipasang pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 menggunakan desain sarang lebah logam atau *metallic honeycomb* (*monolith*). Di dalam DPF, dipasang 110 gr *glasswool* sebagai material untuk mengurangi kepekatan asap/opasitas gas buang mesin Isuzu C190, yaitu dengan cara menyaring gas buang sisa pembakaran yang keluar melalui knalpot khususnya partikel debu halus ($PM_{2,5}$ dan PM_{10}).

Partikulat debu halus mesin diesel dapat terbakar pada temperatur sekitar 500-600°C. Temperatur ini di atas temperatur normal gas buang mesin diesel, sehingga gas buang yang mengalir melalui penjebak harus dipanaskan atau pembakaran dapat dibuat untuk terjadi pada temperatur rendah dengan menggunakan katalis pada penjebak atau dengan cara menambahkan bahan bakar. Penulis memilih opsi kedua, yaitu menggunakan katalis karena plat *stainless steel* yang digunakan sebagai DPF merupakan katalis dari logam transisi.

Lapisan katalis pada penjebak partikulat dapat mereduksi temperatur penyalaan sampai 200°C. Posisi penempatan DPF juga sangat mempengaruhi temperatur kerjanya. Semakin dekat posisi DPF dengan *exhaust port*, maka temperatur kerja DPF akan lebih cepat tercapai sehingga jelaga yang keluar melalui *exhaust* dapat terbakar dengan maksimal pada suhu 300°C.

Berdasarkan penelitian pendahuluan yang telah dilakukan oleh penulis, maka DPF ditempatkan di bagian pipa depan (*front pipe*) knalpot eksperimen



mesin Isuzu C190 dengan jarak 660,6 mm dari *exhaust manifold* (lihat Gambar 72), karena pada posisi tersebut sudah tercapai temperatur kerja DPF, yaitu 250-300°C. *Front pipe* dan *DPT casing* juga ditambahkan pembungkus knalpot (*exhaust wrap*) untuk mengisolasi panas gas buang agar tidak terbuang sehingga dapat memaksimalkan kinerja DPF.

Gambar 72. Posisi DPF pada Knalpot Eksperimen Mesin Isuzu C190

H. Pengembangan Teknologi *Muffler* Ramah Lingkungan (*Eco-Muffler*)

Telah diketahui bahwa sistem *reverse flow muffler* memiliki kerugian terutama pada besarnya tekanan balik (*back pressure*) gas buang yang terjadi saat mesin pada langkah buang. Besarnya tekanan balik (*back pressure*) ini dapat merugikan karena akan menghambat aliran gas buang dari mesin menuju udara luar

sehingga unjuk kerja (*performance*) mesin akan cenderung menurun dan boros bahan bakar. Namun, dengan sistem *reverse flow muffler*, tingkat kebisingan suara yang dihasilkan mesin jauh lebih rendah dibandingkan dengan sistem peredam lainnya.

Knalpot standar mesin Toyota Kijang Tipe 5K di SMK Semen Gresik dapat dilihat pada Gambar 73 berikut ini.



Gambar 73. Knalpot Standar Mesin Toyota Kijang Tipe 5K di SMK Semen Gresik

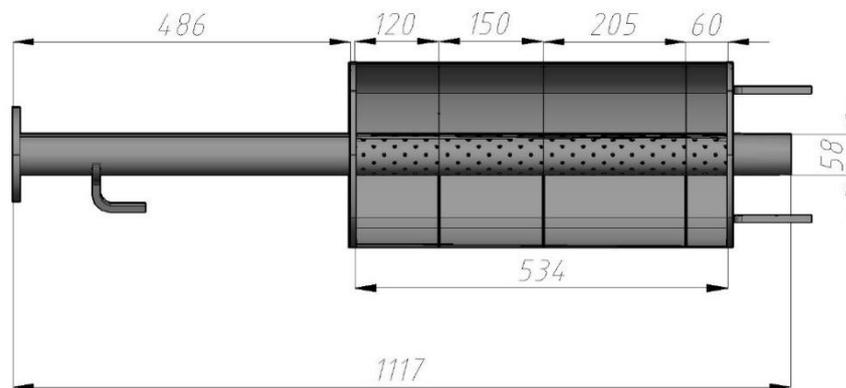
Oleh karena itu, sistem *reverse flow muffler* yang ada dalam desain knalpot standar mesin Toyota Kijang Tipe 5K di SMK Semen Gresik tersebut akan ditambahkan dengan desain *straight-through type muffler* untuk mereduksi kebisingan yang dihasilkan.

Berdasarkan penelitian Warju, Muliatna, & Dewanto (2009) disimpulkan bahwa penggunaan *straight-through type muffler* pada knalpot mesin Toyota Kijang Innova tipe G tahun 2008 dapat mereduksi tingkat kebisingan sebesar 15,21%. Oleh karena itu, pada penelitian ini knalpot standar mesin Toyota Kijang

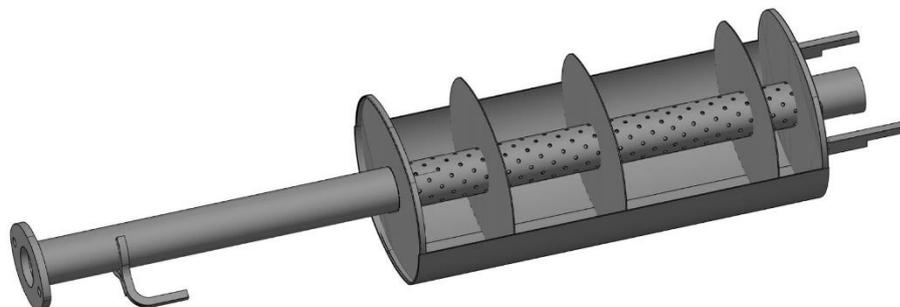
tipe 5K yang ada di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik akan ditambahkan teknologi *straight-through type muffler*.

Dengan penambahan *straight-through type muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang Tipe 5K di SMK Semen Gresik tersebut, diharapkan tekanan gas buang dan temperatur gas buang dapat diturunkan sehingga kebisingan (*noise level*) yang dihasilkan oleh kendaraan cenderung lebih rendah agar memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2009 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru.

Invensi pengembangan teknologi *straight-through type muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang Tipe 5K di SMK Semen Gresik seperti terlihat pada Gambar 74 dan Gambar 75 berikut ini.



Gambar 74. Desain *Straight-Through Type Muffler*



Gambar 75. Potongan Penampang *Straight-Through Type Muffler*

Dari sisi tingkat kebisingan, diperkirakan desain *straight-through type muffler* tersebut memiliki tingkat kebisingan yang lebih besar jika dibandingkan dengan sistem *reverse flow muffler*. Oleh karena itu, *straight-through type muffler* tersebut akan ditambahkan material penyerap tekanan yang biasa disebut *glasswool* sebanyak 1000 gr (lihat gambar 76). Dengan ditamhkannya material *glasswool* di *muffler* diharapkan suara yang dihasilkan oleh mesin menjadi lebih halus jika dibandingkan dengan *muffler* standar Toyota Kijang tipe 5K.

Untuk pipa *straight-through type muffler*, pipa tersebut dilubangi dengan ukuran 5 mm tiap lubangnya dengan jarak antar lubang 10 mm. Lubang-lubang tersebut berfungsi sebagai tempat laluan gas buang agar gas buang dapat masuk ke ruang-ruang *muffler* dan tekanan gas buang dapat diserap oleh *glasswool*. Jumlah lubang disesuaikan dengan volume masing-masing ruang di *muffler*.



Gambar 76. *Straight-Through Type Muffler* dengan Penambahan 1000 gr *Glasswool*

Pipa-pipa yang terdapat di dalam *muffler* dibuat dari pipa besi dengan diameter 51,20 mm dan tebal 1 mm. Ukuran diameter dan tebal pipa besi yang digunakan, dibuat dengan ukuran dan bahan yang sama dengan pipa besi yang ada di knalpot standar mesin Toyota Kijang Tipe 5K. Pipa besi ini berfungsi sebagai saluran gas buang kendaraan bermotor.

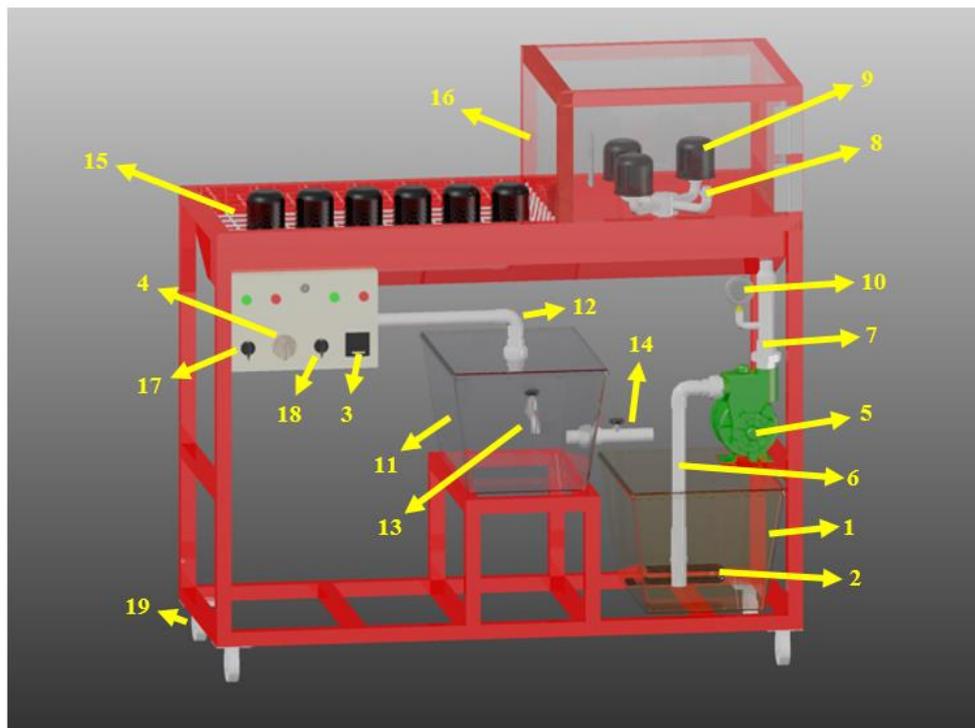
I. Pengembangan Teknologi *Oil Filter Cleaner*

Pembersih saringan oli (*oil filter cleaner*) merupakan teknologi yang digunakan untuk membersihkan sisa-sisa oli yang berada di saringan oli bekas (*used oil filter*) agar jika saringan oli bekas tersebut dibuang tidak mencemari air dan tanah sehingga lebih ramah lingkungan.

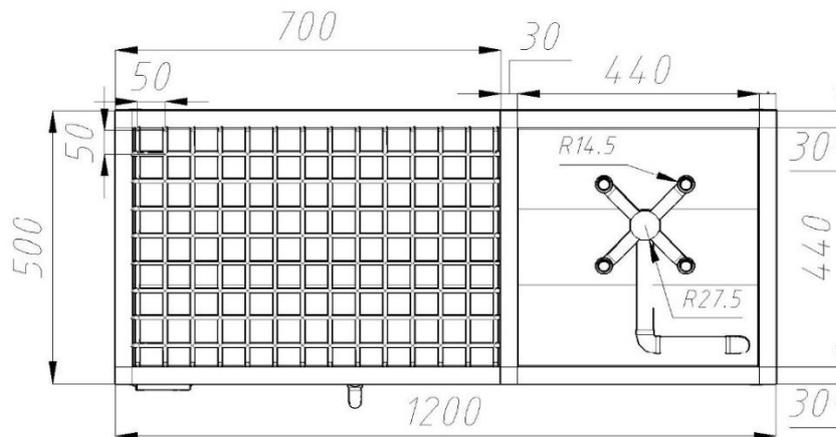
Teknologi ini pada prinsipnya adalah mengalirkan air panas bertekanan tinggi dari bak penampung air (1) yang telah dipanaskan oleh *heater* (2). Temperatur air diseting pada temperatur tertentu (80°C, 85°C atau 90°C) dengan menggunakan *electronic temperature controller* (3) dengan variasi waktu pembersihan *oil filter* bekas (5, 10, 15 atau 20 menit) dengan menggunakan *timer* (4). Air panas disalurkan dari bak penampung air oleh pompa (5) melalui pipa hisap (6) dan pipa tekan (7) menuju *nozzle* (8) dan *oil filter* bekas (9). Besarnya tekanan air dapat dilihat pada *pressure gauge* (10). Tekanan air panas tersebut akan mendorong limbah oli di dalam elemen saringan oli tersebut keluar dan jatuh menuju bak penampung oli (11) melalui pipa penyalur limbah oli (12). Dengan perbedaan berat jenis antara air dan oli, maka oli akan terpisah dengan air sehingga oli akan berada di lapisan atas di bak penampung limbah oli. Limbah oli tersebut dapat dikeluarkan

melalui kran pembuangan (13) di bak penampung oli menggunakan gelas ukur. Sedangkan air yang telah terpisah dengan limbah oli di bak penampung oli akan mengalir melalui pipa penyalur (14) menuju bak penampungan air lagi (1). Proses pembersihan *oil filter* bekas ini akan terus berlangsung selama pompa bekerja (5) dan akan berhenti ketika telah mencapai waktu yang telah ditentukan pada *timer*. Selanjutnya, saringan oli (*oil filter*) bekas yang telah dibersihkan tersebut dapat diletakkan dan dikeringkan di atas rak pada rangka *oil filter cleaner* (15).

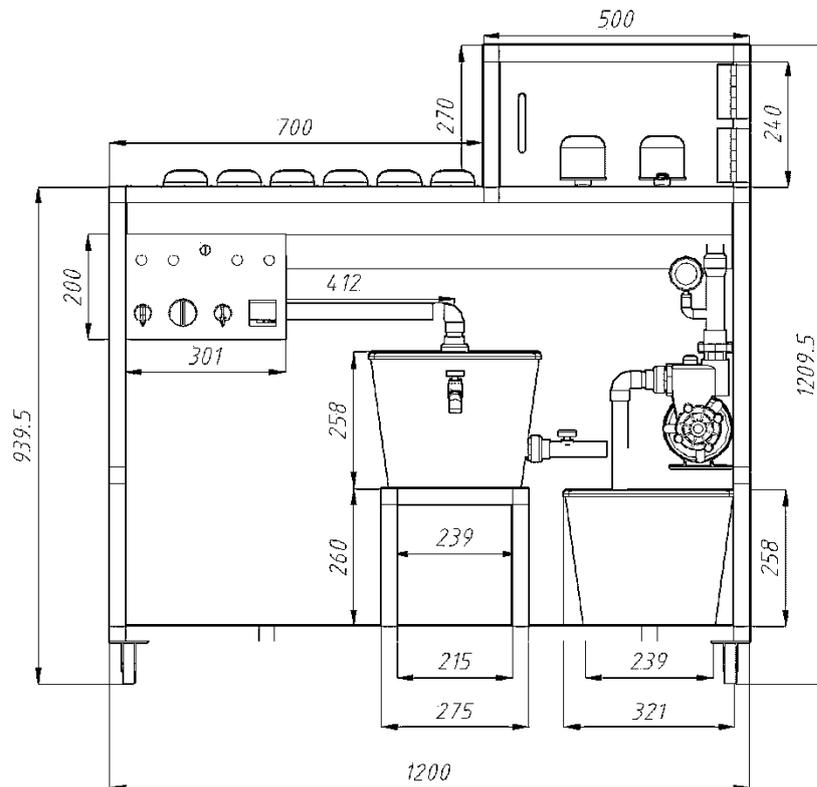
Secara lebih detail, desain dan ukuran teknologi *oil filter cleaner* yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 77-79 berikut ini.



Gambar 77. Desain *Oil Filter Cleaner* Tampak Keseluruhan



Gambar 78. Dimensi *Oil Filter Cleaner* Tampak Atas



Gambar 79. Dimensi *Oil Filter Cleaner* Tampak Depan

Spesifikasi produk *oil filter cleaner* yang dikembangkan dalam invensi ini adalah:

1. Rangka *oil filter cleaner* dibuat dari besi kotak dengan ukuran 30 x 30 mm, tebal 1,2 mm, lebar 500 mm, dan tinggi total 1209,5 mm.
2. Bak penampung limbah oli dibuat dari box plastik transparan dengan ukuran 456 x 321 x 258 mm.
3. Bak penampung air panas dibuat dari box plastik dengan ukuran 456 x 321 x 258 mm.
4. Pompa air yang digunakan memiliki daya 125 Watt.
5. *Oil filter cleaner* dilengkapi dengan *pressure gauge* untuk mengukur tekanan air.
6. *Heater* yang digunakan untuk memanaskan air memiliki daya 500 Watt.
7. Jumlah *nozzle* sebanyak 4 buah yang disusun secara paralel.
8. *Oil filter cleaner* dilengkapi dengan *electronic temperature controller* (ETC) untuk mengatur temperatur air pembersih dan *timer* untuk mengatur waktu pembersihan *oil filter* bekas.

J. Variabel Penelitian

“Variabel penelitian adalah suatu atribut atau suatu sifat atau nilai dari orang, obyek atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya” (Sugiyono, 2008: 38).

Variabel yang termasuk dalam penelitian eksperimen ini adalah:

1. Variabel Bebas (*Stimulus Variable*)

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi terhadap timbulnya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

- a. Knalpot atau *muffler* standar dan knalpot eksperimen yang dilengkapi teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan (Cu+Zn), plat tembaga (Cu), dan plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada sistem pembuangan mesin Toyota Kijang Tipe 7K.
- b. Knalpot atau *muffler* standar dan knalpot eksperimen yang dilengkapi teknologi *diesel particulate filter* (DPT) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool*, 150 gr *glasswool*, dan 130 gr *glasswool* pada sistem pembuangan mesin Isuzu C190.
- c. Knalpot atau *muffler* standar dan knalpot eksperimen yang dilengkapi teknologi *eco-muffler* dengan jenis *straight-through type muffler*, *three pass tube type muffler*, dan *off-set tube type muffler* pada sistem pembuangan mesin Toyota Kijang Tipe 5K.
- d. *Oil filter cleaner* untuk membersihkan saringan oli bekas dengan waktu pembersihan tertentu (menit).

2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat merupakan variabel yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah:

- a. Konsentrasi emisi gas buang CO (% Vol), O₂ (% Vol), CO₂ (% Vol), HC (ppm Vol), dan λ .
- b. Opasitas gas buang (%HSU)
- c. Temperatur gas buang (°C).
- d. Tekanan balik gas buang (kPa).

- e. Kebisingan kendaraan (dBA).
- f. Konsumsi bahan bakar (liter/jam).
- g. Limbah oli yang dihasilkan (liter/tahun).

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dikendalikan sehingga pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:

- a. Temperatur udara ambient ($25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) dan kelembaban udara (*humidity*).
- b. Bahan bakar premium dan solar.
- c. Putaran mesin (rpm).
- d. Temperatur oli mesin saat pengujian ($\geq 60^{\circ}\text{C}$).
- e. Temperatur air pada *oil filter cleaner* (90°C , 85°C , dan 80°C).
- f. Tekanan air pada *oil filter cleaner* ($0,7 \text{ kg/cm}^2$).

K. Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data

Penelitian dengan model penelitian dan pengembangan membutuhkan data yang akurat dan memadai. Untuk memenuhi keperluan tersebut, peneliti memerlukan teknik pengumpulan data dan analisis data yang dapat dipertanggungjawabkan secara metodologis. Artinya, teknik-teknik pengumpulan data (instrumen) harus memenuhi nilai validitas dan reliabilitas yang dipersyaratkan secara metodologis dan teknik-teknik analisis data yang digunakan harus sesuai dengan karakteristik variabel yang diteliti dan tujuan penelitiannya.

Ada beberapa teknik dan instrumen pengumpulan data yang dapat dipakai dalam penelitian yang menggunakan model penelitian dan pengembangan, antara lain: kuesioner, pengamatan (observasi), wawancara, survei, eksperimen, dan dokumentasi. Teknik pengumpulan data mana yang dipakai sangat tergantung pada jenis dan karakteristik data yang dibutuhkan.

Dalam R & D ini, teknik dan instrumen pengambilan data dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Kuesioner

Dalam penelitian ini, kuesioner digunakan untuk menggali data tentang konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor yang digunakan oleh semua warga sekolah SMK Semen Gresik (guru, siswa, tenaga kependidikan, dan petugas layanan khusus) untuk keperluan pergi dan pulang ke sekolah dalam satuan liter per tahun sebagai dasar untuk menghitung estimasi total beban emisi di sekolah (emisi CO, HC, NO_x, SO_x, PM, dan CO₂) (format kuesioner seperti ditunjukkan pada lampiran 4). Sedangkan data rekapitulasi konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor warga SMK Semen Gresik seperti disajikan pada lampiran 5.

2. Pengamatan (Observasi)

Pengamatan dilakukan dengan mengamati secara langsung kondisi aktual di DU/DI dan di SMK Semen Gresik, terutama sarana dan prasarana ramah lingkungan yang ada dalam upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup (PPLH), seperti pengendalian emisi gas buang yang dihasilkan di bengkel

otomotif, jumlah limbah saringan oli bekas yang dihasilkan, perlakuan terhadap limbah saringan oli bekas, dan kebisingan yang terjadi di bengkel otomotif yang dilengkapi dengan catatan lapangan (*field note*) (lampiran 6 dan 7).

3. Wawancara

Wawancara dilakukan untuk menggali data tentang fungsi dan bahan/material sarana ramah lingkungan yang ada di bengkel otomotif DU/DI dan di SMK Semen Gresik. Wawancara di DU/DI dilakukan dengan: (a) Bapak Suparna, S.Pd. (Auto 2000 HR Muhammad), (b) Bapak Hery Suryo (Astra Peugeot HR Muhammad), (c) Bapak Eko Mardiyanto, S.Pd., M.Pd. (PT. United Motor Center/Suzuki Madiun), (d) Bapak Aidil F. B. Swastomo (Astra Daihatsu Waru), dan (e) Bapak Sudarsono, S.E., M.M. (PT. Murni Berlian Motors/Mitsubishi) (skrip wawancara di lampiran 6). Sedangkan, wawancara di sekolah dilakukan dengan Bapak Moch. Basjir, S.Pd. (Kepala Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik) (skrip wawancara di lampiran 7).

4. Survei

Pertama kali, survei dilakukan untuk menggali data tentang fasilitas praktik di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik dan data tentang konsumsi bahan bakar baik premium maupun solar yang digunakan oleh siswa dan guru untuk kegiatan praktikum di bengkel dalam satuan liter per tahun sebagai dasar

untuk menghitung total beban emisi CO, HC, NO_x, SO_x, PM, dan CO₂) yang disumbangkan oleh sekolah ke atmosfer (lampiran 3).

Selanjutnya, survei dilakukan dengan mengamati secara langsung kondisi aktual sarana ramah lingkungan yang ada di bengkel/industri otomotif, khususnya di *Department of Health, Safety and Environment* (HSE) dalam upaya PPLH, yang meliputi sarana untuk: (1) pengelolaan sampah, (2) pengelolaan limbah, (3) pengendalian emisi gas buang, (4) pengendalian opasitas gas buang, (5) pengendalian pencemaran air, (6) pengendalian pencemaran tanah, dan (7) pengendalian kebisingan. Pelaksanaan survei dilengkapi dengan *ckecklist* (lampiran 6).

Survei sarana dan prasarana ramah lingkungan juga dilakukan di SMK Semen Gresik (lampiran 7) sebagai bagian dari analisis kebutuhan (*needs assessment*) tentang teknologi otomotif ramah lingkungan (lampiran 8). Pelaksanaan survei juga dilengkapi dengan *ckecklist* (lampiran 7).

5. Eksperimen

Eksperimen dilakukan untuk mendapatkan:

- a. Data tentang emisi gas buang (CO, O₂, CO₂, λ, dan HC), temperatur gas buang, tekanan gas buang, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar dari hasil pengujian teknologi *metallic catalytic converter* (lampiran 9).
- b. Data tentang opasitas gas buang, temperatur gas buang, tekanan gas buang, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar dari hasil pengujian teknologi *diesel particulate filter* (DPF) (lampiran 9).

- c. Data tentang kebisingan kendaraan, temperatur gas buang, dan tekanan gas buang dari hasil pengujian *muffler* ramah lingkungan (*eco-muffler*) (lampiran 9).
- d. Data tentang jumlah limbah oli yang dihasilkan dari pengujian teknologi *oil filter cleaner* dengan variasi waktu pembersihan (menit) dengan temperatur air dan tekanan air tertentu (lampiran 9).

6. Dokumentasi

Dokumentasi dilakukan dengan cara pengambilan gambar (foto) dan video yang diperlukan untuk mendukung hasil pengamatan (observasi), survei, proses pengembangan teknologi otomotif, proses pengujian dan hasil pengujian produk teknologi otomotif ramah lingkungan di sekolah (lampiran 10).

Adapun peralatan dan instrumen penelitian yang digunakan untuk mengambil data kuantitatif (melalui eksperimen) adalah:

1. *Exhaust Gas Analyzer*

Exhaust gas analyzer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kadar polutan gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor berbahan bakar bensin. Adapun spesifikasinya adalah:

- 1) Merk : Brain Bee
- 2) Type : AGS-688
- 3) Buatan : Italia
- 4) Tahun Pembuatan : 2008
- 5) Tegangan : 22 ± 15 V

- 6) Frekuensi : 50 ± 3 Hz
- 7) Daya : 100 Watt
- 8) Warming : 15 menit

Rentang pengukuran:

- 1) CO : $0 \div 9,99$ %
- 2) CO₂ : $0 \div 19,9$ %
- 3) HC : $0 \div 9999$ ppm
- 4) Lambda (λ) : $0 \div 9,999$
- 5) O₂ : $0 \div 25,0$ %
- 6) NO_x : $0 \div 2100$ ppm (option)

Parameter pengukuran seperti CO (% Vol), CO₂ (% Vol), HC (ppm Vol), lambda (λ), dan O₂ (% Vol) di atas digunakan sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen penelitian di lampiran 9.

2. *Smoke Opacity Meter*

Smoke Opacity Meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur opasitas (kepekatan asap) gas buang yang keluar dari kendaraan bermotor berbahan bakar solar. Adapun spesifikasinya adalah:

- 1) *Merk* : Technomotor
- 2) *Tipe* : OPA-820
- 3) *Akurasi pengukuran* : Standar OIML Class 0 dan ISO 11614 & SAE J1667

4) Parameter pengukuran:

| | | | | |
|-----------------------------|------------|-----------------|------------|-------------------|
| Opasitas (HSU) | 0 ~ 99.9 | % | Res. 0. 1 | (PHOTOCONDUCTIVE) |
| Opasitas (<i>K-value</i>) | 0 ~ 99.9 | m ⁻¹ | Res. 0. 01 | (KALKULASI) |
| Temperatur asap | 20 ~ 400 | °C | Res. 1 | (NTC) |
| Putaran mesin | 300 ~ 9990 | RPM | Res. 10 | (PFM941) |
| Temperatur oli mesin | 20 ~ 150 | °C | Res. 1 | (PFM941) |
| Temperatur udara ambien | 0 ~ 50 | °C | Res. 1 | (INTEGRATED) |

5) Data teknis :

- a) *Transmitter and receiver* : *Green LED light source and photodiode light receiver*
- b) *Measurement chamber* : *Pressure automatic control and temperature stabilization to 90°C*
- c) *Lensa/filter optic* : *Dirty and cleaning system automatic control and automatic reset*
- d) Waktu pemanasan : Dari 20°C sampai 10°C (tergantung temperatur udara luar)
- e) *Actual chamber length* : 334 mm
- f) *Reset/calibration* : *Electronic and automatic by Meansof solenoid valve*
- 6) Hemat listrik : 50 Watt saat operasi & 25 watt saat *Standby*
- 7) Sumber listrik : 220V AC/50Hz atau 12V DC

Parameter pengukuran seperti opasitas (% HSU) dan *K-Value* di atas digunakan sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen penelitian di lampiran 9.

3. *Sound Level Meter (SLM)*

Sound Level Meter (SLM) adalah alat yang digunakan untuk mengukur intensitas bunyi untuk menentukan tingkat kebisingan suatu sumber suara.

Adapun spesifikasinya adalah:

- 1) Merk : Krisbow KW06-290
- 2) Frekuensi Range : 31,5 Hz-8 KHz
- 3) Measuring Level Range : 35–130 dB
- 4) Akurasi : 1,5% (*under reference condition*)
- 5) Frequence Weighting : A/C
- 6) Microphone : $\frac{1}{2}$ in *celected condenser microphone*
- 7) Level Range : Low: 35-100 dBA, Hi: 65-130 dB

Parameter pengukuran seperti tingkat kebisingan (dBA) di atas digunakan sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen penelitian di lampiran 9.

4. *Digital Tachometer*

Digital tachometer digunakan untuk mengukur putaran yang dihasilkan mesin. Adapun spesifikasinya adalah:

- 1) Merk : i-MAX (*Intelligent Digital Tachometer*)
- 2) Rpm Range : 0-20.000 rpm
- 3) Voltage : AC 240V 50/60Hz

Parameter pengukuran seperti putaran mesin (RPM) di atas digunakan sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen penelitian di lampiran 9.

5. *Digital Thermometer*

Digital thermometer digunakan untuk mengukur temperatur gas buang pada knalpot. Spesifikasinya sebagai berikut:

- 1) *Merk* : Transmitt
- 2) Input : K (CA)
- 3) Range : 0-999°C
- 4) Tegangan : 220A/50-60 hz

Parameter pengukuran seperti temperatur gas buang (°C) di atas digunakan sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen penelitian di lampiran 9.

6. *Termocouple*

Termocouple digunakan untuk mengukur temperatur gas buang saat memasuki *catalytic converter*, *diesel particulate filter* (DPF), dan *eco-muffler*.

Adapun spesifikasinya adalah:

- 1) Type : K
- 2) Range Temperatur : -200-1370°C
- 3) Tegangan : 12 V AC; 580 mA

7. Fuel Flow Meter

Fuel flow meter digunakan untuk mengukur volume bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin setiap satuan waktu. Adapun spesifikasinya adalah:

- 1) Merk : HbG
- 2) Volume : 50 ml
- 3) Akurasi : $\pm 0,1$ ml

Parameter pengukuran seperti volume bahan bakar (50 ml) di atas digunakan sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen penelitian di lampiran 9.

8. Stopwatch

Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu konsumsi bahan bakar yang terjadi pada mesin. Adapun spesifikasinya adalah:

- 1) Merk : Seiko
- 2) Akurasi : $\pm 0,01$ detik

Parameter pengukuran seperti waktu konsumsi bahan bakar (setiap 50 ml/detik) di atas digunakan sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen penelitian di lampiran 9.

9. U-Tube Manometer

U-tube manometer digunakan untuk mengukur tekanan balik pada *muffler* (knalpot) kendaraan bermotor dan tekanan balik pada DPF dengan cara melihat perbedaan tekanan di saluran gas buang (kPa).

Parameter pengukuran seperti tekanan balik pada *muffler* dan DPF (kPa) di atas digunakan sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen penelitian di lampiran 9.

10. *Electronic Temperature Controller*

Electronic temperature controller (ETC) digunakan untuk mengatur temperatur air ($^{\circ}\text{C}$) yang digunakan untuk membersihkan saringan oli bekas (*used oil filter*) pada *oil filter cleaner*. Pada ETC juga dilengkapi dengan *timer* (menit) untuk mengatur waktu pembersihan *oil filter* bekas.

Parameter pengukuran seperti temperatur air ($^{\circ}\text{C}$) dan waktu pembersihan (menit) di atas digunakan sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen penelitian di lampiran 9.

11. *Heater*

Heater adalah alat yang digunakan untuk memanaskan air ($^{\circ}\text{C}$) yang digunakan untuk membersihkan saringan oli bekas (*used oil filter*) pada *oil filter cleaner*. Adapun spesifikasinya adalah:

- 1) Tegangan : 220 V
- 2) Daya : 500 W

Parameter pengukuran seperti temperatur air ($^{\circ}\text{C}$) di atas digunakan sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen penelitian di lampiran 9.

12. Pompa Air

Pompa air adalah alat yang digunakan untuk mengalirkan air panas dari bak penampung air ke *nozzle* pada *oil filter cleaner* dengan tekanan air tertentu (kg/cm^2) untuk membersihkan saringan oli bekas (*used oil filter*) dari limbah oli. Adapun spesifikasinya adalah:

- 1) Merek : D@B
- 2) Tegangan/Frekuensi : 220 V/50 Hz
- 3) Daya : 125W
- 4) Putaran : 2850 rpm
- 5) Debit alir : 36 liter/menit
- 6) Daya hisap : 9 m
- 7) Daya dorong : 24 m

13. *Pressure Gauge*

Pressurer gauge digunakan untuk mengukur tekanan air pada *oil filter cleaner*. Adapun spesifikasinya adalah:

- 1) Merk : Nachiseiki
- 2) Range : 0-2,5 kg/cm^2

Parameter pengukuran seperti tekanan air (kg/cm^2) di atas digunakan sebagai dasar untuk menyusun skema pengembangan instrumen penelitian di lampiran 9.

14. Blower

Blower adalah alat digunakan untuk mendinginkan mesin sewaktu proses pengujian dan pergantian pengujian. Adapun spesifikasinya adalah:

- 3) Merk : Krisbow EF-50S
- 4) Tegangan : 230 V/7,60 A
- 5) Frekuensi : 50 Hz
- 6) Daya : 160 Watt
- 7) Putaran : 1200 rpm
- 8) Working Temp. : 40/70 °C

L. Metode Pengujian

Untuk mendapatkan data penelitian kuantitatif yang valid dan reliabel, metode pengujian dilakukan berdasarkan standar yang ada antara lain:

1. Pengujian Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar Bensin Berdasarkan Standar SNI 09-7118.1-2005

Pengujian emisi gas buang mobil bensin berdasarkan standar SNI 09-7118.1-2005. Metode pengujian emisi gas buang pada kendaraan berbahan bakar bensin dilakukan pada kondisi putaran *idle*. Namun untuk penelitian dapat juga dilakukan pengujian pada bukaan katup (*throttle*) yang berubah. Metode ini termasuk dalam pengujian kecepatan berubah (*variable speed*) dengan beban sebagian (*part-load*), karena pengujian dilakukan di bawah kondisi *throttle* sebagian beban jalan (Warju, 2009: 100).

2. Pengujian Opasitas Gas Buang Kendaraan Bermesin Diesel Berdasarkan Standar SNI 09-7118.2-2005

Untuk mendapatkan data penelitian yang akurat, maka pengujian opasitas gas buang kendaraan bermesin diesel dilakukan berdasarkan standar SNI 09-7118.2-2005, yaitu dengan putaran mesin diakselerasi tanpa beban (*free running acceleration*) sesuai SAE-J1667 (*snag acceleration test procedure*), dengan menggunakan alat ukur yang disebut *smoke opacity meter*. Data hasil pengujian opasitas akan ditampilkan dalam bentuk diagram batang.

3. Pengujian Tingkat Kebisingan Berdasarkan Standar ISO/FDIS 5130:2006(E)

Pengujian tingkat kebisingan kendaraan bermotor berdasarkan standar ISO/FDIS 5130:2006(E). Metode pengujian ini dilakukan dengan transmisi pada kondisi netral dan kopling tidak bekerja. *Throttle* dibuka sebesar setengah dari putaran mesin maksimum. Untuk mendapatkan data penelitian di tiap putaran mesin, pengujian dapat dilakukan dengan kecepatan berubah (*variable speed*) dengan *throttle* terbuka sebagian (*part-load throttle valve*).

4. Pengujian Konsumsi Bahan Bakar Berdasarkan Standar SNI 7554:2010

Pengukuran konsumsi bahan bakar dilakukan berdasarkan standar SNI 7554:2010 yang menggunakan metode pengujian kecepatan berubah dengan katup *throttle* terbuka penuh. Instrumen yang digunakan untuk mengukur

konsumsi bahan bakar mesin adalah *fuel flow meter* dan *stopwatch*. Adapun grafik yang akan dibuat adalah grafik hubungan antara putaran mesin dengan konsumsi bahan bakar.

M. Prosedur Pengujian

1. Persiapan Pengujian Emisi Gas Buang

- a. Melakukan *tune up* pada mesin mobil yang akan diuji emisinya.
- b. Memeriksa pipa gas buang (knalpot) tidak boleh ada kebocoran.
- c. Menyiapkan alat ukur uji emisi kendaraan (*exhaust gas analyzer*) yang telah memenuhi persyaratan sebagai berikut:
 - 1) Memenuhi standar ISO 3930/OIMIL R-99.
 - 2) Alat uji harus mampu mengukur konsentrasi CO, CO₂, HC, dan NO_x.
 - 3) Alat uji emisi memiliki sertifikat kalibrasi yang masih berlaku (Warju, 2009: 124).
- d. Melakukan kalibrasi *exhaust gas analyzer*.
- e. Menyiapkan dan memasang instrumen dan peralatan pendukung, yaitu: *digital thermometer, thermocouple, digital tachometer, U-tube manometer*, dan *blower*.

2. Pengujian Emisi Gas Buang

- a. Menghidupkan mesin hingga temperatur oli mesin mencapai 60°C sampai 70°C atau sesuai rekomendasi manufaktur dan sistem asesoris dalam kondisi mati.

- b. Memposisikan gigi transmisi kecepatan pada posisi netral.
- c. Menaikkan (melakukan akselerasi) putaran mesin hingga mencapai 1.900 rpm sampai dengan 2.100 rpm kemudian menahan selama 60 detik dan selanjutnya mengembalikan pada kondisi idle.
- d. Selanjutnya melakukan pengukuran emisi gas buang pada kondisi putaran idle dengan putaran mesin yang direkomendasikan oleh pabrikan (mobil: 750-850 rpm) atau sesuai rekomendasi manufaktur.
- e. Memasukkan probe alat uji ke pipa gas buang sedalam ± 30 cm.
- f. Menunggu selama 20 detik dan melakukan pengambilan data konsentrasi emisi CO dalam satuan persen (% Vol), O₂ (% Vol), CO₂ (% Vol), dan HC dalam satuan ppm Vol yang terukur pada alat uji.
- g. Mencetak hasil uji emisi.
- h. Mengukur emisi gas buang pada putaran 2000, 2250, 2500, 2750, 3000, 3250, 3500, 3750, 4000, 4250, 4500, 4750, dan 5000 rpm.
- i. Mencetak hasil uji emisi.
- j. Melakukan percobaan a – h untuk kelompok standar dan kelompok eksperimen.
- k. Pengujian dan pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali.

3. Akhir Pengujian Emisi Gas Buang

- a. Putaran mesin diturunkan perlahan sampai putaran idle.
- b. Untuk sesaat mesin dibiarkan pada putaran idle.
- c. Mesin dimatikan.
- d. Blower dimatikan.

- e. Instrumen penelitian seperti: *exhaust gas analyzer*, *digital thermometer*, *thermocouple*, dan *digital tachometer* dimatikan.

4. Persiapan Pengujian Opasitas Gas buang

- a. Menyiapkan mesin Isuzu C190 yang akan diuji opasitasnya.
- b. Menempatkan mesin Isuzu C190 pada posisi yang datar.
- c. Memeriksa pipa gas buang (knalpot) tidak boleh ada kebocoran.
- d. Memastikan temperatur oli mesin telah mencapai 60°C sampai dengan 70°C atau sesuai dengan rekomendasi manufaktur.
- e. Menggunakan alat uji yang disebut *smoke opacity meter* yang memenuhi standar ISO/DIS-11614E Doc.1996 pasal 94.
- f. Memastikan bahwa alat uji dalam kondisi terkalibrasi.
- g. Alat uji harus mampu mengukur konsentrasi opasitas gas buang pada putaran mesin diakselerasi tanpa beban (*free running acceleration*).
- h. Menghidupkan alat uji sesuai dengan prosedur pengoperasian.
- i. Menyiapkan dan memasang instrumen penelitian dan peralatan pendukung, seperti: *digital thermometer*, *thermocouple*, *digital tachometer*, *U-tube manometer*, dan *blower*.

5. Pelaksanaan Pengujian Opasitas Gas Buang

- a. Menyiapkan kendaraan uji dan alat uji sesuai dengan langkah persiapan.
- b. Menghidupkan mesin dan *blower*.
- c. Memastikan kendaraan bekerja pada temperatur kerja ($\geq 60^{\circ}\text{C}$).

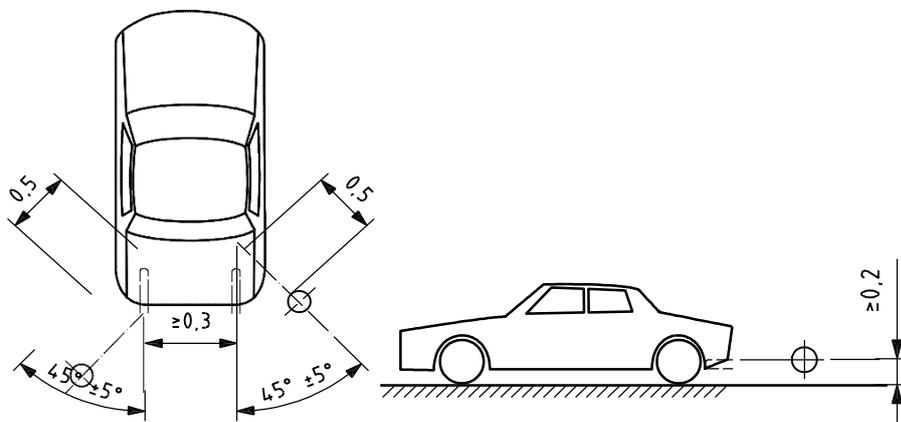
- d. Menaikkan putaran mesin hingga 2.900 rpm sampai 3.100 rpm kemudian menahan selama 60 detik dan selanjutnya dikembalikan pada kondisi *idle*.
- e. Memasukkan *probe* alat uji ke pipa gas buang sedalam 30 cm.
- f. Menginjak pedal gas maksimum (*full throttle*) secepatnya hingga mencapai putaran mesin maksimum, selanjutnya menahannya selama 1 hingga 4 detik.
- g. Melepas pedal gas dan menunggu hingga putaran mesin kembali stasioner.
- h. Mengulangi proses di atas (a-g) minimal tiga kali, baik kelompok standar maupun kelompok eksperimen.
- i. Mencetak (*print*) data hasil pengujian atau mencatat nilai persentase rata-rata opasitas asap dalam satuan persen (%HSU) yang terukur pada alat uji.

6. Akhir Pengujian Opasitas Gas Buang

- a. Putaran mesin diturunkan perlahan sampai putaran *idle*.
- b. Untuk sesaat mesin dibiarkan pada putaran *idle*.
- c. Mesin dimatikan.
- d. *Blower* dimatikan.
- e. Instrumen penelitian seperti: *smoke opacity meter*, *digital thermometer*, *thermocouple*, *digital tachometer* dimatikan.

7. Persiapan Pengujian Tingkat Kebisingan

- Menempatkan mesin yang akan diuji kebisingannya pada posisi yang datar.
- Sound Level Meter* (SLM) dipasang pada jarak $0,5 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$ dari titik sumbu pipa knalpot dengan membentuk sudut $45^\circ \pm 5^\circ$ dan tinggi SLM tidak kurang dari $0,2 \text{ m}$ dari permukaan tanah.



Gambar 80. Posisi Penempatan *Sound Level Meter* (SLM) Pada Knalpot
Sumber: ISO/FDIS 5130:2006 (E)

- Menaikkan putaran hingga 3750 rpm.

8. Pelaksanaan Pengujian Tingkat Kebisingan

- Memposisikan transmisi dalam keadaan netral.
- Throttle* dibuka sebesar 3750 rpm.
- Untuk mendapatkan data penelitian di tiap putaran mesin, pengujian dapat dilakukan dengan mengukur kebisingan secara bertahap di tiap putaran mesin, tidak melebihi batas toleransi yang diberikan.
- Pengujian harus diulang sampai 3 kali pengukuran berturut-turut, baik kelompok standar maupun kelompok eksperimen.

- e. Mencatat data hasil pengujian kebisingan (dBA).

9. Akhir Pengujian Tingkat Kebisingan

- a. Putaran mesin diturunkan perlahan sampai putaran *idle*.
- b. Untuk sesaat mesin dibiarkan pada putaran *idle*.
- c. Mesin dimatikan.
- d. *Blower* dimatikan.
- e. Instrumen *sound level meter* (SLM) dan *digital tachometer* dimatikan.

10. Persiapan Pengujian Konsumsi Bahan Bakar

- a. Memastikan kendaraan pada temperatur kerja ($> 60^{\circ}\text{C}$).
- b. Memastikan kondisi ruangan mampu untuk diatur sehingga kendaraan dapat diuji pada kondisi operasi normal antara $20^{\circ}\text{-}30^{\circ}\text{C}$.
- c. Mesin dipertahankan idling selama 40 detik.
- d. Mengkondisikan kendaraan dengan menginjak pedal gas maksimum (*full throttle*) mendekati kecepatan uji untuk menstabilkan temperatur selama tidak kurang dari 5 menit.
- e. Menyiapkan dan memasang instrumen pengukuran konsumsi bahan bakar, yaitu *fuel flow meter*.
- f. Menyiapkan alat ukur dan peralatan tambahan seperti *digital tachometer*, *stopwatch*, dan *blower*.

11. Pengujian Konsumsi Bahan Bakar

- a. Menghidupkan mesin dan *blower*.
- b. Mengatur putaran mesin menjadi idle (750 rpm).

- c. Memasukkan bahan bakar dari tangki bahan bakar ke dalam gelas ukur (50 ml) yang terdapat pada *fuel flow meter* untuk dialirkan ke karburator mesin.
- d. Mencatat data hasil pengukuran waktu konsumsi bahan bakar (detik).
- e. Mengukur konsumsi bahan bakar pada putaran 2000, 2250, 2500, 2750, 3000, 3250, 3500, 3750, 4000, 4250, 4500, 4750, dan 5000 rpm.
- f. Pengujian harus diulang sampai 3 kali pengukuran berturut-turut, baik kelompok standar maupun kelompok eksperimen.

12. Akhir Pengujian Konsumsi Bahan Bakar

- a. Putaran mesin diturunkan perlahan sampai putaran *idle*.
- b. Untuk sesaat mesin dibiarkan pada putaran *idle*.
- c. Mesin dimatikan.
- d. *Blower* dimatikan.
- e. *Digital tachometer* dan *stopwatch* dimatikan.

13. Persiapan Pengujian *Oil Filter Cleaner*

- a. Mengisi air pada bak penampung air di *oil filter cleaner*.
- b. Menyiapkan *oil filter* bekas yang akan dibersihkan.
- c. Menyiapkan bak penampung limbah oli.
- d. Menyiapkan gelas ukur untuk mengukur limbah oli yang dihasilkan.
- e. Menghubungkan pompa air, *heater*, dan *electronic temperature controller* dengan sumber daya (listrik).

14. Pengujian *Oil Filter Cleaner*

- a. Memasang 4 buah *oil filter* bekas pada *nozzle* di *oil filter cleaner*.

- b. Mengatur suhu pada *electronic temperature controller* sehingga air pembersih di bak penampung air mencapai suhu yang diinginkan, yaitu 90°C, 85°C, atau 80°C.
- c. Mengatur *timer* waktu pembersihan *oil filter* bekas, yaitu 5 menit, 10 menit, 15 menit atau 20 menit.
- d. Menyalakan pompa air agar air panas mengalir menuju *nozzle* di *oil filter cleaner*.
- e. Mencatat tekanan air yang terbaca pada *pressure gauge* (kg/cm²).
- f. Pembersihan *oil filter* bekas dilakukan dengan variasi waktu tertentu, yaitu 5 menit, 10 menit, 15 menit, atau 20 menit untuk mendapatkan limbah oli terbanyak dan *oil filter* bekas terbersih.

15. Akhir Pengujian Oil Filter Cleaner

- a. Mematikan pompa air.
- b. Mematikan *electronic temperature controller*.
- c. Mengukur limbah oli yang dihasilkan di bak penampung limbah oli dengan cara membuka kran pembuangan dan mengukurnya menggunakan gelas ukur.
- d. Melepas *oil filter* bekas pada *nozzle* yang telah dibersihkan di *oil filter cleaner*.
- e. Meletakkan *oil filter* bekas yang telah dibersihkan pada rak yang terdapat pada rangka *oil filter cleaner* hingga kering.

N. Validitas dan Reliabilitas Data Kuantitatif

Untuk mendapatkan data kuantitatif yang valid dari hasil pengujian, maka yang harus dilakukan adalah:

1. Menggunakan alat ukur yang telah terkalibrasi secara rutin (sertifikat kalibrasi di lampiran 11).
2. Menggunakan alat ukur sesuai dengan fungsinya, seperti:
 - a. Menggunakan *exhaust gas analyzer* hanya untuk mengukur emisi gas buang kendaraan berbahan bakar bensin, seperti emisi CO (% Vol), CO₂ (% Vol), HC (ppm Vol), lambda (λ), dan O₂ (% Vol).
 - b. Menggunakan *smoke opacity meter* hanya untuk mengukur opasitas gas buang (% HSU) dan *K-value* pada kendaraan berbahan bakar solar.
 - c. Menggunakan *sound level meter* (SLM) untuk mengukur intensitas bunyi untuk menentukan tingkat kebisingan suatu sumber bunyi (dBA), seperti *muffler* pada level *low respon* (Low: 35-100 dBA).
 - d. Menggunakan *digital tachometer* untuk mengukur putaran yang dihasilkan oleh mesin (RPM), seperti putaran mesin bensin maupun mesin diesel.
 - e. Menggunakan *digital thermometer* yang telah dilengkapi dengan *thermocouple* untuk mengukur temperatur (°C), seperti temperatur gas buang pada *muffler*.
 - f. Menggunakan *fuel flow meter* untuk mengukur konsumsi bahan bakar yang terjadi pada mesin (liter/jam) dengan bantuan *stopwatch*.

- g. Menggunakan *U-tube manometer* untuk mengukur tekanan balik (kPa), terutama tekanan balik pada *metallic catalytic converter*, *diesel particulate filter*, dan *eco-muffler*.
 - h. Menggunakan *electronic temperature controller* (ETC) yang dilengkapi dengan *thermocouple* untuk mengatur temperatur air yang digunakan untuk membersihkan saringan oli mesin bekas pada *oil filter cleaner* (°C).
 - i. Menggunakan *pressure gauge* untuk mengukur tekanan, seperti tekanan air pembersih pada *oil filter cleaner* (kg/cm²).
3. Menggunakan alat ukur pengujian sesuai dengan prosedur operasional standar (SOP) alat tersebut.
 4. Menggunakan standar pengujian yang masih berlaku, baik SNI, SAE maupun ISO sesuai dengan jenis pengujian yang dilakukan.

Sedangkan untuk mendapatkan reliabilitas data kuantitatif, maka pengujian dilakukan sebanyak minimal 3 kali untuk mendapatkan keajegan/konsistensi data dan dicari rata-ratanya.

O. Keabsahan Data

Untuk data kualitatif yang dikumpulkan berupa skrip wawancara, maka diperlukan uji keabsahan data yang dapat dilakukan dengan uji kredibilitas data. Uji kredibilitas data dilakukan dengan cara:

1. Pengecekan Anggota (*Member Check*)

Hal ini dilakukan dengan mendiskusikan hasil penelitian dengan sumber-sumber data yang telah memberikan data. Melalui diskusi ini para narasumber dapat

melengkapi data atau mengurangi data penelitian. Selanjutnya responden membubuhkan paraf atau tanda tangan pada skrip hasil wawancara tentang fungsi, bahan/material, dan harga teknologi ramah lingkungan yang ada di DU/DI atau di sekolah.

2. Triangulasi (Cek dan Ricek Data)

Hal ini dilakukan dengan cara triangulasi teknik, triangulasi sumber data, dan triangulasi waktu. Triangulasi teknik dilakukan dengan wawancara, observasi, dan dokumentasi. Triangulasi sumber data dilakukan dengan cara melakukan wawancara dengan kepala bengkel (*head of service department*) dan kepala cabang (*brand manager*) yang ada di DU/DI serta kepala bengkel otomotif di SMK Semen Gresik. Triangulasi waktu dapat dilakukan pada berbagai kesempatan, yaitu pagi, siang atau sore hari.

P. Teknik Analisis Data

Dalam penelitian ini, peneliti akan menggunakan teknik analisis data kombinasi (*mixed method*) agar diperoleh pemahaman yang lengkap, bila dibandingkan hanya dengan menggunakan satu metode saja (kualitatif atau kuantitatif).

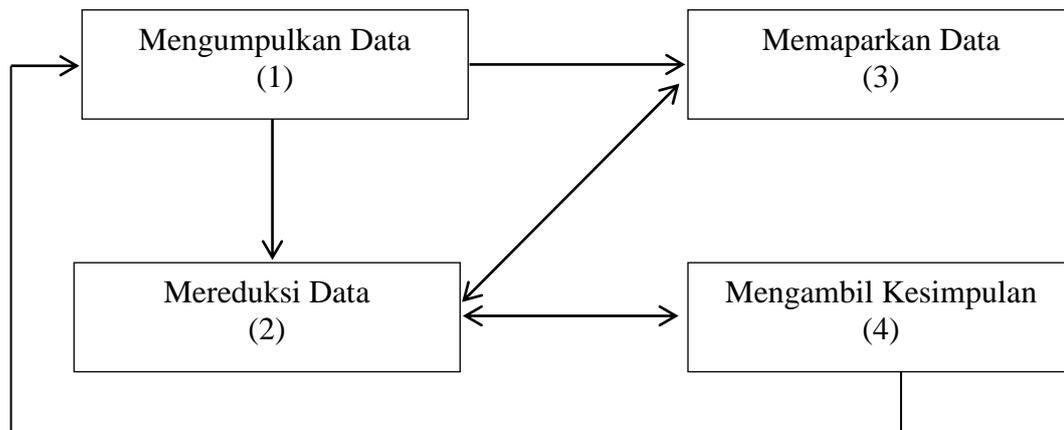
Semua data yang terkumpul dari hasil wawancara, pengamatan, dan dokumentasi dianalisa secara terus menerus selama penelitian ini dilakukan sampai selesai membuat laporan hasil penelitian. Data-data yang masuk kemudian dipilah (reduksi data) berdasarkan masing-masing pertanyaan penelitian kemudian dianalisis kembali secara induktif untuk menemukan data yang benar-benar

kredibel yang mampu menjawab masing-masing rumusan masalah. Reduksi data dilakukan berulang kali. Hasil reduksi data kemudian dianalisa kembali secara terus menerus sampai ditemukan data valid yang kemudian peneliti laporkan dalam bentuk paparan data penelitian kemudian hasilnya peneliti laporkan. Hasil paparan data kemudian dilakukan kesimpulan secara terus menerus sampai ditemukan kesimpulan yang valid. Jika kesimpulan valid belum didapat, maka peneliti menganalisa kembali data-data yang ada, direduksi kembali kemudian dianalisa lagi sampai ditemukan data yang valid. Hal ini sesuai dengan analisis data kualitatif model interaktif dari Miles dan Huberman (2007: 16-17) yang digunakan dalam penelitian ini.

Secara rinci, Miles dan Huberman menjelaskan bahwa analisis data model interaktif adalah upaya berlanjut, berulang dan terus menerus antara melakukan pengumpulan data (*data collection*), reduksi data (*data reduction*), penyajian data (*data display*), dan pengambilan kesimpulan (*conclusions drawing/verification*). Pengumpulan data adalah mengumpulkan data dari berbagai sumber yang dapat dipercaya. Kegiatan pengumpulan data dilakukan dengan metode survei, wawancara, dan pengamatan yang dilakukan secara terus menerus selama penelitian ini berlangsung. Reduksi data adalah bentuk analisis yang menajamkan, menggolongkan, mengarahkan, membuang data yang tidak perlu, dan mengorganisasikan data sedemikian rupa hingga menarik kesimpulan final dan diverifikasi. Penyajian data merupakan sekumpulan informasi yang dirancang guna menggabungkan informasi yang disusun dalam suatu bentuk terpadu dan dapat memberikan kemungkinan adanya pengambilan kesimpulan dan pengambilan

tindakan. Penyajian data biasanya dilakukan dalam berbagai jenis matriks, jaringan, tabel atau bagan yang disajikan dengan jelas untuk memberikan gambaran data valid yang sudah dikumpulkan dan diuji kebenarannya (validitasnya). Mengambil kesimpulan adalah kegiatan menarik kesimpulan hasil penelitian yang sudah dilakukan. Pengambilan kesimpulan merupakan jawaban atas rumusan masalah atau pertanyaan penelitian yang telah dibuat pada rencana penelitian (Miles dan Huberman, 2007: 16-20). Teknik analisis data kualitatif menggunakan metode deskriptif kualitatif.

Keempat tahapan analisis data kualitatif model interaktif dari Miles dan Huberman dapat dilihat pada Gambar 81 berikut ini.



Gambar 81. Komponen-komponen Analisis Data Model Interaktif
Sumber: Miles dan Huberman (2007: 20)

Sedangkan, data kuantitatif berupa data emisi gas buang (CO, O₂, CO₂, λ, dan HC), temperatur gas buang, tekanan gas buang, opasitas gas buang, tingkat kebisingan kendaraan, konsumsi bahan bakar, dan limbah oli yang dihasilkan akan dimasukkan ke dalam tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafik dan diagram

batang. Data hasil penelitian tersebut akan dibandingkan antara kelompok standar dan kelompok eksperimen.

Teknik analisis data kuantitatif menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Metode deskriptif kuantitatif digunakan untuk menganalisa data dengan cara menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya dan disajikan melalui tabel, grafik, dan diagram batang. Dalam metode deskriptif kuantitatif juga mencari kuatnya hubungan antara variabel melalui analisis. Hal ini dilaksanakan untuk memberikan gambaran apakah teknologi otomotif ramah lingkungan yang dikembangkan telah memenuhi ambang batas (baku mutu) yang telah ditetapkan oleh pemerintah dalam upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup untuk mendukung pengembangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN

A. Hasil Pengembangan Produk Awal

Untuk mengembangkan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK diperlukan: (1) penyusunan kajian lingkungan sekolah (KLS) yang tepat di sekolah berdasarkan estimasi perhitungan total beban emisi/polusi udara yang disumbangkan ke atmosfer, tingkat kebisingan di bengkel otomotif (*automotive workshop*), dan limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) yang dihasilkan oleh sekolah, (2) analisis kebutuhan (*needs assessment*) tentang teknologi otomotif ramah lingkungan di sekolah berdasarkan hasil survei di dunia usaha/dunia industri (DU/DI), (3) pengembangan teknologi otomotif ramah lingkungan di sekolah, (4) uji coba teknologi otomotif ramah lingkungan di sekolah, dan (5) hasil reduksi emisi gas buang, kebisingan, konsumsi bahan bakar, dan limbah oli dari hasil pengembangan teknologi otomotif ramah lingkungan di sekolah untuk menentukan keberhasilan model yang dikembangkan (efektivitas dan efisiensi).

Langkah pertama yang dilakukan untuk mengembangkan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK adalah menyusun KLS yang tepat di sekolah. Untuk menyusun KLS yang tepat di sekolah khususnya pada Program Keahlian Teknik Otomotif harus merujuk pada ISO 14000 atau ISO 14001 tentang Standar Manajemen Lingkungan dan OHSAS (*Occupational Health and Safety Assessment Series*) 18001: 2007 tentang Sistem Manajemen

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3). Oleh karena itu, untuk menyusun KLS diperlukan survei tentang konsumsi bahan bakar, baik premium maupun solar yang digunakan oleh siswa dan guru dalam proses pembelajaran di laboratorium/bengkel otomotif dan kebutuhan bahan bakar untuk transportasi dari rumah ke sekolah dan sebaliknya oleh semua warga sekolah.

Sekolah sebagai tempat berlangsungnya kegiatan belajar dan mengajar, berpotensi menyumbang emisi dari kegiatan/aktivitas yang ada di dalamnya. Aktivitas pembelajaran di SMK penyelenggara Program Keahlian Teknik Otomotif yang mengoperasikan mesin/*engine* dengan membakar bahan bakar (baik premium maupun solar) tentu memiliki potensi terhadap besarnya emisi yang dihasilkan (Arifin, 2016: 1747).

Hasil survei tentang konsumsi bahan bakar/tahun di SMK Semen Gresik digunakan sebagai dasar untuk mengestimasi total beban emisi yang disumbangkan ke atmosfer. Selain itu, juga diperlukan survei dan observasi tentang limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) yang dihasilkan oleh sekolah. Hasil survei tentang limbah saringan oli mesin bekas digunakan sebagai dasar untuk mengestimasi limbah oli yang dibuang oleh sekolah ke tempat sampah. Padahal limbah oli dari saringan oli bekas (*used oil filter*) ini akan mencemari tanah dan air.

Hasil survei tentang konsumsi bahan bakar di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik disajikan pada tabel 12 dan tabel 13 berikut ini.

Tabel 12. Konsumsi Bahan Bakar Premium di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik

| No. | Nama Engine | Kapasitas Silinder | Tipe Mesin | Teknologi Mesin | Jumlah | Konsumsi Bahan Bakar |
|--|---|--------------------|--------------|--|---------------|----------------------|
| 1 | <i>Engine Stand</i> Toyota Kijang 7K | 1800 cc | 4 Langkah | EFI tanpa <i>Catalytic</i> <i>Converter</i> | 1 unit | 80 liter/tahun |
| 2 | <i>Engine Stand</i> Toyota Kijang Type 7K | 1800 cc | 4 Langkah | Karburator tanpa <i>Catalytic</i> <i>Converter</i> | 1 unit | |
| 3 | <i>Engine Stand</i> Toyota Kijang Type 5K | 1486 cc | 4 Langkah | Karburator tanpa <i>Catalytic</i> <i>Converter</i> | 2 unit | |
| 4 | <i>Engine Stand</i> Toyota Kijang Type 4K | 1286 cc | 4 Langkah | Karburator tanpa <i>Catalytic</i> <i>Converter</i> | 2 unit | |
| 5 | <i>Engine Stand</i> Mitsubishi L300 | 1500 cc | 4 Langkah | Karburator tanpa <i>Catalytic</i> <i>Converter</i> | 1 unit | |
| Jumlah engine stand/mobil bensin tanpa catalytic converter | | | | | 7 unit | |
| 1 | <i>Engine Stand</i> Toyota Avanza | 1300 cc | 4 Langkah | EFI dengan <i>Catalytic</i> <i>Converter</i> | 1 unit | 10 liter/tahun |
| Jumlah engine stand/mobil bensin dengan catalytic converter | | | | | 1 unit | |
| 1 | Sepeda Motor Yamaha New Vega R | 105 cc | 4 Langkah | Karburator tanpa <i>Catalytic</i> <i>Converter</i> | 2 unit | 6 liter/tahun |
| 2 | Sepeda Motor Yamaha Jupiter MX | 135 cc | 4 Langkah | Karburator dengan <i>Catalytic</i> <i>Converter</i> | 1 unit | |
| 3 | Sepeda Motor Yamaha Zeon | 115 cc | 4 Langkah | Karburator tanpa <i>Catalytic</i> <i>Converter</i> | 1 unit | |
| 4 | Sepeda Motor Yamaha Vixion | 150 cc | 4 Langkah | EFI dengan <i>Catalytic</i> <i>Converter</i> | 1 unit | |
| 5 | Sepeda Motor Yamaha Lexam | 125 cc | 4 Langkah | Karburator tanpa <i>Catalytic</i> <i>Converter</i> | 1 unit | |
| 6 | Sepeda Motor Honda CB | 125 cc | 4 Langkah | Karburator tanpa <i>Catalytic</i> <i>Converter</i> | 1 unit | |
| Jumlah sepeda motor 4 langkah | | | | | 7 unit | |

| No. | Nama Engine | Kapasitas Silinder | Tipe Mesin | Teknologi Mesin | Jumlah | Konsumsi Bahan Bakar |
|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------|------------|---|---------------|------------------------|
| 1 | Sepeda Motor Suzuki Tornado | 110 cc | 2 Langkah | Karburator tanpa <i>Catalytic Converter</i> | 1 unit | 4 liter/tahun |
| Jumlah sepeda motor 2 langkah | | | | | 1 unit | |
| Konsumsi Bahan Bakar Premium | | | | | | 100 liter/tahun |

Tabel 13. Konsumsi Bahan Bakar Solar di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik

| No. | Nama Engine | Kapasitas Silinder | Tipe Mesin | Teknologi Mesin | Jumlah | Konsumsi Bahan Bakar |
|---|-------------------------------------|--------------------|------------|---|---------------|-----------------------|
| 1 | Mobil Isuzu C190 | 1900 cc | 4 Langkah | <i>Inline pump</i> tanpa <i>diesel particulate filter</i> (DPF) | 1 unit | 40 liter/tahun |
| 2 | <i>Engine Stand</i> Mitsubishi L300 | 2500 cc | 4 Langkah | <i>Rotary pump</i> tanpa <i>diesel particulate filter</i> (DPF) | 1 unit | |
| 3 | Mobil Daihatsu Taft GT | 2000 cc | 4 Langkah | <i>Rotary pump</i> tanpa <i>diesel particulate filter</i> (DPF) | 1 unit | |
| 4 | <i>Engine Stand</i> Isuzu C223 | 2300 cc | 4 Langkah | <i>Rotary pump</i> tanpa <i>diesel particulate filter</i> (DPF) | 1 unit | |
| Jumlah engine stand/mobil diesel tanpa DPF | | | | | 4 unit | |
| Konsumsi Bahan Bakar Solar | | | | | | 40 liter/tahun |

Sementara itu, data rekapitulasi hasil survei tentang konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor yang digunakan oleh siswa, guru, tenaga kependidikan, dan petugas layanan khusus di SMK Semen Gresik untuk transportasi pergi dan pulang sekolah disajikan pada tabel 14 berikut ini (secara lengkap data rekapitulasi konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor warga SMK Semen Gresik dapat dilihat di Lampiran 5).

Tabel 14. Konsumsi Bahan Bakar Premium dan Solar Kendaraan Bermotor Warga Sekolah di SMK Semen Gresik

| No. | Jenis Kendaraan | Jumlah Kendaraan (unit) | Total Jarak Tempuh/Tahun (km/tahun) | Konsumsi Bahan Bakar (Liter/Tahun) |
|--------------|--|-------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | Mobil bensin tanpa <i>catalytic converter</i> | 1 | 730 | 738,46 |
| 2 | Mobil bensin dengan <i>catalytic converter</i> | 4 | 19.710 | 2.523,67 |
| 3 | Mobil diesel tanpa <i>diesel particulate filter</i> (DPF) | 0 | 0 | 0 |
| 4 | Mobil diesel dengan <i>diesel particulate filter</i> (DPF) | 0 | 0 | 0 |
| 5 | Sepeda Motor 4 Langkah | 343 | 814.206 | 51.275,20 |
| 6 | Sepeda Motor 2 Langkah | 13 | 23.907,5 | 1.936,07 |
| Total | | 361 | 858.553 | 56.473,40 |

Secara lengkap, total konsumsi bahan bakar/tahun di SMK Semen Gresik berdasarkan hasil survei di bengkel otomotif dan kuesioner yang telah diisi oleh para guru, siswa, tenaga kependidikan, dan petugas layanan khusus di sekolah disajikan seperti pada tabel 15 berikut ini.

Tabel 15. Total Konsumsi Bahan Bakar/Tahun di SMK Semen Gresik

| Jenis Kendaraan | | Jumlah Kendaraan (unit) | Total Jarak Tempuh/Tahun (km/tahun) | Total Konsumsi Bahan Bakar/Tahun (L/tahun) | Rata-rata Jarak Tempuh Tahunan/Kendaraan | Rata-rata Efisiensi Bahan Bakar |
|---------------------------------------|--|-------------------------|-------------------------------------|--|--|---------------------------------|
| Mobil Penumpang / <i>Engine Stand</i> | Bensin – tanpa <i>catalytic converter</i> | 8 | 730 | 818 | 91 | 0,9 |
| | Bensin – dengan <i>catalytic converter</i> | 5 | 19.710 | 2.534 | 3.942 | 7,8 |
| | Diesel – tanpa <i>diesel particulate filter</i> (DPF) | 4 | 0 | 40 | 0 | - |
| | Diesel – dengan <i>diesel particulate filter</i> (DPF) | 0 | 0 | 0 | - | - |
| Sepeda Motor | Sepeda Motor 4 Langkah | 349 | 814.206 | 51.285 | 2.333 | 15,9 |
| | Sepeda Motor 2 Langkah | 14 | 23.912 | 1.936 | 1.708 | 12,4 |
| Total | | 380 | 858.558 | 56.613 | | |

Dari tabel 15 di atas dapat dilihat bahwa total konsumsi bahan bakar/tahun di SMK Semen Gresik mencapai 56.613 liter/tahun dengan jumlah kendaraan bermotor mencapai 380 unit, baik *engine stand*, mobil bensin, mobil diesel maupun sepeda motor dan total jarak tempuh kendaraan bermotor mencapai 858.558 km/tahun.

Hasil survey tingkat kebisingan di bengkel otomotif (*automotive workshop*) SMK Semen Gresik berkisar antara 81,4-106,7 dBA dengan rata-rata kebisingan

sebesar 86,7 dBA dengan menggunakan alat *sound level meter* (SLM). Dengan tingkat kebisingan sebesar 81,4-106,7 dBA tersebut, maka bengkel otomotif SMK Semen Gresik dalam kategori tingkat kebisingan sangat bising sampai menulikan dengan waktu kontak yang diijinkan hanya < 1/3-8 jam (Wardhana, 2001: 64).

Sedangkan hasil survei tentang limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik disajikan pada tabel 16 berikut ini.

Tabel 16. Limbah Saringan Oli Mesin Bekas (*Used Oil Filter*) di SMK Semen Gresik

| No | Jenis Kendaraan | Teknologi Mesin | Jumlah <i>Engine Stand/Mesin</i> (unit) | Jumlah Limbah Saringan Oli Bekas (<i>Used Oil Filter</i>)/Tahun (buah) |
|---------------------|--|---|---|--|
| 1 | <i>Engine stand/mesin bensin tanpa catalytic converter</i> | Karburator atau EFI | 8 | 16 |
| 2 | <i>Engine stand/mesin bensin dengan catalytic converter</i> | EFI | 4 | 8 |
| 3 | <i>Engine stand/mesin diesel tanpa diesel particulate filter (DPF)</i> | Konvensional (<i>inline pump</i> atau <i>rotary pump</i>) | 4 | 8 |
| Jumlah Total | | | | 32 |

Dari tabel 16 di atas dapat dilihat bahwa SMK Semen Gresik menghasilkan total limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) sebanyak 32 buah/tahun. Rata-rata dalam 1 (satu) buah saringan oli mesin bekas tersebut masih mengandung 0,5 liter limbah oli, maka potensi limbah oli yang dihasilkan sebesar 16 liter limbah oli/tahun yang akan mencemari tanah dan air.

Langkah kedua untuk mengembangkan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK adalah melakukan survei tentang teknologi otomotif ramah lingkungan di sejumlah Agen Tunggal Pemegang Merek (ATPM) kendaraan bermotor dan bengkel otomotif serta di sekolah sebagai bagian dari analisis kebutuhan (*needs assessment*). Secara lengkap, data hasil survei tentang teknologi otomotif ramah lingkungan yang ada di sejumlah ATPM kendaraan bermotor dan bengkel otomotif disajikan pada tabel 17 berikut ini.

Tabel 17. Hasil Survey Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan di ATPM dan Bengkel Otomotif

| No | Jenis Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan | Auto 2000 HR Muhammad (Toyota) | Astra Peugeot HR Muhammad | PT. United Motor Center (Suzuki) | Astra Daihatsu Waru | PT. Murni Berlian Motors (Mitsubishi) |
|----|---|--------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| 1 | <i>Catalytic Converter</i> | √ | √ | √ | √ | √ |
| 2 | <i>Diesel Particulate Filter (DPF)</i> | √ | √ | √ | √ | √ |
| 3 | <i>Positive Crankcase Ventilation (PCV)</i> | √ | √ | √ | √ | √ |
| 4 | <i>Exhaust Gas Recirculation (EGR)</i> | √ | √ | √ | √ | √ |
| 5 | <i>Eco-Muffler</i> | √ | √ | √ | √ | √ |
| 6 | <i>Oil Filter Cleaner</i> | √ | - | - | √ | - |
| 7 | <i>Exhauster</i> | √ | √ | √ | √ | √ |
| 8 | Mesin Perajang Sampah | √ | - | - | √ | √ |
| 9 | Tempat Sampah Terpisah | √ | √ | √ | √ | √ |
| 10 | Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) | √ | √ | √ | √ | √ |

Sementara itu, data hasil survei tentang sarana dan prasarana ramah lingkungan yang ada di SMK Semen Gresik seperti disajikan pada tabel 18 berikut ini.

Tabel 18. Hasil Survey Sarana dan Prasarana Ramah Lingkungan di SMK Semen Gresik

| No | Sarana dan Prasarana Ramah Lingkungan | SMK Semen Gresik |
|---|---|------------------|
| Kategori: Sarana dan Prasarana Sekolah Adiwiyata (<i>Green School</i>) | | |
| 1 | Komposter Aerob | √ |
| 2 | Mesin Perajang Sampah | √ |
| 3 | Lubang Resapan Biopori (LRB) | √ |
| 4 | Hutan Sekolah (<i>School Forest</i>) | √ |
| 5 | Tempat Sampah Terpisah | √ |
| 6 | Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) | √ |
| 7 | Sumur Resapan | √ |
| 8 | <i>Green House</i> | √ |
| 9 | Taman Tanaman Obat Keluarga (Toga) | √ |
| 10 | Takakura | √ |
| Kategori: Sarana Ramah Lingkungan Bidang Otomotif | | |
| 1 | <i>Positive Crankcase Ventilation (PCV)</i> | √ |
| 2 | <i>Exhaust Gas Recirculation (EGR)</i> | √ |
| 3 | <i>Air Injection System</i> | √ |
| 4 | <i>Exhauster</i> | √ |

Berdasarkan hasil survei sarana ramah lingkungan di sejumlah ATPM dan bengkel otomotif serta SMK Semen Gresik tersebut, maka untuk mengembangkan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK diperlukan teknologi otomotif ramah lingkungan di sekolah. Hal ini berdasarkan hasil analisis kebutuhan (*needs assessment*) dan skala prioritas

teknologi otomotif yang akan dikembangkan (lihat lampiran 8). Teknologi otomotif ramah lingkungan yang akan dikembangkan di sekolah bertujuan untuk mereduksi emisi gas buang yang ditimbulkan, opasitas gas buang, tingkat kebisingan kendaraan, konsumsi bahan bakar, dan limbah oli yang dihasilkan di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik. Hal ini juga sekaligus untuk memberikan situasi dan kondisi lingkungan pembelajaran yang nyaman dan menyehatkan khususnya di bengkel/laboratorium otomotif sekolah.

Adapun kebutuhan teknologi otomotif ramah lingkungan yang akan dikembangkan di SMK Semen Gresik untuk mengembangkan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK seperti disajikan pada tabel 19 berikut ini.

Tabel 19. Kebutuhan Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan yang Akan Dikembangkan di SMK Semen Gresik

| No | Jenis Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan | Skala Prioritas Penggunaan Teknologi |
|----|---|--------------------------------------|
| 1 | <i>Metallic Catalytic Converter</i> | Mesin Toyota Kijang Tipe 7K |
| 2 | <i>Diesel Particulate Filter (DPF)</i> | Mesin Diesel Isuzu C190 |
| 3 | <i>Eco-Muffler</i> | Mesin Toyota Kijang Tipe 5K |
| 4 | <i>Oil Filter Cleaner</i> | <i>Oil Filter</i> Untuk Mobil Bensin |

Berdasarkan hasil wawancara dengan 5 orang dari DU/DI dan 1 orang guru tentang teknologi *catalytic converter*, akan didapatkan data kualitatif seperti disajikan pada tabel 20 berikut ini (skrip wawancara bisa dilihat di lampiran 6 dan lampiran 7). Analisis data hasil wawancara dilakukan dengan cara: (1) pengumpulan data, (2) reduksi data, (2) penyajian data, dan (3) pengambilan kesimpulan.

Tabel 20. Data Kualitatif Hasil Wawancara Tentang Teknologi *Catalytic Converter*

| Interviewee | Pengumpulan Data | Reduksi Data | Penyajian Data | Pengambilan Kesimpulan |
|-------------|--|--|---|--|
| 1 | <p>Fungsi: <i>“Catalytic converter adalah alat yang digunakan untuk mereduksi emisi gas buang CO, HC, dan NOx yang dihasilkan oleh gas buang mesin bensin. Di mobil Toyota biasanya dipasang pada mobil Avanza, Rush, Innova 2.0, Yaris, Agya, Vios, Calya, Accord, Camry, dan lain-lain.”</i></p> <p>Bahan: <i>“Bahan catalytic converter biasanya adalah ceramic berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh)”.</i></p> <p>Harga: <i>“Rata-rata harga catalytic converter adalah Rp. 14.850.000,-”.</i></p> | <p>Fungsi: Alat untuk mereduksi emisi gas buang (CO, HC, dan NOx) mesin bensin</p> <p>Bahan: Ceramic berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium</p> <p>Harga: Rp. 14.850.000,-</p> | <p>Fungsi: Alat yang digunakan untuk mereduksi emisi gas buang (CO, HC, dan NOx) pada mesin bensin</p> <p>Bahan: Ceramic berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh)</p> <p>Harga: Rp. 14.850.000,-</p> | <p><i>Catalytic converter</i> adalah alat yang digunakan untuk mereduksi emisi gas buang seperti emisi CO, HC, dan NOx pada kendaraan berbahan bakar bensin, baik mobil maupun sepeda motor. Biasanya bahan <i>catalytic converter</i> terbuat dari ceramic berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh) dengan harga Rp. 14.850.000,-.</p> |
| 2 | <p>Fungsi: <i>“Catalytic converter merupakan peralatan kontrol emisi CO, HC, dan NOx yang dihasilkan oleh emisi gas buang dari motor bensin. Penggunaannya di mobil Daihatsu diantaranya adalah mobil Xenia, Terios, Grand Max, Ayla, Sigra, Luxio, Sirion, dan lain-lain”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Bahan catalytic converter adalah ceramic berlapis Platinum dan Rhodium”.</i></p> <p>Harga: <i>“Harga catalytic converter sekitar Rp. 14.850.000,-”.</i></p> | <p>Fungsi: Peralatan kontrol emisi CO, HC, dan NOx motor bensin</p> <p>Bahan: Ceramic berlapis Platinum dan Rhodium</p> <p>Harga: Rp. 14.850.000,-</p> | | |

| Interviewee | Pengumpulan Data | Reduksi Data | Penyajian Data | Pengambilan Kesimpulan |
|-------------|--|--|----------------|------------------------|
| 3 | <p>Fungsi: <i>“Catalytic converter adalah teknologi yang digunakan untuk mereduksi emisi gas buang mobil atau sepeda motor seperti emisi CO, HC, dan NOx. Ada banyak kendaraan Mitsubishi yang menggunakan teknologi ini. Diantaranya adalah Outlander, Mirage, dan yang terbaru Expander”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Umumnya bahan catalytic converter terbuat dari ceramic berlapis logam mulia seperti Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh)”.</i></p> <p>Harga: <i>“Kisaran harganya sekitar Rp. 14.850.000,-”.</i></p> | <p>Fungsi: Teknologi untuk mereduksi emisi CO, HC, dan NOx pada mobil atau sepeda motor</p> <p>Bahan: Ceramic berlapis logam mulia seperti Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh)</p> <p>Harga: Rp. 14.850.000,-</p> | | |
| 4 | <p>Fungsi: <i>“Catalytic converter adalah teknologi reduksi emisi yang umumnya digunakan untuk mengurangi emisi gas buang mobil bensin. Diantaranya produk Peugeot yang menggunakan catalytic converter adalah Peugeot 206, 207, 208 GTI, 3008, 306, 307, 308, 406, 407, dan yang terbaru Peugeot RCZ”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Bahan pembuatan catalytic converter biasanya terbuat dari ceramic berlapis Platinum dan Rhodium”.</i></p> <p>Harga: <i>“Harga selective catalytic reduction sekitar Rp. 14.850.000,-”.</i></p> | <p>Fungsi: Teknologi reduksi emisi mobil bensin</p> <p>Bahan: Ceramic berlapis Platinum dan Rhodium</p> <p>Harga: Rp. 14.850.000,-</p> | | |

| Interviewee | Pengumpulan Data | Reduksi Data | Penyajian Data | Pengambilan Kesimpulan |
|-------------|---|---|----------------|------------------------|
| 5 | <p>Fungsi: <i>“Catalytic converter itu adalah alat kontrol emisi yang digunakan untuk mereduksi emisi gas buang CO, HC, dan NOx pada kendaraan berbahan bakar bensin. Saat ini, semua produk Suzuki menggunakan teknologi catalytic converter ini. Misalnya Ertiga, Ignis, Splash, Karimun Estilo, Swift dan yang terbaru adalah All New Baleno”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Catalytic converter umumnya terbuat dari bahan ceramic berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh)”.</i></p> <p>Harga: <i>“Produk catalytic converter di Suzuki harganya sekitar Rp. 14.850.000,-”.</i></p> | <p>Fungsi: Alat kontrol emisi untuk mereduksi emisi CO, HC, dan NOx pada kendaraan berbahan bakar bensin</p> <p>Bahan: Ceramic berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh)</p> <p>Harga: Rp. 14.850.000,-</p> | | |
| 6 | <p>Fungsi: <i>“Catalytic converter adalah teknologi otomotif yang digunakan untuk mengurangi emisi gas buang CO, HC, dan NOx pada motor bensin. Semua mobil bensin keluaran terbaru pasti menggunakan teknologi ini. Diantaranya adalah Toyota Avanza, Daihatsu Xenia, Mitsubishi Expander, Suzuki Ertiga, Honda Mobilio, dan lain-lain”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Bahannya ceramic berlapis Platinum dan Rhodium”.</i></p> <p>Harga: <i>“Harga sekitar Rp. 15 jutaan”.</i></p> | <p>Fungsi: Teknologi otomotif untuk mengurangi emisi gas buang CO, HC, dan NOx pada motor bensin</p> <p>Bahan: Ceramic berlapis Platinum dan Rhodium</p> <p>Harga: Rp. 14.850.000,-</p> | | |

Dari hasil wawancara dengan 5 orang dari DU/DI dan 1 orang guru tentang teknologi *catalytic converter* disimpulkan bahwa *catalytic converter* adalah alat yang digunakan untuk mereduksi emisi gas buang seperti emisi CO, HC, dan NOx pada kendaraan berbahan bakar bensin, baik mobil maupun sepeda motor. Biasanya bahan *catalytic converter* terbuat dari ceramic berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh) dengan harga Rp. 14.850.000,-.

Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk mengembangkan *catalytic converter* dari logam transisi yang lebih murah, mudah didapatkan di pasaran, dan mudah dibuat menjadi *catalytic converter*, seperti plat kuningan sehingga disebut sebagai *metallic catalytic converter*.

Pemilihan plat kuningan sebagai bahan dasar pembuatan *metallic catalytic converter* merujuk dari pendapat Obert (1973) dan Dowden (1970) yang menyatakan bahwa salah satu logam yang dapat dijadikan sebagai bahan pembuatan *catalytic converter* adalah plat kuningan (Cu+Zn).

Proses pengembangan *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik melibatkan para siswa, guru, dan tenaga teknis agar terjadi *transfer knowledge* sekaligus sebagai bentuk aktivitas lingkungan berbasis partisipatif (komponen ke-3 adiwiyata/*green school*).

Berdasarkan hasil wawancara dengan 5 orang dari DU/DI dan 1 orang guru tentang teknologi *diesel particulate filter* (DPF), akan didapatkan data kualitatif seperti disajikan pada tabel 21 berikut ini (skrip wawancara bisa dilihat di lampiran 6 dan 7). Analisis data hasil wawancara dilakukan dengan cara: (1) pengumpulan data, (2) reduksi data, (2) penyajian data, dan (3) pengambilan kesimpulan.

Tabel 21. Data Kualitatif Hasil Wawancara Tentang Teknologi Diesel Particulate Filter (DPF)

| Interviewee | Pengumpulan Data | Reduksi Data | Penyajian Data | Pengambilan Kesimpulan |
|-------------|---|---|--|--|
| 1 | <p>Fungsi: <i>“Diesel particulate filter (DPF) adalah alat yang digunakan untuk mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat) yang dihasilkan oleh asap gas buang mesin diesel. DPF di mobil Toyota biasanya dipasang pada mobil Innova Diesel D-4D dan Fortuner”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Bahan diesel particulate filter (DPF) biasanya adalah alumina-silica berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh)”.</i></p> <p>Harga: <i>“Rata-rata harga produk DPF terbaru sekitar Rp. 14.850.000,-”.</i></p> | <p>Fungsi: Alat untuk mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat) mesin diesel</p> <p>Bahan: Alumina-silica berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium</p> <p>Harga: Rp. 14.850.000,-</p> | <p>Fungsi: Alat yang digunakan untuk mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat) pada mesin diesel</p> <p>Bahan: Alumina-silica berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh)</p> <p>Harga: Rp. 14.850.000,-</p> | <p><i>Diesel particulate filter (DPF) adalah alat yang digunakan untuk mereduksi opasitas gas buang atau emisi partikulat (PM₁₀) pada kendaraan berbahan bakar solar. Biasanya bahan diesel particulate filter (DPF) terbuat dari alumina-silica berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh) dengan harga Rp. 14.850.000,-.</i></p> |
| 2 | <p>Fungsi: <i>“DPF merupakan peralatan kontrol emisi partikulat yang dihasilkan oleh emisi gas buang dari motor diesel. Penggunaannya di mobil Daihatsu diantaranya adalah mobil Taft Hiline F70 GTL terbaru, dan lain-lain”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Biasanya bahan DPF terbuat dari alumina-silica berlapis Platinum dan Rhodium” dengan suhu kalsinasi tertentu.</i></p> <p>Harga: <i>“Harga DPF alumina silica berlapis Pt dan Rh sekitar Rp. 14.850.000,-”.</i></p> | <p>Fungsi: Peralatan kontrol emisi partikulat pada motor diesel</p> <p>Bahan: Alumina-silica berlapis Platinum dan Rhodium</p> <p>Harga: Rp. 14.850.000,-</p> | | |

| Interviewee | Pengumpulan Data | Reduksi Data | Penyajian Data | Pengambilan Kesimpulan |
|-------------|--|--|----------------|------------------------|
| 3 | <p>Fungsi: <i>“Diesel particulate filter merupakan teknologi otomotif yang digunakan untuk mereduksi opasitas gas buang pada mobil diesel. Kendaraan Mitsubishi yang menggunakan teknologi DPF ini adalah Mitsubishi Pajero Sport, Mitsubishi Strada, dan Mitsubishi Fuso Eco-Canter”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Umumnya bahan diesel particulate filter terbuat dari alumina-silica yang juga berlapis logam mulia seperti Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh)”.</i></p> <p>Harga: <i>“Kisaran harganya kalau di Mitsubishi sekitar Rp. 14.850.000,-”.</i></p> | <p>Fungsi: Teknologi otomotif untuk mereduksi emisi opasitas gas buang pada mobil diesel</p> <p>Bahan: Alumina-silica berlapis logam mulia seperti Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh)</p> <p>Harga: Rp. 14.850.000,-</p> | | |
| 4 | <p>Fungsi: <i>“DPF adalah teknologi reduksi emisi yang umumnya digunakan untuk mengurangi emisi partikulat mobil diesel. Mobil Peugeot yang menggunakan teknologi DPF adalah Peugeot 208, Peugeot 806, dan yang terbaru Peugeot 508”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Pembuatan DPF biasanya terbuat dari bahan alumina-silica berlapis Platinum dan Rhodium”.</i></p> <p>Harga: <i>“Harga produk diesel particulate filter di Astra Peugeot sekitar Rp. 14.850.000,-”.</i></p> | <p>Fungsi: Teknologi reduksi emisi partikulat mobil diesel</p> <p>Bahan: Alumina-silica berlapis Platinum dan Rhodium</p> <p>Harga: Rp. 14.850.000,-</p> | | |

| Interviewee | Pengumpulan Data | Reduksi Data | Penyajian Data | Pengambilan Kesimpulan |
|-------------|---|--|----------------|------------------------|
| 5 | <p>Fungsi: <i>“Diesel particulate filter (DPF) merupakan alat kontrol emisi yang digunakan untuk mereduksi opasitas gas buang pada kendaraan berbahan bakar solar. Produk Suzuki terbaru yang menggunakan teknologi diesel particulate filter ini adalah Suzuki Ertiga Hybrid yang mampu menghasilkan efisiensi bahan bakar hingga 22 km/liter”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Diesel particulate filter produk Suzuki umumnya terbuat dari bahan alumina-silica berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh)”.</i></p> <p>Harga: <i>“Produk diesel particulate filter di Suzuki harganya Rp. 14.850.000,-”.</i></p> | <p>Fungsi: Alat kontrol emisi untuk mereduksi opasitas gas buang pada kendaraan berbahan bakar solar</p> <p>Bahan: Alumina-silica berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh)</p> <p>Harga: Rp. 14.850.000,-</p> | | |
| 6 | <p>Fungsi: <i>“DPF adalah teknologi otomotif yang digunakan untuk mengurangi emisi partikulat pada motor diesel. Penggunaan DPF pada mobil terbaru diantaranya adalah Toyota Innova diesel, Mitsubishi Pajero Sport, dan Toyota Fortuner”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Bahan DPF adalah alumina-silica berlapis Platinum dan Rhodium”.</i></p> <p>Harga: <i>“Harga sekitar Rp. 15 jutaan”.</i></p> | <p>Fungsi: Teknologi otomotif untuk mengurangi emisi partikulat pada motor diesel</p> <p>Bahan: Alumina-silica berlapis Platinum dan Rhodium</p> <p>Harga: Rp. 14.850.000,-</p> | | |

Dari hasil wawancara dengan 5 orang dari DU/DI dan 1 orang guru tentang teknologi *diesel particulate filter* (DPF) disimpulkan bahwa *diesel particulate filter* (DPF) adalah alat yang digunakan untuk mereduksi opasitas gas buang atau emisi partikulat (PM₁₀) pada kendaraan berbahan bakar solar. Biasanya *bahan diesel particulate filter* (DPF) terbuat dari alumina-silica berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh) dengan harga Rp. 14.850.000,-.

Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk mengembangkan *diesel particulate filter* (DPF) dari logam transisi yang lebih murah, mudah didapatkan di pasaran, dan mudah dibuat menjadi DPF, seperti plat *stainless steel* yang dikombinasikan dengan pemakaian 110 gr *glasswool* yang dibentuk menjadi sarang lebah logam atau disebut sebagai *metallic honeycomb diesel particulate filter*.

Pemilihan plat *stainless steel* sebagai bahan dasar pembuatan *diesel particulate filter* (DPF) merujuk dari pendapat Obert (1973) dan Dowden (1970) yang menyatakan bahwa salah satu logam yang dapat dijadikan sebagai bahan pembuatan *diesel oxidation catalyst* adalah *stainless steel*, dimana *stainless steel* sendiri merupakan paduan antara besi (Fe) dan chrom (Cr).

Proses pengembangan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* di SMK Semen Gresik melibatkan para siswa, guru, dan tenaga teknis agar terjadi *transfer knowledge* sekaligus sebagai bentuk aktivitas lingkungan berbasis partisipatif (komponen ke-3 adiwiyata/*green school*).

Berdasarkan hasil wawancara dengan 5 orang dari DU/DI dan 1 orang guru tentang teknologi *muffler* ramah lingkungan (*eco-muffler*), akan didapatkan data kualitatif seperti disajikan pada tabel 22 berikut ini (skrip wawancara bisa dilihat di

lampiran 6 dan lampiran 7). Analisis data hasil wawancara dilakukan dengan cara: (1) pengumpulan data, (2) reduksi data, (2) penyajian data, dan (3) pengambilan kesimpulan.

Tabel 22. Data Kualitatif Hasil Wawancara Tentang Teknologi *Eco-Muffler*

| Interviewee | Pengumpulan Data | Reduksi Data | Penyajian Data | Pengambilan Kesimpulan |
|-------------|--|--|---|--|
| 1 | <p>Fungsi: <i>“Eco-muffler adalah alat yang digunakan untuk mereduksi tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot mesin bensin dan mesin diesel. Eco-muffler dengan jenis reverse flow muffler dipasang hampir di semua jenis dan tipe mobil Toyota, seperti Avanza, Rush, Innova dan Fortuner”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Bahan eco-muffler biasanya adalah plat galvanis dan plat stainless steel”.</i></p> <p>Harga: <i>“Rata-rata harga produk eco-muffler produk Toyota berkisar antara Rp. 1.750.000-Rp. 2.500.000”.</i></p> | <p>Fungsi: Alat untuk mereduksi tingkat kebisingan dari knalpot mesin bensin dan mesin diesel</p> <p>Bahan: Plat galvanis dan plat stainless steel</p> <p>Harga: Rp. 1.750.000-Rp. 2.500.000</p> | <p>Fungsi: Alat yang digunakan untuk mereduksi tingkat kebisingan pada knalpot mesin bensin dan mesin diesel dengan cara menurunkan tekanan dan temperatur gas buang.</p> <p>Bahan: Plat galvanis atau plat stainless steel</p> <p>Harga: Rp. 1.750.000-Rp. 2.500.000</p> | <p><i>Eco-muffler</i> adalah alat yang digunakan untuk mereduksi tingkat kebisingan pada knalpot mesin bensin dan mesin diesel dengan cara menurunkan tekanan dan temperatur gas buang. Biasanya bahan <i>eco-muffler</i> jenis <i>reverse flow muffler</i> atau <i>two pass tube type muffler</i> terbuat dari plat galvanis atau plat <i>stainless steel</i> dengan kisaran harga Rp. 1.750.000-Rp. 2.500.000.</p> |
| 2 | <p>Fungsi: <i>“Eco-muffler merupakan peralatan kontrol tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot kendaraan bermotor. Penggunaan eco-muffler jenis <i>two pass tube type muffler</i> hampir di semua produk mobil Daihatsu, seperti Xenia, Terios, Sigra, dan Ayla”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Biasanya bahan eco-muffler terbuat dari plat galvanis dan plat stainless steel dengan tebal 1-2 mm”.</i></p> <p>Harga: <i>“Harga eco-muffler produk Daihatsu berkisar antara Rp. 1.750.000-Rp. 2.000.000”.</i></p> | <p>Fungsi: Peralatan kontrol tingkat kebisingan pada knalpot kendaraan bermotor</p> <p>Bahan: Plat galvanis atau plat stainless steel</p> <p>Harga: Rp. 1.750.000-Rp. 2.000.000</p> | | |

| Interviewee | Pengumpulan Data | Reduksi Data | Penyajian Data | Pengambilan Kesimpulan |
|-------------|--|--|----------------|------------------------|
| 3 | <p>Fungsi: <i>“Eco-muffler merupakan teknologi otomotif yang digunakan untuk mereduksi tingkat kebisingan pada knalpot kendaraan bermotor dengan cara menurunkan tekanan dan temperatur gas buang. Kendaraan Mitsubishi yang menggunakan teknologi eco-muffler ini adalah Mitsubishi Pajero Sport, Mitsubishi Strada, dan Mitsubishi Fuso”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Umumnya bahan eco-muffler terbuat dari plat galvanis atau plat stainless steel”.</i></p> <p>Harga: <i>“Kisaran harga eco-muffler kalau di Mitsubishi sekitar Rp. 1.750.000-Rp. 2.500.000”.</i></p> | <p>Fungsi: Teknologi otomotif untuk mereduksi tingkat kebisingan pada kendaraan bermotor dengan cara menurunkan tekanan dan temperatur gas buang</p> <p>Bahan: Plat galvanis atau plat stainless steel</p> <p>Harga: Rp. 1.750.000-Rp. 2.500.000</p> | | |
| 4 | <p>Fungsi: <i>“Eco-muffler adalah teknologi reduksi tingkat kebisingan knalpot yang dipasang pada sistem pembuangan kendaraan bermotor. Mobil Peugeot umumnya menggunakan eco-muffler jenis reverse flow muffler”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Bahan eco-muffler terbuat dari plat galvanis atau plat stainless steel”.</i></p> <p>Harga: <i>“Harga produk eco-muffler di Astra Peugeot sekitar Rp. 2.250.000-Rp. 2.500.000”.</i></p> | <p>Fungsi: Teknologi reduksi tingkat kebisingan pada sistem pembuangan kendaraan bermotor</p> <p>Bahan: Plat galvanis dan plat stainless steel</p> <p>Harga: Rp. 2.250.000-Rp. 2.500.000</p> | | |

| Interviewee | Pengumpulan Data | Reduksi Data | Penyajian Data | Pengambilan Kesimpulan |
|-------------|---|--|----------------|------------------------|
| 5 | <p>Fungsi: <i>“Eco-muffler merupakan teknologi untuk mengurangi tingkat kebisingan dari knalpot motor diesel dan motor bensin. Mobil produk Suzuki kebanyakan menggunakan eco-muffler jenis reverse flow muffler untuk mendapatkan kebisingan yang rendah”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Bahan pembuatan eco-muffler adalah plat galvanis dan plat stainless steel”.</i></p> <p>Harga: <i>“Produk eco-muffler di Suzuki harganya sekitar Rp. 1.750.000,-”.</i></p> | <p>Fungsi: Teknologi untuk mengurangi tingkat kebisingan pada knalpot motor diesel dan motor bensin</p> <p>Bahan: Plat galvanis atau plat stainless steel</p> <p>Harga: Rp. 1.750.000,-</p> | | |
| 6 | <p>Fungsi: <i>“Eco-muffler adalah alat kontrol reduksi kebisingan kendaraan dengan cara menurunkan tekanan dan temperatur gas buang saat melewati muffler. Eco-muffler digunakan pada semua mobil keluaran terbaru agar didapatkan tingkat kebisingan yang rendah dan memenuhi baku mutu kebisingan”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Bahan eco-muffler adalah plat galvanis atau plat stainless steel”.</i></p> <p>Harga: <i>“Harga sekitar Rp 1.750.000-Rp. 2.000.000”.</i></p> | <p>Fungsi: Alat kontrol reduksi kebisingan kendaraan dengan cara menurunkan tekanan dan temperatur gas buang</p> <p>Bahan: Plat galvanis atau plat stainless steel</p> <p>Harga: Rp. 1.750.000-Rp. 2.000.000</p> | | |

Dari hasil wawancara dengan 5 orang dari DU/DI dan 1 orang guru tentang teknologi *muffler* ramah lingkungan (*eco-muffler*) disimpulkan bahwa *eco-muffler* adalah alat yang digunakan untuk mereduksi tingkat kebisingan pada knalpot mesin bensin dan mesin diesel dengan cara menurunkan tekanan dan temperatur gas buang. Biasanya bahan *eco-muffler* jenis *reverse flow muffler* atau *two pass tube type muffler* terbuat dari plat galvanis atau *plat stainless steel* dengan kisaran harga Rp. 1.750.000-Rp. 2.500.000.

Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk mengembangkan *eco-muffler* jenis *straight-through type muffler* yang terbuat dari plat besi tebal 1 mm sehingga lebih murah, mudah didapatkan di pasaran, dan mudah dibuat menjadi *eco-muffler* yang dikombinasikan dengan pemakaian 1000 gr *glasswool* sebagai material penyerap tekanan dan suhu gas buang sehingga akan didapatkan reduksi kebisingan yang signifikan.

Pemilihan *eco-muffler* jenis *straight-through type muffler* merujuk dari pendapat Baxa (1982) yang menyatakan bahwa *muffler* tipe ini mempunyai kelebihan yaitu tekanan balik (*back pressure*) yang rendah atau bahkan tidak ada sama sekali sehingga *muffler* tipe ini sangat efektif untuk frekuensi tinggi.

Proses pengembangan *eco-muffler* jenis *straight-through type muffler* yang dikombinasikan dengan pemakaian 1000 gr *glasswool* di SMK Semen Gresik melibatkan para siswa, guru, dan tenaga teknis agar terjadi *transfer knowledge* sekaligus sebagai bentuk aktivitas lingkungan berbasis partisipatif (komponen ke-3 sekolah adiwiyata/*green school*).

Berdasarkan hasil wawancara dengan 5 orang dari DU/DI dan 1 orang guru tentang teknologi *oil filter cleaner*, akan didapatkan data kualitatif seperti disajikan pada tabel 23 berikut ini (skrip wawancara bisa dilihat di lampiran 6 dan lampiran 7). Analisis data hasil wawancara dilakukan dengan cara: (1) pengumpulan data, (2) reduksi data, (2) penyajian data, dan (3) pengambilan kesimpulan.

Tabel 23. Data Kualitatif Hasil Wawancara Tentang Teknologi Oil Filter Cleaner

| Interviewee | Pengumpulan Data | Reduksi Data | Penyajian Data | Pengambilan Kesimpulan |
|-------------|--|---|--|--|
| 1 | <p>Fungsi: <i>“Oil filter cleaner adalah alat yang digunakan untuk mereduksi limbah oli yang dihasilkan oleh saringan oli mesin bekas (used oil filter). Teknologi ini pada prinsipnya adalah mengalirkan air bertemperatur 90°C dengan tekanan 0,5-1 kg/cm² melalui nozzle menuju ke saringan oli mesin bekas dengan waktu pembersihan sekitar 5-10 menit”.</i></p> <p>Bahan: <i>“Rangka oil filter cleaner terbuat dari besi kotak dan plat besi, tempat penampungan air dan limbah oli terbuat dari acrylic, heater yang digunakan sebesar 1000 Watt dan menggunakan nozzle 3 buah secara seri”.</i></p> <p>Harga: <i>“Harga produk oil filter cleaner di pasaran Rp. 10.000.000”.</i></p> | <p>Fungsi: Alat untuk mereduksi limbah oli dari saringan oli mesin bekas (<i>used oil filter</i>)</p> <p>Bahan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rangka <i>oil filter cleaner</i> terbuat dari besi kotak dan plat besi • Tempat penampungan air dan limbah oli terbuat dari <i>acrylic</i> • <i>Heater</i> yang digunakan sebesar 1000 Watt • <i>Nozzle</i> sebanyak 3 buah yang disusun secara seri <p>Harga: Rp. 10.000.000</p> | <p>Fungsi: Alat yang digunakan untuk membersihkan saringan oli mesin bekas (<i>used oil filter</i>) dengan temperatur air sebesar 80-90°C, tekanan air 0,5-1 kg/cm² dan waktu pembersihan sekitar 5-20 menit.</p> <p>Bahan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rangka <i>oil filter cleaner</i> terbuat dari besi kotak dan plat besi • Tempat penampungan air dan limbah oli terbuat dari <i>acrylic</i> • <i>Heater</i> yang digunakan sebesar 1000 Watt • <i>Nozzle</i> sebanyak 3 buah yang disusun secara seri <p>Harga: Rp. 10.000.000</p> | <p><i>Oil filter cleaner</i> adalah alat yang digunakan untuk membersihkan saringan oli mesin bekas (<i>used oil filter</i>) dengan temperatur air sebesar 80-90°C, tekanan air 0,5-1 kg/cm² dan waktu pembersihan sekitar 5-20 menit sehingga dapat mereduksi limbah oli yang dihasilkan untuk mencegah terjadinya pencemaran tanah dan air. Biasanya, rangka <i>oil filter cleaner</i> terbuat dari besi kotak dan plat besi, tempat penampungan air dan limbah oli terbuat dari <i>acrylic</i>, <i>heater</i> yang digunakan sebesar 1000 Watt, <i>nozzle</i> yang digunakan sebanyak 3 buah yang disusun secara seri dengan kisaran harga Rp. 10.000.000.</p> |
| 2 | <p>Fungsi: <i>“Oil filter cleaner adalah pembersih filter oli bekas agar tidak mencemari tanah dan air. Untuk mengoperasikan oil filter cleaner diperlukan suhu 80-85°C, tekanan air 0,5-1 kg/cm², dan waktu pembersihan antara 10-20 menit”.</i></p> | <p>Fungsi: Pembersih filter oli bekas untuk mencegah pencemaran lingkungan, khususnya pencemaran tanah dan air</p> <p>Bahan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Besi kotak dan plat besi untuk pembuatan rangka • Wadah air dan limbah oli menggunakan <i>acrylic</i> | | |

| | | | | |
|--|--|---|--|--|
| | <p><u>Bahan:</u> <i>“Oil filter cleaner terbuat dari besi kotak dan plat besi untuk bagian rangkanya, wadah air dan limbah menggunakan bahan acrylic, dilengkapi dengan 3 nozzle penyemprot, dan bisa menggunakan heater 1000 Watt”.</i></p> <p><u>Harga:</u> <i>“Harga oil filter cleaner di pasaran sekitar Rp. 10.000.000”.</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • 3 nozzle penyemprot • Heater memiliki daya 1000 Watt <p><u>Harga:</u> Rp. 10.000.000</p> | | |
|--|--|---|--|--|

Dari hasil wawancara dengan 2 orang dari DU/DI tentang teknologi *oil filter cleaner* disimpulkan bahwa *oil filter cleaner* adalah alat yang digunakan untuk membersihkan saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) dengan temperatur air sebesar 80-90°C, tekanan air 0,5-1 kg/cm² dan waktu pembersihan sekitar 5-20 menit sehingga dapat mereduksi limbah oli yang dihasilkan untuk mencegah terjadinya pencemaran tanah dan air. Biasanya, rangka *oil filter cleaner* terbuat dari besi kotak dan plat besi, tempat penampungan air dan limbah oli terbuat dari *acrylic*, *heater* yang digunakan sebesar 1000 Watt, *nozzle* yang digunakan sebanyak 3 buah yang disusun secara seri dengan kisaran harga Rp. 10.000.000.

Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk mengembangkan *oil filter cleaner* yang lebih *portable* sehingga lebih murah, menggunakan bahan/material yang mudah didapatkan di pasaran, dan menggunakan *heater* yang lebih rendah dayanya untuk menghemat pemakaian listrik.

Proses pengembangan *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik melibatkan para siswa, guru, dan tenaga teknis agar terjadi *transfer knowledge* sekaligus sebagai bentuk aktivitas lingkungan berbasis partisipatif (komponen ke-3 sekolah adiwiyata/*green school*).

Spesifikasi *oil filter cleaner* yang dikembangkan dalam invensi ini adalah: (1) rangka *oil filter cleaner* dibuat dari besi kotak dengan ukuran 30 x 30 mm, tebal 1,2 mm, lebar 500 mm, dan tinggi total 1209,5 mm; (2) bak penampung oli dibuat dari box plastik transparan dengan ukuran 456 x 321 x 258 mm; (3) bak penampung air panas dibuat dari box plastik dengan ukuran 456 x 321 x 258 mm; (4) pompa air yang digunakan memiliki daya 125 Watt; (5) *oil filter cleaner* dilengkapi dengan

dengan *pressure gauge* untuk mengukur tekanan air; (6) *heater* yang digunakan untuk memanaskan air memiliki daya 500 Watt; (7) jumlah *nozzle* sebanyak 4 buah yang disusun secara parallel agar memberikan tekanan air yang sama pada masing-masing *oil filter* bekas; dan (8) *oil filter cleaner* dilengkapi dengan *electronic temperature controller* (ETC) untuk mengatur temperatur air pembersih dan *timer* untuk mengatur waktu pembersihan *oil filter* bekas.

Data hasil uji coba awal pengembangan teknologi otomotif ramah lingkungan seperti *metallic catalytic converter*, *diesel particulate filter* (DPF), *eco-muffler*, dan *oil filter cleaner* berdasarkan hasil studi kebutuhan (*needs assessment*) di SMK Semen Gresik adalah sebagai berikut.

1. Data Hasil Uji Coba Awal (*Preliminary Field Testing*)

a. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan Terhadap Reduksi Emisi Gas Buang, Kebisingan, dan Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 24 berikut ini menyajikan data rata-rata hasil pengujian emisi gas buang, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar pada mesin Toyota Kijang tipe 7K (1800 cc) berteknologi karburator dengan menggunakan knalpot standar di SMK Semen Gresik.

Tabel 24. Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Standar Pada Mesin Toyota Kijang Tipe 7K di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Lambda (λ) | Temperatur ($^{\circ}$ C) | CO (% Vol) | COcor (% Vol) | CO ₂ (% Vol) | HC (ppm Vol) | O ₂ (% Vol) | SPL (dBA) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (50 mL/detik) |
|---------------------|----------------------|----------------------------|------------|---------------|-------------------------|--------------|------------------------|-----------|---------------------|------------------------------------|
| 750 | 0,606 | 107 | 4,61 | 4,61 | 4,15 | 425 | 4,5 | 81,4 | 0,96 | 39,58 |
| 1000 | 0,775 | 119 | 4,27 | 4,27 | 4,68 | 399 | 4,9 | 84,7 | 1,62 | 37,61 |
| 1250 | 0,805 | 137 | 3,95 | 3,95 | 5,43 | 320 | 5,3 | 86,4 | 2,53 | 35,73 |
| 1500 | 0,872 | 155 | 3,84 | 3,84 | 5,87 | 275 | 6,2 | 88,2 | 3,13 | 34,61 |
| 1750 | 0,878 | 171 | 3,32 | 3,32 | 6,12 | 245 | 6,3 | 89,7 | 3,86 | 33,45 |
| 2000 | 0,890 | 198 | 3,14 | 3,14 | 6,78 | 213 | 6,6 | 90,6 | 4,77 | 32,79 |
| 2250 | 0,918 | 203 | 3,02 | 3,02 | 7,18 | 179 | 6,6 | 92,5 | 6,15 | 31,45 |
| 2500 | 0,928 | 218 | 2,97 | 2,97 | 7,99 | 138 | 6,9 | 92,9 | 7,67 | 30,97 |
| 2750 | 0,976 | 245 | 2,84 | 2,84 | 8,23 | 106 | 7,1 | 93,4 | 8,80 | 27,64 |
| 3000 | 0,981 | 257 | 2,67 | 2,67 | 10,58 | 87 | 7,1 | 95,8 | 9,65 | 25,51 |
| 3250 | 1,100 | 285 | 2,51 | 2,51 | 11,76 | 66 | 7,1 | 97,7 | 10,80 | 24,30 |
| 3500 | 1,372 | 297 | 2,13 | 2,13 | 11,63 | 75 | 7,2 | 99,4 | 11,62 | 23,69 |
| 3750 | 1,404 | 304 | 1,96 | 1,96 | 11,18 | 81 | 7,2 | 100,5 | 12,05 | 23,12 |
| 4000 | 1,410 | 309 | 1,78 | 1,78 | 11,07 | 94 | 7,4 | 101,8 | 13,23 | 22,56 |
| 4250 | 1,412 | 311 | 1,55 | 1,55 | 10,60 | 108 | 7,4 | 102,4 | 14,00 | 22,87 |
| 4500 | 1,424 | 317 | 1,39 | 1,39 | 10,45 | 129 | 7,5 | 102,9 | 14,78 | 22,40 |
| 4750 | 1,429 | 346 | 1,27 | 1,27 | 9,36 | 145 | 7,5 | 103,3 | 15,30 | 21,52 |
| 5000 | 1,449 | 354 | 1,15 | 1,15 | 9,21 | 201 | 7,6 | 103,9 | 17,78 | 20,30 |

Secara umum, penggunaan knalpot standar pada mesin Toyota Kijang tipe 7K (1800 cc) berteknologi karburator cenderung menghasilkan emisi gas buang, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar yang tinggi. Hal ini disebabkan karena tidak adanya perlakuan pada gas buang (*exhaust gas aftertreatment*) pada sistem pembuangan kendaraan.

Dengan memberikan perlakuan pada gas buang dengan cara menambahkan *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 7K berteknologi

karburator, akan dihasilkan emisi gas buang, kebisingan dan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah seperti disajikan pada tabel 25 berikut ini.

Tabel 25. Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Berbahan Dasar Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | CO (% Vol) | COcor (% Vol) | CO ₂ (% Vol) | HC (ppm Vol) | O ₂ (% Vol) | SPL (dBA) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (50 mL/detik) |
|---------------------|----------------------|-----------------|------------|---------------|-------------------------|--------------|------------------------|-----------|---------------------|------------------------------------|
| 750 | 0,704 | 144 | 0,94 | 0,94 | 5,47 | 110 | 3,1 | 74,2 | 1,21 | 40,45 |
| 1000 | 0,835 | 154 | 0,89 | 0,89 | 5,51 | 106 | 3,3 | 76,3 | 1,87 | 38,34 |
| 1250 | 0,857 | 164 | 0,88 | 0,88 | 6,22 | 96 | 4,0 | 79,6 | 2,93 | 36,67 |
| 1500 | 0,876 | 174 | 0,88 | 0,88 | 7,27 | 95 | 4,4 | 82,8 | 3,86 | 35,73 |
| 1750 | 0,957 | 184 | 0,66 | 0,66 | 7,31 | 91 | 4,7 | 83,6 | 4,22 | 34,65 |
| 2000 | 0,971 | 207 | 0,60 | 0,60 | 7,73 | 88 | 4,7 | 85,7 | 5,73 | 33,78 |
| 2250 | 0,971 | 225 | 0,60 | 0,60 | 8,76 | 81 | 4,7 | 86,8 | 6,63 | 32,61 |
| 2500 | 0,982 | 248 | 0,59 | 0,59 | 9,87 | 76 | 4,9 | 87,0 | 8,98 | 31,79 |
| 2750 | 0,997 | 262 | 0,59 | 0,59 | 10,88 | 71 | 4,9 | 87,1 | 9,31 | 28,45 |
| 3000 | 0,995 | 282 | 0,48 | 0,48 | 12,96 | 50 | 5,0 | 87,4 | 10,15 | 26,64 |
| 3250 | 1,059 | 301 | 0,40 | 0,40 | 14,12 | 32 | 5,0 | 89,2 | 11,65 | 25,13 |
| 3500 | 1,174 | 309 | 0,34 | 0,34 | 13,57 | 33 | 5,1 | 89,5 | 11,95 | 24,49 |
| 3750 | 1,180 | 310 | 0,30 | 0,30 | 13,03 | 39 | 5,3 | 89,9 | 12,70 | 23,78 |
| 4000 | 1,245 | 312 | 0,24 | 0,24 | 12,30 | 46 | 5,7 | 90,4 | 13,69 | 23,65 |
| 4250 | 1,251 | 318 | 0,18 | 0,18 | 11,85 | 52 | 5,9 | 91,1 | 14,50 | 23,44 |
| 4500 | 1,277 | 344 | 0,17 | 0,17 | 11,46 | 53 | 5,9 | 91,9 | 15,15 | 23,21 |
| 4750 | 1,291 | 381 | 0,16 | 0,16 | 10,17 | 59 | 6,3 | 93,1 | 15,82 | 22,67 |
| 5000 | 1,384 | 392 | 0,15 | 0,15 | 10,08 | 61 | 7,4 | 95,6 | 18,65 | 21,54 |

Dari tabel 25 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 7K berteknologi karburator dapat mereduksi emisi CO, HC, O₂, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar kendaraan secara cukup signifikan di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan penggunaan knalpot standar.

b. Kemampuan Teknologi *Diesel Particulate Filter* (DPF) Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool* Terhadap Reduksi Opasitas, Kebisingan, dan Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 26 berikut ini menyajikan data rata-rata hasil pengujian opasitas gas buang, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar pada mesin Isuzu C190 berteknologi *inline pump* dengan menggunakan knalpot standar di SMK Semen Gresik.

Tabel 26. Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Standar Pada Mesin Diesel Isuzu C190 di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Opasitas Gas Buang (%HSU) | Kebisingan (SPL) (dBA) | Tekanan Balik Pada <i>Muffler</i> (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (liter/jam) | Tekanan Balik Pada DPF (kPa) | Temperatur Gas Buang (°C) |
|---------------------|---------------------------|------------------------|---|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 750 | 95,07 | 84,03 | 3,01 | 18,84 | 2,09 | 72,41 |
| 1250 | | 86,27 | 5,91 | 19,85 | 3,98 | 77,80 |
| 1750 | | 90,70 | 8,96 | 22,27 | 6,98 | 90,52 |
| 2250 | | 93,43 | 13,62 | 24,26 | 9,67 | 97,60 |
| 2750 | | 96,03 | 17,84 | 28,72 | 10,68 | 101,54 |
| 3250 | | 97,73 | 21,56 | 29,56 | 12,74 | 103,81 |
| 3750 | | 99,80 | 27,62 | 30,93 | 15,83 | 111,54 |
| 4250 | | 101,27 | 29,41 | 32,97 | 16,86 | 123,93 |
| 4750 | | 103,77 | 30,89 | 35,50 | 17,95 | 146,14 |
| 5250 | | 104,03 | 32,70 | 40,69 | 20,90 | 150,51 |

Secara umum, penggunaan knalpot standar pada mesin diesel Isuzu C190 berteknologi *inline pump* cenderung menghasilkan opasitas gas buang, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar yang tinggi. Hal ini disebabkan karena tidak adanya perlakuan pada gas buang (*exhaust gas aftertreatment*) pada sistem pembuangan kendaraan.

Dengan memberikan perlakuan pada gas buang dengan cara menambahkan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190, akan dihasilkan opasitas gas buang, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah jika dibandingkan dengan knalpot standar seperti disajikan pada tabel 27 berikut ini.

Tabel 27. Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Diesel Isuzu C190 Berteknologi DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool* di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Opasitas Gas Buang (%HSU) | Kebisingan (SPL) (dBA) | Tekanan Balik Pada Muffler (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (liter/jam) | Tekanan Balik Pada DPF (kPa) | Temperatur Gas Buang (°C) |
|---------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 750 | 17,10 | 76,23 | 2,29 | 17,34 | 2,30 | 173,81 |
| 1250 | | 85,63 | 4,62 | 19,59 | 4,02 | 176,61 |
| 1750 | | 86,10 | 7,84 | 21,77 | 7,23 | 183,53 |
| 2250 | | 93,20 | 12,22 | 23,37 | 10,12 | 191,81 |
| 2750 | | 94,90 | 14,94 | 27,45 | 11,71 | 221,00 |
| 3250 | | 96,30 | 19,87 | 28,53 | 13,22 | 248,81 |
| 3750 | | 99,00 | 25,78 | 28,80 | 16,33 | 268,41 |
| 4250 | | 101,00 | 28,21 | 31,20 | 17,38 | 312,58 |
| 4750 | | 101,50 | 29,41 | 34,16 | 18,45 | 395,22 |
| 5250 | | 101,87 | 30,86 | 38,22 | 21,71 | 445,30 |

Dari tabel 27 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 dapat mereduksi opasitas gas buang, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar kendaraan secara cukup signifikan di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan penggunaan knalpot standar.

c. Kemampuan Teknologi *Straight-Through Type Muffler* Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan

Tabel 28 berikut ini menyajikan data rata-rata hasil pengujian tingkat kebisingan (*sound pressure level/SPL*), temperatur gas buang, dan tekanan balik (*back pressure*) pada knalpot standar Toyota Kijang tipe 5K (1500 cc) berteknologi karburator di SMK Semen Gresik.

Tabel 28. Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Standar Mesin Toyota Kijang Tipe 5K di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur (°C) | SPL (dBA) | Tekanan Balik (kPa) |
|--------------------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------------|
| 750 | 139,6 | 93,0 | 1,88 |
| 1000 | 167,2 | 94,1 | 2,82 |
| 1250 | 179,2 | 94,4 | 3,30 |
| 1500 | 194,4 | 95,6 | 4,88 |
| 1750 | 200,1 | 96,4 | 5,57 |
| 2000 | 202,8 | 97,0 | 7,78 |
| 2250 | 207,1 | 98,1 | 8,60 |
| 2500 | 210,0 | 98,4 | 10,62 |
| 2750 | 223,1 | 99,6 | 12,00 |
| 3000 | 225,0 | 100,8 | 13,31 |
| 3250 | 225,1 | 101,5 | 13,83 |
| 3500 | 234,0 | 102,8 | 14,31 |
| 3750 | 234,2 | 103,8 | 14,64 |
| 4000 | 242,1 | 104,9 | 15,73 |
| 4250 | 263,1 | 105,0 | 16,70 |
| 4500 | 276,0 | 105,2 | 17,84 |
| 4750 | 276,5 | 106,5 | 18,28 |
| 5000 | 282,0 | 106,7 | 20,36 |

Secara umum, penggunaan knalpot standar pada mesin Toyota Kijang tipe 5K (1500 cc) berteknologi karburator cenderung menghasilkan kebisingan, temperatur gas buang, dan tekanan balik yang tinggi. Hal ini disebabkan karena

knalpot standar Toyota Kijang tipe 5K masih menggunakan *muffler* tipe aliran balik (*reverse flow muffler*) dan tidak adanya perlakuan pada gas buang (*exhaust gas aftertreatment*) pada sistem pembuangan kendaraan.

Dengan memberikan perlakuan pada gas buang dengan cara menambahkan *muffler* tipe laluan langsung (*straight-through type muffler*) yang dikombinasikan dengan *glasswool* pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 5K berteknologi karburator, akan dihasilkan kebisingan, temperatur gas buang, dan tekanan balik yang lebih rendah seperti disajikan pada tabel 29 berikut ini.

Tabel 29. Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Penggunaan *Straight-Through Type Muffler* di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur (°C) | SPL (dBA) | Tekanan Balik (kPa) |
|------------------------|--------------------|--------------|------------------------|
| 750 | 126,8 | 82,7 | 1,76 |
| 1000 | 145,6 | 82,9 | 2,09 |
| 1250 | 151,4 | 83,4 | 3,08 |
| 1500 | 155,4 | 83,8 | 4,22 |
| 1750 | 160,1 | 84,7 | 4,95 |
| 2000 | 175,4 | 85,2 | 6,82 |
| 2250 | 176,2 | 85,8 | 7,45 |
| 2500 | 177,1 | 86,4 | 9,10 |
| 2750 | 177,5 | 86,8 | 10,45 |
| 3000 | 177,8 | 87,8 | 11,62 |
| 3250 | 181,5 | 88,2 | 12,25 |
| 3500 | 190,1 | 88,5 | 12,96 |
| 3750 | 192,7 | 89,7 | 13,18 |
| 4000 | 193,1 | 90,8 | 14,82 |
| 4250 | 193,5 | 91,1 | 15,29 |
| 4500 | 195,3 | 92,2 | 15,98 |
| 4750 | 197,5 | 92,7 | 16,50 |
| 5000 | 199,6 | 93,5 | 19,96 |

Dari tabel 29 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan *straight-through type muffler* yang dikombinasikan dengan *glasswool* pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 5K berteknologi karburator dapat mereduksi kebisingan, temperatur gas buang, dan tekanan balik secara cukup signifikan di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan penggunaan knalpot standar.

d. Kemampuan Teknologi *Oil Filter Cleaner* Terhadap Reduksi Limbah Oli

Tabel 30 berikut ini menyajikan data rata-rata hasil pengujian teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik terhadap limbah oli yang dihasilkan berdasarkan variasi waktu pembersihan *oil filter* bekas (menit) dengan temperatur air (90°C) dan tekanan air tertentu (0,7 kg/cm²).

Tabel 30. Data Rata-rata Hasil Pengujian *Oil Filter Cleaner* Dengan Temperatur Air 90°C di SMK Semen Gresik

| Waktu Pembersihan <i>Oil Filter</i> Bekas (menit) | Temperatur Air (°C) | Tekanan Air (kg/cm²) | Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter/jam) |
|--|----------------------------|--|---|
| 5 | 90 | 0,7 | 9,60 |
| 10 | 90 | 0,7 | 12 |
| 15 | 90 | 0,7 | 8 |
| 20 | 90 | 0,7 | 6 |

Dari tabel 30 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *oil filter cleaner* dapat mereduksi limbah oli dari saringan oli bekas (*used oil filter*) yang dihasilkan di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik secara signifikan.

2. Data Hasil Uji Lapangan Utama (*Main Field Testing*)

a. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Terhadap Reduksi Emisi Gas Buang, Kebisingan, dan Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 31 berikut ini menyajikan data rata-rata hasil pengujian emisi gas buang, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar pada mesin Toyota Kijang tipe 7K (1800 cc) dengan menggunakan knalpot eksperimen berteknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) di SMK Semen Gresik.

Tabel 31. Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Berbahan Dasar Plat Tembaga (Cu) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | CO (% Vol) | COcor (% Vol) | CO ₂ (% Vol) | HC (ppm Vol) | O ₂ (% Vol) | SPL (dBA) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (50 mL/detik) |
|---------------------|----------------------|-----------------|------------|---------------|-------------------------|--------------|------------------------|-----------|---------------------|------------------------------------|
| 750 | 0,818 | 150 | 0,39 | 0,39 | 5,89 | 104 | 3,0 | 71,8 | 1,81 | 40,67 |
| 1000 | 0,852 | 159 | 0,36 | 0,36 | 6,04 | 101 | 3,2 | 74,3 | 2,14 | 38,98 |
| 1250 | 0,898 | 168 | 0,25 | 0,25 | 7,19 | 80 | 3,7 | 76,2 | 3,13 | 36,86 |
| 1500 | 0,921 | 179 | 0,24 | 0,24 | 7,61 | 75 | 3,8 | 77,8 | 4,27 | 35,99 |
| 1750 | 0,973 | 222 | 0,24 | 0,24 | 7,69 | 73 | 4,1 | 79,0 | 5,00 | 34,83 |
| 2000 | 0,981 | 234 | 0,14 | 0,14 | 8,46 | 71 | 4,2 | 80,4 | 6,87 | 33,92 |
| 2250 | 0,985 | 266 | 0,13 | 0,13 | 9,47 | 65 | 4,6 | 81,1 | 7,50 | 32,89 |
| 2500 | 0,991 | 279 | 0,13 | 0,13 | 10,66 | 61 | 4,7 | 81,7 | 9,15 | 31,97 |
| 2750 | 0,999 | 282 | 0,11 | 0,11 | 11,67 | 36 | 4,7 | 83,1 | 10,50 | 28,66 |
| 3000 | 1,079 | 283 | 0,11 | 0,11 | 13,11 | 20 | 4,8 | 83,4 | 11,67 | 26,86 |
| 3250 | 1,047 | 305 | 0,10 | 0,10 | 14,71 | 17 | 4,9 | 84,7 | 12,30 | 25,79 |
| 3500 | 1,129 | 331 | 0,09 | 0,09 | 13,86 | 22 | 5,0 | 87,0 | 13,01 | 24,64 |
| 3750 | 1,143 | 347 | 0,09 | 0,09 | 13,32 | 26 | 5,0 | 87,3 | 13,23 | 24,01 |
| 4000 | 1,176 | 352 | 0,09 | 0,09 | 13,26 | 28 | 5,0 | 89,8 | 14,87 | 23,82 |
| 4250 | 1,244 | 374 | 0,09 | 0,09 | 13,25 | 35 | 5,1 | 90,2 | 15,34 | 23,67 |
| 4500 | 1,264 | 395 | 0,08 | 0,08 | 12,01 | 37 | 5,2 | 91,8 | 16,03 | 23,45 |
| 4750 | 1,274 | 404 | 0,08 | 0,08 | 11,37 | 52 | 5,4 | 92,9 | 16,55 | 22,89 |
| 5000 | 1,372 | 423 | 0,07 | 0,07 | 11,19 | 55 | 5,5 | 95,4 | 20,01 | 21,77 |

Dari tabel 31 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 7K dapat mereduksi emisi CO, HC, O₂, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar kendaraan secara signifikan di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan penggunaan knalpot standar.

b. Kemampuan Teknologi *Diesel Particulate Filter* (DPF) Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool* Terhadap Reduksi Opasitas, Kebisingan, dan Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 32 berikut ini menyajikan data rata-rata hasil pengujian opasitas gas buang, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar pada mesin Isuzu C190 dengan menggunakan knalpot eksperimen berteknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* di SMK Semen Gresik.

Tabel 32. Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Diesel Isuzu C190 Berteknologi DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool* di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Opasitas Gas Buang (%HSU) | Kebisingan (SPL) (dBA) | Tekanan Balik Pada Muffler (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (liter/jam) | Tekanan Balik Pada DPF (kPa) | Temperatur Gas Buang (°C) |
|---------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 750 | 13,30 | 75,07 | 1,81 | 18,99 | 3,01 | 175,51 |
| 1250 | | 82,90 | 3,89 | 19,95 | 5,54 | 186,60 |
| 1750 | | 85,40 | 6,75 | 22,45 | 11,70 | 197,81 |
| 2250 | | 89,00 | 9,76 | 24,87 | 13,48 | 206,31 |
| 2750 | | 91,47 | 14,46 | 29,20 | 13,98 | 248,32 |
| 3250 | | 94,70 | 16,87 | 29,87 | 16,57 | 254,41 |
| 3750 | | 95,20 | 23,31 | 31,41 | 18,63 | 277,48 |
| 4250 | | 97,90 | 26,12 | 33,67 | 20,65 | 329,69 |
| 4750 | | 99,17 | 27,72 | 35,90 | 22,74 | 405,51 |
| 5250 | | 99,47 | 29,41 | 41,60 | 26,64 | 511,67 |

Dari tabel 32 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* dapat mereduksi opasitas gas buang dan kebisingan kendaraan secara signifikan di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan penggunaan knalpot standar. Namun, konsumsi bahan bakar kendaraan cenderung meningkat (boros) di setiap putaran mesin akibat peningkatan tekanan balik pada DPF jika dibandingkan dengan penggunaan knalpot standar.

c. Kemampuan Teknologi *Three Pass Tube Type Muffler* Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan

Tabel 33 berikut ini menyajikan data rata-rata hasil pengujian kebisingan, temperatur gas buang, dan tekanan balik pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 5K (1500 cc) berteknologi *muffler* tipe tabung tiga laluan (*three pass tube type muffler*) di SMK Semen Gresik.

Tabel 33. Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Penggunaan *Three Pass Tube Type Muffler* di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur (°C) | SPL (dBA) | Tekanan Balik (kPa) |
|----------------------------|------------------------|------------------|----------------------------|
| 750 | 101,1 | 82,5 | 1,16 |
| 1000 | 101,4 | 82,8 | 1,82 |
| 1250 | 105,1 | 83,0 | 2,88 |
| 1500 | 120,5 | 83,6 | 3,81 |
| 1750 | 147,9 | 84,0 | 4,17 |
| 2000 | 161,3 | 84,5 | 5,68 |
| 2250 | 166,8 | 85,1 | 6,58 |
| 2500 | 168,8 | 85,4 | 8,93 |
| 2750 | 173,0 | 86,7 | 9,26 |
| 3000 | 176,8 | 87,1 | 10,10 |
| 3250 | 177,9 | 87,8 | 11,60 |
| 3500 | 179,3 | 88,4 | 11,90 |
| 3750 | 185,9 | 88,7 | 12,65 |
| 4000 | 186,1 | 89,4 | 13,64 |
| 4250 | 186,8 | 89,8 | 14,45 |
| 4500 | 194,9 | 90,2 | 15,10 |
| 4750 | 196,9 | 90,5 | 15,77 |
| 5000 | 198,5 | 91,2 | 18,60 |

Dari tabel 33 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *three pass tube type muffler* pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 5K dapat mereduksi kebisingan, temperatur gas buang, dan tekanan balik kendaraan secara cukup signifikan di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan penggunaan knalpot standar.

d. Kemampuan Teknologi *Oil Filter Cleaner* Terhadap Reduksi Limbah Oli

Tabel 34 berikut ini menyajikan data rata-rata hasil pengujian teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik terhadap limbah oli yang dihasilkan berdasarkan variasi waktu pembersihan *oil filter* bekas (menit) dengan temperatur air (80°C) dan tekanan air tertentu (0,7 kg/cm²).

Tabel 34. Data Rata-rata Hasil Pengujian *Oil Filter Cleaner* Dengan Temperatur Air 80°C di SMK Semen Gresik

| Waktu Pembersihan <i>Oil Filter</i> Bekas (menit) | Temperatur Air (°C) | Tekanan Air (kg/cm²) | Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter/jam) |
|--|----------------------------|--|---|
| 5 | 80 | 0,7 | 7,20 |
| 10 | 80 | 0,7 | 9,60 |
| 15 | 80 | 0,7 | 6,40 |
| 20 | 80 | 0,7 | 4,80 |

Dari tabel 34 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *oil filter cleaner* dapat mereduksi limbah oli dari saringan oli bekas (*used oil filter*) yang dihasilkan di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik secara signifikan.

3. Data Hasil Uji Lapangan Operasional (*Operational Field Testing*)

a. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom Terhadap Reduksi Emisi Gas Buang, Kebisingan, dan Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 35 berikut ini menyajikan data rata-rata hasil pengujian emisi gas buang, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar pada mesin Toyota Kijang tipe

7K (1800 cc) dengan menggunakan knalpot eksperimen berteknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) di SMK Semen Gresik.

Tabel 35. Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Berbahan Dasar Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Lambda (λ) | Temperatur ($^{\circ}$ C) | CO (% Vol) | COcor (% Vol) | CO ₂ (% Vol) | HC (ppm Vol) | O ₂ (% Vol) | SPL (dBA) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (50 mL/detik) |
|---------------------|----------------------|----------------------------|------------|---------------|-------------------------|--------------|------------------------|-----------|---------------------|------------------------------------|
| 750 | 0,852 | 153 | 0,23 | 0,23 | 6,44 | 77 | 2,7 | 68,5 | 1,93 | 41,12 |
| 1000 | 0,875 | 165 | 0,21 | 0,21 | 6,57 | 71 | 2,8 | 69,6 | 2,87 | 39,57 |
| 1250 | 0,916 | 188 | 0,21 | 0,21 | 7,59 | 62 | 3,0 | 72,2 | 3,35 | 37,91 |
| 1500 | 1,096 | 206 | 0,16 | 0,16 | 8,60 | 52 | 3,0 | 76,1 | 4,93 | 36,82 |
| 1750 | 1,079 | 270 | 0,15 | 0,15 | 9,80 | 50 | 3,4 | 76,3 | 5,62 | 35,94 |
| 2000 | 1,040 | 336 | 0,13 | 0,13 | 9,87 | 48 | 3,4 | 76,9 | 7,82 | 34,85 |
| 2250 | 1,039 | 349 | 0,13 | 0,13 | 10,02 | 45 | 3,5 | 78,1 | 8,65 | 33,69 |
| 2500 | 1,037 | 372 | 0,12 | 0,12 | 11,12 | 37 | 3,6 | 78,8 | 10,67 | 32,78 |
| 2750 | 1,023 | 374 | 0,10 | 0,10 | 12,26 | 15 | 3,8 | 81,5 | 12,05 | 29,14 |
| 3000 | 1,004 | 375 | 0,10 | 0,10 | 13,87 | 13 | 3,8 | 82,8 | 13,36 | 27,49 |
| 3250 | 1,002 | 388 | 0,10 | 0,10 | 14,99 | 12 | 3,9 | 83,4 | 13,88 | 26,02 |
| 3500 | 1,101 | 390 | 0,09 | 0,09 | 14,83 | 16 | 3,9 | 85,7 | 14,36 | 25,87 |
| 3750 | 1,119 | 405 | 0,08 | 0,08 | 14,06 | 18 | 4,0 | 86,9 | 14,69 | 25,09 |
| 4000 | 1,165 | 419 | 0,08 | 0,08 | 13,59 | 19 | 4,2 | 87,7 | 15,78 | 24,45 |
| 4250 | 1,232 | 425 | 0,08 | 0,08 | 13,74 | 24 | 4,3 | 89,3 | 16,75 | 24,01 |
| 4500 | 1,240 | 450 | 0,08 | 0,08 | 12,89 | 33 | 4,3 | 91,2 | 17,89 | 23,86 |
| 4750 | 1,245 | 465 | 0,08 | 0,08 | 11,96 | 35 | 4,3 | 92,3 | 18,33 | 23,34 |
| 5000 | 1,302 | 472 | 0,07 | 0,07 | 11,38 | 42 | 4,7 | 95,0 | 20,41 | 22,87 |

Dari tabel 35 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 7K dapat mereduksi emisi CO, HC, O₂, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar kendaraan secara sangat signifikan di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan penggunaan knalpot standar.

b. Kemampuan Teknologi *Diesel Particulate Filter* (DPF) Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 130 gr *Glasswool* Terhadap Reduksi Opasitas, Kebisingan, dan Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 36 berikut ini menyajikan data rata-rata hasil pengujian opasitas gas buang, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar pada mesin Isuzu C190 dengan menggunakan knalpot eksperimen berteknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* di SMK Semen Gresik.

Tabel 36. Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Diesel Isuzu C190 Berteknologi DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 130 gr *Glasswool* di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Opasitas Gas Buang (%HSU) | Kebisingan (SPL) (dBA) | Tekanan Balik Pada Muffler (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (liter/jam) | Tekanan Balik Pada DPF (kPa) | Temperatur Gas Buang (°C) |
|---------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| 750 | 8,70 | 75,83 | 2,05 | 17,18 | 2,39 | 174,80 |
| 1250 | | 83,40 | 4,50 | 17,90 | 4,17 | 186,21 |
| 1750 | | 85,70 | 7,65 | 19,87 | 7,47 | 186,60 |
| 2250 | | 92,00 | 11,12 | 21,24 | 10,87 | 205,09 |
| 2750 | | 92,60 | 15,55 | 24,15 | 11,92 | 240,00 |
| 3250 | | 95,70 | 18,08 | 24,80 | 13,85 | 251,31 |
| 3750 | | 96,50 | 24,01 | 26,24 | 17,02 | 274,60 |
| 4250 | | 98,07 | 27,33 | 26,97 | 18,30 | 320,81 |
| 4750 | | 99,43 | 28,57 | 29,02 | 18,88 | 404,20 |
| 5250 | | 99,67 | 30,01 | 32,67 | 21,92 | 486,67 |

Dari tabel 36 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* dapat mereduksi opasitas gas buang, kebisingan kendaraan, dan konsumsi bahan bakar secara sangat signifikan di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan penggunaan knalpot standar.

c. Kemampuan Teknologi *Off-Set Tube Type Muffler* Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan

Tabel 37 berikut ini menyajikan data rata-rata hasil pengujian kebisingan, temperatur gas buang, dan tekanan balik pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 5K (1500 cc) berteknologi *muffler* tipe tabung *off-set (off-set tube type muffler)* di SMK Semen Gresik.

Tabel 37. Data Rata-rata Hasil Pengujian Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Penggunaan *Off-Set Tube Type Muffler* di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur (°C) | SPL (dBA) | Tekanan Balik (kPa) |
|----------------------------|------------------------|------------------|----------------------------|
| 750 | 100,6 | 82,0 | 0,91 |
| 1000 | 101,2 | 82,3 | 1,57 |
| 1250 | 103,9 | 82,6 | 2,48 |
| 1500 | 111,3 | 83,2 | 3,08 |
| 1750 | 113,5 | 83,7 | 3,81 |
| 2000 | 125,4 | 84,3 | 4,72 |
| 2250 | 137,7 | 84,6 | 6,10 |
| 2500 | 145,8 | 84,9 | 7,62 |
| 2750 | 149,3 | 85,0 | 8,75 |
| 3000 | 153,0 | 85,4 | 9,60 |
| 3250 | 155,9 | 85,5 | 10,75 |
| 3500 | 158,6 | 85,7 | 11,57 |
| 3750 | 167,8 | 85,9 | 12,00 |
| 4000 | 179,3 | 86,4 | 13,18 |
| 4250 | 182,7 | 86,6 | 13,50 |
| 4500 | 188,1 | 87,0 | 14,73 |
| 4750 | 192,9 | 87,2 | 15,25 |
| 5000 | 193,9 | 87,5 | 17,78 |

Dari tabel 37 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *off-set tube type muffler* pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 5K dapat mereduksi kebisingan, temperatur gas buang, dan tekanan balik kendaraan

secara signifikan di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan penggunaan knalpot standar.

d. Kemampuan Teknologi *Oil Filter Cleaner* Terhadap Reduksi Limbah Oli

Tabel 38 berikut ini menyajikan data rata-rata hasil pengujian teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik terhadap limbah oli yang dihasilkan berdasarkan variasi waktu pembersihan *oil filter* bekas (menit) dengan temperatur air (85°C) dan tekanan air tertentu (0,7 kg/cm²).

Tabel 38. Data Rata-rata Hasil Pengujian *Oil Filter Cleaner* di SMK Semen Gresik Dengan Temperatur Air 85°C di SMK Semen Gresik

| Waktu Pembersihan <i>Oil Filter</i> Bekas (menit) | Temperatur Air (°C) | Tekanan Air (kg/cm²) | Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter/jam) |
|--|----------------------------|--|---|
| 5 | 85 | 0,7 | 9,60 |
| 10 | 85 | 0,7 | 12 |
| 15 | 85 | 0,7 | 8 |
| 20 | 85 | 0,7 | 6 |

Dari tabel 38 di atas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *oil filter cleaner* dapat mereduksi limbah oli dari saringan oli bekas (*used oil filter*) yang dihasilkan di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik secara signifikan.

B. Hasil Uji Coba Produk

1. Analisis dan Pembahasan Model Kajian Lingkungan Sekolah (KLS) yang Tepat Pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK

Untuk menyusun model KLS yang tepat di sekolah khususnya pada Program Keahlian Teknik Otomotif harus merujuk pada ISO 14000 atau ISO 14001 tentang Standar Manajemen Lingkungan dan OHSAS 18001: 2007 tentang SMK3. Oleh karena itu, untuk menyusun KLS diperlukan survei tentang konsumsi bahan bakar, baik premium maupun solar yang digunakan oleh siswa dan guru dalam proses pembelajaran di laboratorium/bengkel otomotif dan konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor yang digunakan warga sekolah untuk transportasi dari rumah ke sekolah dan sebaliknya. Hasil survei tentang konsumsi bahan bakar/tahun di sekolah digunakan sebagai dasar untuk mengestimasi total beban emisi yang disumbangkan sekolah ke atmosfer.

Diperlukan juga survey tentang tingkat kebisingan di bengkel otomotif sekolah apakah memenuhi ambang batas (baku mutu) yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Selain itu, juga diperlukan survei dan observasi tentang limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) yang dihasilkan oleh sekolah. Hasil survei tentang limbah saringan oli mesin bekas tersebut digunakan sebagai dasar untuk mengestimasi limbah oli yang dibuang oleh sekolah ke tempat sampah. Padahal limbah saringan oli mesin bekas ini jika dibuang begitu saja ke tempat sampah tanpa adanya perlakuan (*treatment*) terlebih dahulu akan mencemari tanah dan air.

Seperti telah diketahui bahwa setiap aktivitas manusia yang membakar bahan bakar selalu menghasilkan emisi yang besarnya dipengaruhi oleh faktor

emisi. Faktor emisi adalah suatu rasio yang menghubungkan emisi suatu pencemar dengan suatu tingkat aktivitas yang dapat diukur, misalnya jumlah materi yang diproses atau jumlah bahan bakar yang digunakan. Sebagai contoh, pembakaran 1 kiloliter minyak bakar pada tungku di pembangkit listrik akan menghasilkan 1,84 kilogram PM₁₀, dan ini artinya faktor emisi PM₁₀ untuk fasilitas tersebut adalah 1,84 kg/kL (Arifin, 2016: 1450).

Apabila faktor emisi dan tingkat aktivitas diketahui, maka perkalian antara keduanya akan menghasilkan beban emisi. Faktor-faktor emisi umumnya ditentukan dari data pengukuran pada satu atau beberapa fasilitas di dalam suatu kategori industri, sehingga faktor emisi tersebut mewakili nilai yang sejenis untuk suatu industri tetapi tidak berarti mewakili apa yang sesungguhnya terjadi pada suatu sumber tertentu. Faktor emisi yang telah dipublikasikan sudah tersedia. Faktor emisi memungkinkan perkiraan beban emisi dari beberapa kategori sumber atau sumber-sumber individu.

Untuk menghitung beban emisi dengan menggunakan faktor emisi, diperlukan 3 (tiga) data masukan, yaitu: informasi aktivitas, faktor emisi, dan informasi tentang efisiensi peralatan pengendali emisi.

Persamaan dasar perhitungan emisi apabila menggunakan faktor emisi yang tidak mempertimbangkan efisiensi peralatan pengendali adalah:

$$E = R \times FE \text{ (tanpa pengendali)} \times (100-C)/100 \quad (4)$$

dimana:

E = Emisi

R = Tingkat aktivitas (misalnya: jumlah bahan bakar yang dibakar)

FE = Faktor emisi, dengan asumsi tanpa peralatan pengendali

C = Efisiensi peralatan pengendali (%)

C = 0, jika tidak dipasang peralatan pengendali

Persamaan dasar perhitungan emisi apabila menggunakan faktor emisi yang telah mempertimbangkan efek pengendalian adalah:

$$E = R \times FE \quad (5)$$

Sampai saat ini, Indonesia belum memiliki dokumen/publikasi yang memuat faktor-faktor emisi yang berlaku secara nasional. Beberapa publikasi di luar negeri yang memuat referensi faktor-faktor emisi untuk berbagai fasilitas dan kategori industri berdasarkan tingkat aktivitas di negara dimana faktor emisi tersebut disusun, diantaranya adalah: EMEP/CORINAIR (EEA, 2002; 2005); U.S. EPA AP-42 (U.S. EPA, 1995; 2005a; 2005b; 2005c), dan IPCC (2006a; 2006b). Di Indonesia, untuk menghitung beban emisi biasanya menggunakan faktor emisi yang dikeluarkan oleh EEA EMEP dan IPCC. Adopsi faktor-faktor emisi dari publikasi tersebut sebaiknya dilakukan secara hati-hati karena adanya perbedaan kondisi/karakteristik pengoperasian (Arifin, 2016: 1450).

Tabel 39. Faktor Emisi Untuk Kategori Sekolah

| Jenis Alat | Jenis Bahan Bakar | Faktor Emisi (g/GJ) | | | | | |
|---------------------------------|--------------------|---------------------|--------|---------|-------|---------|---------------------------|
| | | NOx* | SOx* | HC* | PM10* | CO* | CO ₂ ** (g/TJ) |
| <i>Genset</i> | <i>Diesel Fuel</i> | 513 | 47 | 25 | 20 | 66 | 74100 |
| <i>Genset</i> | <i>Gasoline</i> | 513 | 47 | 25 | 20 | 66 | 69.300 |
| <i>Stove/Oven</i> | <i>LPG</i> | 60 | 0,3 | 2 | 2,2 | 30 | 63.100 |
| <i>Fireplace/Grill</i> | <i>Charcoal</i> | 50 | 11 | 600 | 760 | 4.000 | 112.000 |
| <i>Stove/Fireplace</i> | <i>Kerosene</i> | 513 | 47 | 25 | 20 | 66 | 71.500 |
| <i>Ethylene las</i> | <i>Ethylene</i> | 135 | 0,5 | 89 | 2 | 56 | 63.100 |
| <i>Lawn Movers</i> | <i>Gasoline</i> | 2.765 | 0,0358 | 242.197 | 3.762 | 620.793 | 3.197 |
| <i>Engine Stand/Car Trainer</i> | <i>Gasoline</i> | 7.117 | 0,0358 | 17.602 | 157 | 770.368 | 69.300 |
| <i>Engine Stand</i> | <i>Diesel Fuel</i> | 32.792 | 0,214 | 3.385 | 2.086 | 10.722 | 74.100 |

*) Sumber: EEA (2013)

**) Sumber: IPCC (2006)

Berdasarkan hasil survei primer diperoleh gambaran mengenai fasilitas/peralatan praktik di bengkel otomotif sekolah yang berpotensi menghasilkan emisi gas buang dan peralatan lain yang ada di sekolah. Selain itu, berdasarkan hasil survei primer juga diperoleh gambaran mengenai kendaraan bermotor, baik sepeda motor maupun mobil yang digunakan oleh guru, siswa, tenaga kependidikan, dan petugas layanan khusus sekolah yang berpotensi menghasilkan emisi gas buang. Hasil survei primer digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai estimasi konsumsi bahan bakar yang digunakan untuk mendukung kegiatan belajar dan mengajar serta kegiatan pendukung yang lain di sekolah.

Dari tabel 15 tentang total konsumsi bahan bakar/tahun di SMK Semen Gresik, selanjutnya dapat dihitung potensi besarnya emisi yang dihasilkan menurut jenis parameter emisinya. Data total konsumsi bahan bakar per tahun di SMK Semen Gresik tersebut kemudian dimasukkan ke dalam *software Tool*

18: *Fleet Inventory and Options Tool* yang telah dikembangkan oleh *United Nations Environment Programme (UNEP) & TNT (2006)* sehingga dihasilkan estimasi total beban emisi seperti pada tabel 40 berikut ini.

Tabel 40. Estimasi Total Beban Emisi di SMK Semen Gresik

| Emisi Tahunan di SMK Semen Gresik | | | Polusi Udara (ton/tahun) | | | | | Perubahan Iklim (ton/tahun) |
|--|------------|----------------|--------------------------|------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------------------|
| Jenis | Jumlah | km/thn | CO | HC | NO _x | SO _x | PM ₁₀ | CO ₂ |
| Bensin – tanpa <i>catalytic converter</i> | 8 | 730 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 2 |
| Bensin – dengan <i>catalytic converter</i> | 5 | 19.710 | 0,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 6 |
| Diesel – tanpa DPF | 4 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 |
| Diesel – dengan DPF | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0 |
| Sepeda motor 4 Langkah | 349 | 814.206 | 13,0 | 4,1 | 0,8 | 0,0 | 0,2 | 121 |
| Sepeda motor 2 Langkah | 14 | 23.912 | 0,7 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 5 |
| Total | 380 | 858.558 | 14,1 | 4,4 | 0,8 | 0,0 | 0,2 | 133 |

Dari tabel 40 di atas dapat dilihat bahwa SMK Semen Gresik menghasilkan estimasi total beban emisi CO sebesar 14,1 ton/tahun, emisi HC sebesar 4,4 ton/tahun, dan emisi NO_x 0,8 ton/tahun. Besarnya emisi yang dihasilkan dari aktivitas pembelajaran dan lainnya di sekolah memberikan peluang terhadap gangguan kesehatan bagi guru, siswa, tenaga kependidikan, dan petugas layanan khusus sekolah serta masyarakat di sekitarnya akibat

paparan emisi tersebut terhadap kesehatan. “Tingginya potensi beban emisi yang dihasilkan tersebut juga disebabkan karena fasilitas praktik di SMK Program Keahlian Teknik Otomotif mengalami gradasi karena faktor usia dan pemakaian (Arifin, 2016:1747)”. Oleh karena itu, penggunaan teknologi *catalytic converter* untuk mereduksi emisi gas buang tersebut mutlak harus dilakukan di sekolah. Dalam penelitian ini, telah dikembangkan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar logam transisi, seperti plat kuningan (Cu+Zn), plat tembaga (Cu), dan plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada kendaraan bermotor yang ada di laboratorium/bengkel otomotif SMK Semen Gresik.

Selain itu, SMK Semen Gresik juga menghasilkan estimasi total beban emisi partikulat (PM₁₀) sebesar 0,2 ton/tahun. Oleh karena itu, penggunaan teknologi otomotif seperti *diesel particulate filter* (DPF) juga mutlak harus dilakukan di sekolah. Dalam penelitian ini, telah dikembangkan teknologi DPF berbahan dasar dasar plat *stainless steel* yang dikombinasikan dengan *glasswool* untuk mereduksi opasitas/partikulat mesin diesel yang ada di laboratorium/bengkel otomotif SMK Semen Gresik.

Di SMK Semen Gresik juga dihasilkan estimasi total beban emisi CO₂ sebesar 133 ton/tahun. Oleh karena itu, untuk mereduksi emisi CO₂ tersebut perlu memanfaatkan dan menambah jumlah pohon atau tanaman di hutan sekolah (*school forest*) untuk proses fotosintesis. Sebagaimana kita ketahui bahwa proses fotosintesis membutuhkan CO₂ dan sinar matahari di zat hijau daun (clorofil) untuk menghasilkan oksigen (O₂). Dengan pasokan oksigen (O₂)

yang melimpah di sekolah, maka situasi dan kondisi lingkungan akan menyehatkan bagi seluruh sivitas akademika yang akan meningkatkan konsentrasi belajar, suasana belajar yang nyaman dan menyehatkan sehingga akan meningkatkan prestasi siswa (*student's achievement*).

Hasil survey tingkat kebisingan di bengkel otomotif (*automotive workshop*) SMK Semen Gresik berkisar antara 81,4-106,7 dBA dengan rata-rata kebisingan sebesar 86,7 dBA dengan menggunakan alat ukur *sound level meter* (SLM). Dengan tingkat kebisingan sebesar 81,4-106,7 dBA tersebut, maka bengkel otomotif SMK Semen Gresik dalam kategori tingkat kebisingan sangat bising sampai menulikan dengan waktu kontak yang diijinkan hanya < 1/3-8 jam (Wardhana, 2001: 64).

Sedangkan hasil survey potensi limbah saringan oli mesin bekas di SMK Semen Gresik dihasilkan total limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) sebanyak 32 buah/tahun. Rata-rata dalam 1 (satu) buah saringan oli mesin bekas tersebut masih mengandung 0,5 liter limbah oli, maka potensi limbah oli yang dihasilkan sebesar 16 liter limbah oli/tahun yang akan mencemari tanah dan air.

Oleh karena itu, mengingat besarnya potensi konsumsi bahan bakar, emisi gas buang, opasitas gas buang (emisi PM₁₀), tingkat kebisingan, dan limbah oli yang dihasilkan oleh SMK Semen Gresik berdasarkan penyusunan kajian lingkungan sekolah (KLS) pada Program Keahlian Teknik Otomotif, maka pengembangan teknologi otomotif ramah lingkungan mutlak harus dilakukan di bengkel otomotif sekolah.

2. Analisis dan Pembahasan Hasil Uji Coba Awal (*Preliminary Field Testing*)

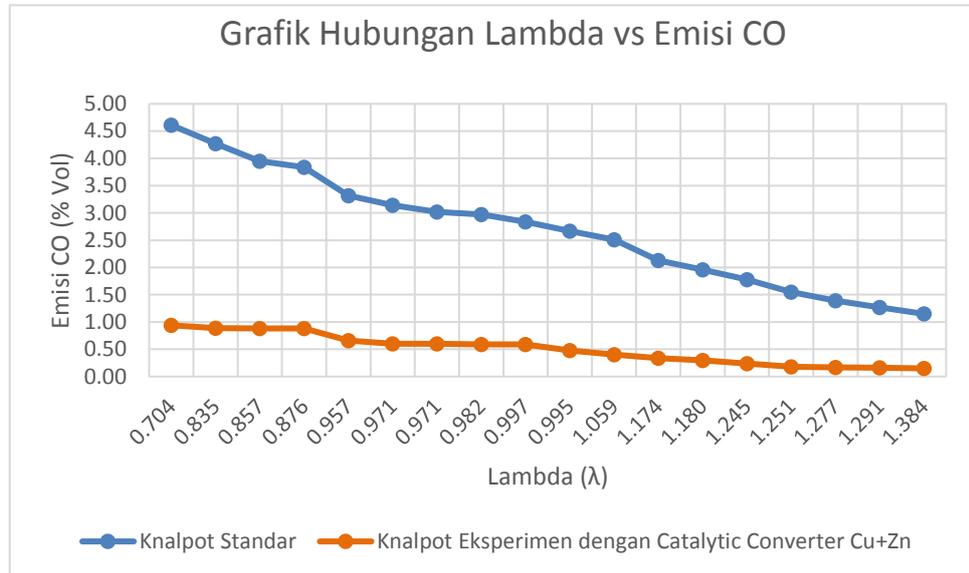
a. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan Terhadap Reduksi Emisi Karbon Monoksida (CO)

Untuk mengetahui seberapa besar persentase reduksi emisi CO terhadap setiap perubahan lambda, putaran mesin, dan temperatur gas buang pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel 41 berikut ini.

Tabel 41. Reduksi Emisi CO Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K | | | Knalpot Eksperimen dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn) | | | Reduksi Emisi CO (%) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------|------------|---|-----------------|------------|----------------------|
| | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | CO (% Vol) | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | CO (% Vol) | |
| 750 | 0,606 | 107 | 4,61 | 0,704 | 144 | 0,94 | 79,61 |
| 1000 | 0,775 | 119 | 4,27 | 0,835 | 154 | 0,89 | 79,16 |
| 1250 | 0,805 | 137 | 3,95 | 0,857 | 164 | 0,88 | 77,72 |
| 1500 | 0,872 | 155 | 3,84 | 0,876 | 174 | 0,88 | 77,08 |
| 1750 | 0,878 | 171 | 3,32 | 0,957 | 184 | 0,66 | 80,12 |
| 2000 | 0,890 | 198 | 3,14 | 0,971 | 207 | 0,60 | 80,89 |
| 2250 | 0,918 | 203 | 3,02 | 0,971 | 225 | 0,60 | 80,13 |
| 2500 | 0,928 | 218 | 2,97 | 0,982 | 248 | 0,59 | 80,13 |
| 2750 | 0,976 | 245 | 2,84 | 0,997 | 262 | 0,59 | 79,23 |
| 3000 | 0,981 | 257 | 2,67 | 0,995 | 282 | 0,48 | 82,02 |
| 3250 | 1,100 | 285 | 2,51 | 1,059 | 301 | 0,40 | 84,06 |
| 3500 | 1,372 | 297 | 2,13 | 1,174 | 309 | 0,34 | 84,04 |
| 3750 | 1,404 | 304 | 1,96 | 1,180 | 310 | 0,30 | 84,69 |
| 4000 | 1,410 | 309 | 1,78 | 1,245 | 312 | 0,24 | 86,52 |
| 4250 | 1,412 | 311 | 1,55 | 1,251 | 318 | 0,18 | 88,39 |
| 4500 | 1,424 | 317 | 1,39 | 1,277 | 344 | 0,17 | 87,77 |
| 4750 | 1,429 | 346 | 1,27 | 1,291 | 381 | 0,16 | 87,40 |
| 5000 | 1,449 | 354 | 1,15 | 1,384 | 392 | 0,15 | 86,96 |
| Rata-rata Reduksi Emisi CO | | | | | | | 82,55 |

Dari data pada tabel 41, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 82 berikut ini.



Gambar 82. Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi CO Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan (Cu+Zn)

Secara umum, penggunaan *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi kadar emisi CO yang dihasilkan oleh kendaraan secara signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 36 dan gambar 81 di atas. Berdasarkan hasil eksperimen, trend grafik emisi CO yang dihasilkan sesuai dengan trend grafik emisi CO di kajian pustaka (lihat gambar 5).

Pada putaran rendah (± 750 -2000 rpm), proses pembakaran yang terjadi pada ruang bakar cenderung kurang sempurna. Hal ini disebabkan karena campuran udara dan bahan bakar cenderung kaya (*rich mixture*) sehingga terjadi kelebihan bahan bakar dan kekurangan oksigen (O_2). Oleh

sebab itu, lambda (λ) yang dihasilkan cenderung kecil, besarnya di bawah angka 1. Lambda (λ) sendiri merupakan perbandingan antara kebutuhan udara secara aktual dibandingkan dengan kebutuhan udara secara teori (14,7:1). Nilai lambda yang kecil ($\lambda < 1$) akan mengakibatkan kadar emisi CO yang dihasilkan oleh mesin cenderung tinggi (lihat gambar 82).

Pada putaran menengah ($\pm 2250-3250$ rpm), campuran udara dan bahan bakar cenderung meningkat sehingga nilai lambda (λ) yang dihasilkan mesin mendekati campuran *stoichiometric* ($\lambda=1$) atau campuran ideal. Hal ini mengakibatkan kadar emisi CO yang dihasilkan mesin cenderung menurun (lihat gambar 82).

Sedangkan pada putaran tinggi ($\pm 3500-5.000$ rpm), campuran udara dan bahan bakar cenderung semakin miskin (*lean mixture*), sehingga pembakaran menjadi kurang sempurna akibat kelebihan oksigen (O_2). Hal ini ditandai dengan tingginya nilai lambda (λ) yang besarnya mencapai angka 1,4. Dampaknya, pembakaran menjadi kurang sempurna namun kelebihan oksigen (O_2) yang terjadi akan mengakibatkan kadar emisi CO yang dihasilkan oleh mesin semakin rendah (lihat gambar 82). Semakin rendahnya kadar emisi CO pada putaran tinggi tersebut disebabkan karena semakin banyaknya konsentrasi oksigen (O_2) dalam campuran udara dan bahan bakar, sehingga mampu mengoksidasi emisi CO menjadi CO_2 .

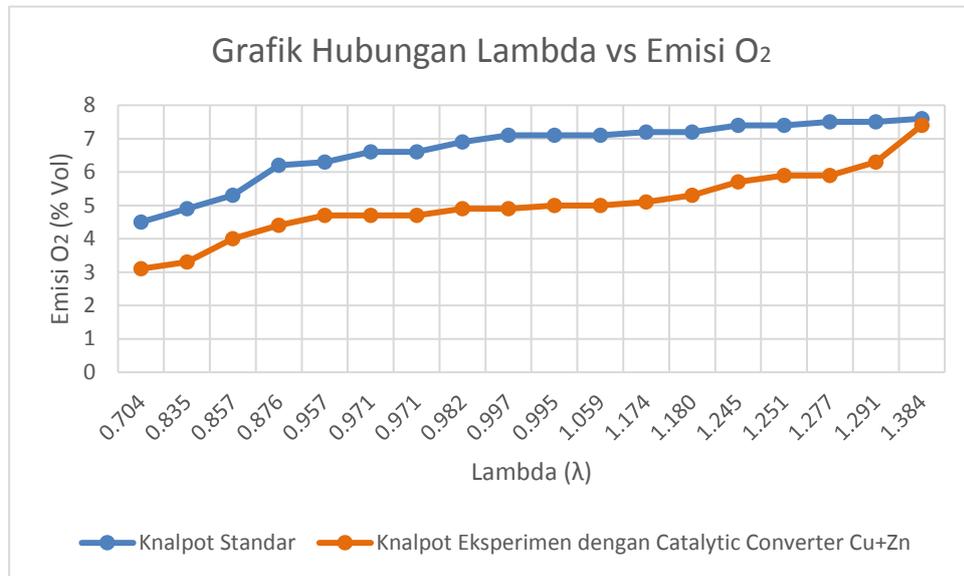
Untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi oksigen (O_2) dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuning ($Cu+Zn$)

pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K jika dibandingkan dengan knalpot standar, dapat dilihat pada tabel 42 berikut ini.

Tabel 42. Reduksi Emisi O₂ Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K | | | Knalpot Eksperimen dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn) | | | Reduksi Emisi O ₂ (%) |
|--|---------------------------------------|-----------------|------------------------|---|-----------------|------------------------|----------------------------------|
| | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | O ₂ (% Vol) | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | O ₂ (% Vol) | |
| 750 | 0,606 | 107 | 4,5 | 0,704 | 144 | 3,1 | 31,11 |
| 1000 | 0,775 | 119 | 4,9 | 0,835 | 154 | 3,3 | 32,65 |
| 1250 | 0,805 | 137 | 5,3 | 0,857 | 164 | 4,0 | 24,53 |
| 1500 | 0,872 | 155 | 6,2 | 0,876 | 174 | 4,4 | 29,03 |
| 1750 | 0,878 | 171 | 6,3 | 0,957 | 184 | 4,7 | 25,40 |
| 2000 | 0,890 | 198 | 6,6 | 0,971 | 207 | 4,7 | 28,79 |
| 2250 | 0,918 | 203 | 6,6 | 0,971 | 225 | 4,7 | 28,79 |
| 2500 | 0,928 | 218 | 6,9 | 0,982 | 248 | 4,9 | 28,99 |
| 2750 | 0,976 | 245 | 7,1 | 0,997 | 262 | 4,9 | 30,99 |
| 3000 | 0,981 | 257 | 7,1 | 0,995 | 282 | 5,0 | 29,58 |
| 3250 | 1,100 | 285 | 7,1 | 1,059 | 301 | 5,0 | 29,58 |
| 3500 | 1,372 | 297 | 7,2 | 1,174 | 309 | 5,1 | 29,17 |
| 3750 | 1,404 | 304 | 7,2 | 1,180 | 310 | 5,3 | 26,39 |
| 4000 | 1,410 | 309 | 7,4 | 1,245 | 312 | 5,7 | 22,97 |
| 4250 | 1,412 | 311 | 7,4 | 1,251 | 318 | 5,9 | 20,27 |
| 4500 | 1,424 | 317 | 7,5 | 1,277 | 344 | 5,9 | 21,33 |
| 4750 | 1,429 | 346 | 7,5 | 1,291 | 381 | 6,3 | 16,00 |
| 5000 | 1,449 | 354 | 7,6 | 1,384 | 392 | 7,4 | 2,63 |
| Rata-rata Reduksi Emisi O₂ | | | | | | | 25,45 |

Dari data pada tabel 42, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 83 berikut ini.



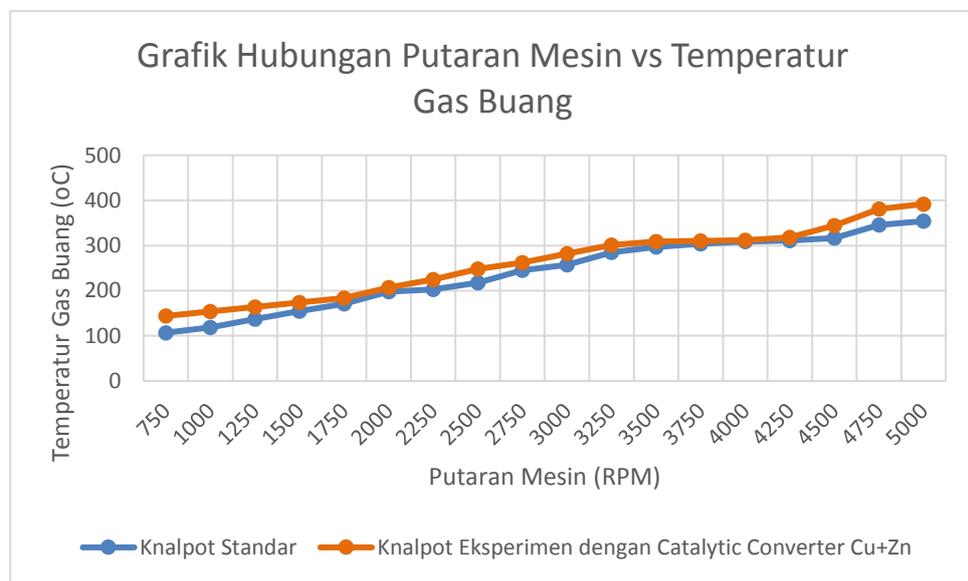
Gambar 83. Hubungan Lambda Terhadap Emisi O₂ Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan (Cu+Zn)

Dari gambar 83 dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran mesin akan menyebabkan semakin besarnya konsentrasi O₂ yang dihasilkan oleh emisi gas buang kendaraan. Berdasarkan hasil eksperimen, trend grafik emisi O₂ yang dihasilkan sesuai dengan trend grafik emisi O₂ di kajian pustaka (lihat gambar 8). Dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan, konsentrasi oksigen yang terbuang bersama gas buang tersebut akan digunakan untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂. Akibatnya, konsentrasi O₂ knalpot eksperimen akan lebih sedikit jika dibandingkan dengan knalpot standar.

Selain itu, reduksi emisi CO secara signifikan dengan penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 7K juga disebabkan oleh temperatur gas buang yang semakin tinggi sehingga mencapai suhu kerja katalis (> 300°C)

untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂. Peningkatan temperatur gas buang dengan penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 7K dapat dilihat pada tabel 42.

Dari data pada tabel 42 tentang temperatur gas buang, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 84 berikut ini.



Gambar 84. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Gas Buang Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan (Cu+Zn)

Dari gambar 84 dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran mesin akan menyebabkan semakin tingginya temperatur gas buang. Dengan penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat meningkatkan temperatur gas buang sehingga akan mempercepat suhu kerja katalis untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂.

Pada putaran mesin 750-2000 rpm dan pada lambda kurang dari 1 ($\lambda < 1$), mengindikasikan campuran yang kelebihan bahan bakar. Sehingga pada proses pembakaran akan kekurangan oksigen dan pembakaran menghasilkan emisi O_2 yang sedikit. Hal ini dapat dilihat pada tabel 41 dan tabel 42. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,606 – 0,890 dan temperatur gas buang $107^\circ C - 198^\circ C$, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 4,61% Vol – 3,14% Vol dan dihasilkan emisi O_2 mulai dari 4,5% Vol – 6,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat kuning dengan lambda 0,704 – 0,971 dan temperatur gas buang $144^\circ C - 207^\circ C$, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 0,94% Vol – 0,60% Vol dan dihasilkan emisi O_2 mulai dari 3,1% Vol – 4,7% Vol. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih sedikit menghasilkan emisi CO dan O_2 dengan cara katalis kuning memanfaatkan konsentrasi O_2 yang terbuang bersama gas buang untuk proses oksidasi emisi CO menjadi CO_2 . Sedangkan kenaikan temperatur pada knalpot eksperimen akan mempercepat laju reaksi katalis untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO_2 .

Pada putaran mesin 2250-3250 rpm dan pada lambda sama dengan satu ($\lambda = 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang *stoichiometri*, artinya kebutuhan udara dan bahan bakar yang seimbang, sehingga setiap molekul udara (O_2) dapat terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar bensin (C_8H_{18}). Dengan demikian, pada $\lambda = 1$ akan menghasilkan emisi CO yang semakin sedikit. Hal ini dapat dilihat pada

tabel 41 dan tabel 42. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,918 – 1,100 dan temperatur gas buang 203°C – 285°C, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 3,02% Vol – 2,51% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 6,6% Vol – 7,1% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat kuningan dengan lambda 0,971 – 1,059 dan temperatur gas buang 225°C – 301°C, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 0,60% Vol – 0,40% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 4,7% Vol – 5,0% Vol. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih sedikit menghasilkan emisi CO dan O₂ dengan cara katalis kuningan memanfaatkan konsentrasi O₂ yang terbang bersama gas buang untuk proses oksidasi emisi CO menjadi CO₂. Kenaikan temperatur pada knalpot eksperimen hingga mencapai 301°C akan mempercepat laju reaksi katalis untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂, dimana pada suhu ini merupakan suhu kerja dari katalis.

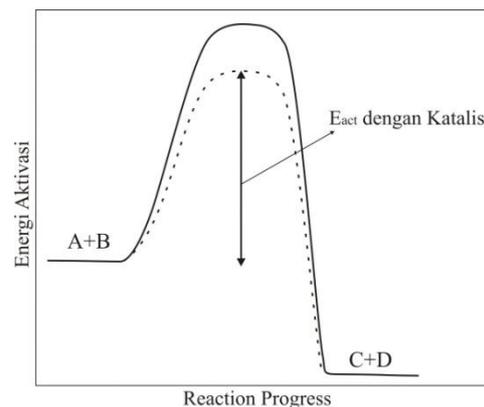
Pada putaran mesin 3500-5.000 rpm dan pada lambda lebih dari satu ($\lambda > 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang kelebihan udara, artinya suplai udara terlalu banyak, sehingga setiap molekul udara (O₂) terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar bensin (C₈H₁₈) bahkan lebih. Hal ini dapat dilihat pada tabel 41 dan tabel 42. Untuk knalpot standar dengan lambda 1,372 – 1,449 dan temperatur gas buang 297°C-354°C, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 2,13% Vol – 1,15% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 7,2% Vol – 7,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat kuningan dengan lambda

1,174 – 1,384 dan temperatur gas buang 309°C – 392°C, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 0,34% Vol – 0,15% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 5,1% Vol – 7,4% Vol. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen jauh lebih sedikit menghasilkan emisi CO dan O₂ dengan cara katalis kuningan memanfaatkan konsentrasi O₂ yang terbuang bersama gas buang untuk proses oksidasi emisi CO menjadi CO₂. Kenaikan temperatur pada knalpot eksperimen hingga mencapai 392°C akan mempercepat laju reaksi katalis untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂, dimana pada suhu ini merupakan suhu kerja optimal dari katalis. Nilai lambda yang semakin besar ($\lambda > 1$) menunjukkan campuran miskin atau kelebihan udara sehingga proses oksidasi emisi CO menjadi CO₂ lebih cepat tercapai pada putaran tinggi.

Dari gambar 82 dapat dilihat bahwa di setiap putaran mesin terjadi penurunan konsentrasi emisi CO secara signifikan. Dengan aktif metal katalis berbentuk plat yang didesain menjadi sarang lebah (*metallic honeycomb*), didapatkan luas permukaan efektif katalis yang optimal yang akhirnya mampu menurunkan konsentrasi emisi CO secara signifikan di setiap putaran mesin. Luas permukaan katalis kuningan yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat kuningan ukuran 12 cm x 120 cm x 12 lembar x 2 sisi = $34.560 \text{ cm}^2 = 245,6 \text{ m}^2$.

Hal ini sesuai dengan pendapat Berzelius (1835) bahwa reaksi katalitik pada katalis padat terjadi pada permukaan katalis, dan semakin luas permukaan katalis semakin cepat laju reaksinya, sehingga konsentrasi

produk yang dihasilkan semakin rendah. Tingginya reduksi kadar emisi CO yang dihasilkan mesin pada knalpot eksperimen, selain disebabkan oleh semakin luasnya permukaan efektif katalis yang bersinggungan langsung dengan gas buang, juga dipengaruhi oleh faktor temperatur. Temperatur yang lebih rendah (mencapai 318°C) akan menyebabkan turunnya energi aktivasi sehingga proses oksidasi emisi $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$ menjadi lebih cepat tercapai. Akibatnya, terjadi reduksi konsentrasi emisi CO yang signifikan di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan knalpot standar.



Gambar 85. Grafik Hubungan Antara Energi Aktivasi Dengan *Reaction Progress*

Sumber: Warju dan Sungkono (2006: 135)

Sebenarnya emisi CO tersebut dapat berubah menjadi CO₂ dengan cara bereaksi dengan O₂ atau NO_x tetapi hal ini akan membutuhkan temperatur yang lebih tinggi, yaitu 700°C. Namun dalam penelitian ini, temperatur optimal katalis bisa dicapai pada temperatur 318°C. Di bawah dan di atas temperatur tersebut, katalis tidak berfungsi optimal.

Untuk membandingkan knalpot standar dan knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K yang telah dilengkapi dengan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) tersebut apakah memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama dapat dilihat pada tabel 53 berikut ini.

Tabel 43. Perbandingan Hasil Uji Emisi CO antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Berteknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan

| Kategori | Tahun Pembuatan | CO (%) | Metode Uji | Emisi CO Knalpot Standar Toyota Kijang tipe 7K (%) | Keterangan | Emisi CO Knalpot Eksperimen Dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn) (%) | Keterangan |
|---|-----------------|--------|------------|--|-----------------------|--|-----------------|
| Mobil berpendingin motor bakar cetus api (bensin) | < 2007 | 4,5 | Idle | 4,61 | Tidak Lulus Uji Emisi | 0,94 | Lulus Uji Emisi |

Dari tabel 43 dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat mereduksi kadar emisi CO secara signifikan dibandingkan dengan knalpot standar. Bahkan penggunaan katalis kuningan (Cu+Zn) dapat mereduksi kadar emisi CO di bawah ambang batas emisi yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Dapat dikatakan bahwa penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat

kuningan (Cu+Zn) pada knalpot knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat mendukung program langit biru (*blue sky program*) dan program sekolah adiwiyata (*green school program*) yang telah dicanangkan oleh pemerintah karena terbukti mampu mereduksi konsentrasi emisi CO secara signifikan di sekolah.

Dari hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) tentang pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa katalis plat kuningan dapat mereduksi emisi CO rata-rata sebesar **82,55%**. *Metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) efektif sebagai katalisator pada reaksi oksidasi CO ($\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$) pada lambda (λ) 1,251 dengan temperatur 318°C dengan reduksi emisi CO tertinggi sebesar 88,39%.

Hasil penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Nisa et al. (2016) yang hanya mampu mereduksi emisi CO rata-rata sebesar **47,71%** dengan menggunakan *catalytic converter* pipa kuningan (Cu+Zn).

Sekedar diketahui bahwa pengujian emisi CO pada kendaraan bermotor tipe baru sudah menggunakan *Euro II Emission Standard* yang berpedoman pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 04 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru dengan standar emisi CO sebesar 2,2-5,0 gram/km dengan metode uji ECE R 83 – 04.

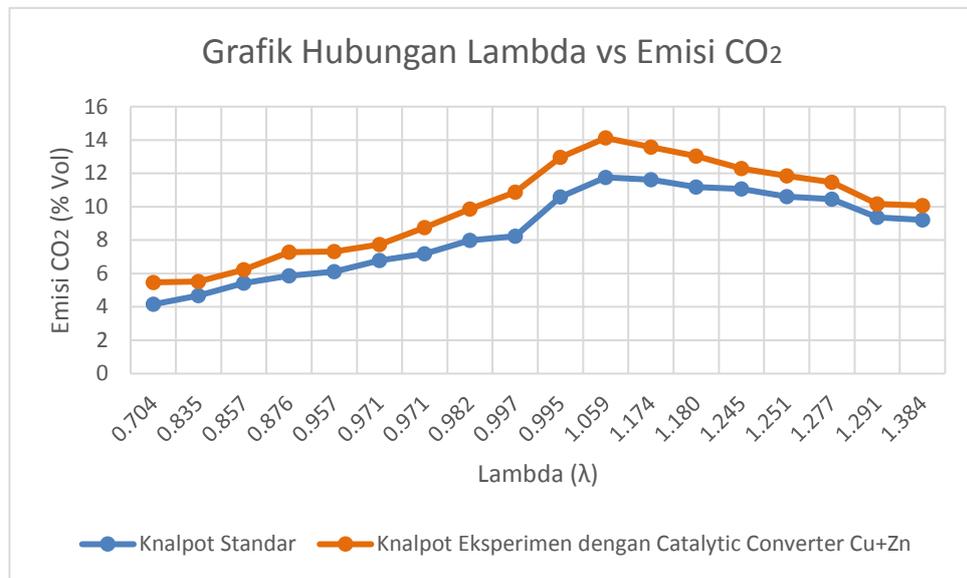
b. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan Terhadap Peningkatan Emisi Karbondioksida (CO₂)

Untuk mengetahui seberapa besar persentase peningkatan emisi CO₂ dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K (1800 cc) di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel 44 berikut ini.

Tabel 44. Peningkatan Emisi CO₂ Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K | | | Knalpot Eksperimen dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn) | | | Peningkatan Emisi CO ₂ (%) |
|---|---------------------------------------|-----------------|-------------------------|---|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|
| | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | CO ₂ (% Vol) | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | CO ₂ (% Vol) | |
| 750 | 0,606 | 107 | 4,15 | 0,704 | 144 | 5,47 | 24,13 |
| 1000 | 0,775 | 119 | 4,68 | 0,835 | 154 | 5,51 | 15,06 |
| 1250 | 0,805 | 137 | 5,43 | 0,857 | 164 | 6,22 | 12,70 |
| 1500 | 0,872 | 155 | 5,87 | | 174 | 7,27 | 19,26 |
| 1750 | 0,878 | 171 | 6,12 | 0,957 | 184 | 7,31 | 16,28 |
| 2000 | 0,890 | 198 | 6,78 | 0,971 | 207 | 7,73 | 12,29 |
| 2250 | 0,918 | 203 | 7,18 | 0,971 | 225 | 8,76 | 18,04 |
| 2500 | 0,928 | 218 | 7,99 | 0,982 | 248 | 9,87 | 19,05 |
| 2750 | 0,976 | 245 | 8,23 | 0,997 | 262 | 10,88 | 24,36 |
| 3000 | 0,981 | 257 | 10,58 | 0,995 | 282 | 12,96 | 18,36 |
| 3250 | 1,100 | 285 | 11,76 | 1,059 | 301 | 14,12 | 16,71 |
| 3500 | 1,372 | 297 | 11,63 | 1,174 | 309 | 13,57 | 14,30 |
| 3750 | 1,404 | 304 | 11,18 | 1,180 | 310 | 13,03 | 14,20 |
| 4000 | 1,410 | 309 | 11,07 | 1,245 | 312 | 12,30 | 10,00 |
| 4250 | 1,412 | 311 | 10,60 | 1,251 | 318 | 11,85 | 10,55 |
| 4500 | 1,424 | 317 | 10,45 | 1,277 | 344 | 11,46 | 8,81 |
| 4750 | 1,429 | 346 | 9,36 | 1,291 | 381 | 10,17 | 7,96 |
| 5000 | 1,449 | 354 | 9,21 | 1,384 | 392 | 10,08 | 8,63 |
| Rata-rata Peningkatan Emisi CO₂ | | | | | | | 15,04 |

Dari data pada tabel 44, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 86 berikut ini.



Gambar 86. Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi CO₂ Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan (Cu+Zn)

Secara umum, penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen dapat meningkatkan kadar emisi karbondioksida (CO₂) yang dihasilkan oleh mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik. Hal ini dapat dilihat pada tabel 39 dan gambar 85 di atas. Berdasarkan hasil eksperimen, trend grafik emisi CO₂ yang dihasilkan sesuai dengan trend grafik emisi CO₂ di kajian pustaka (lihat gambar 8).

Peningkatan kadar emisi CO₂ tergantung pada nilai lambda, temperatur gas buang, dan putaran mesin. Lambda dapat mempengaruhi kadar emisi CO₂ karena nilai lambda menunjukkan kondisi campuran udara-bahan bakar yang sesungguhnya. Sedangkan temperatur menunjukkan suhu kerja katalis untuk dapat melakukan proses oksidasi emisi CO menjadi CO₂.

Pada putaran mesin 750-2000 rpm dan pada lambda kurang dari 1 ($\lambda < 1$), mengindikasikan campuran yang kelebihan bahan bakar. Sehingga pada proses pembakaran akan kekurangan oksigen dan pembakaran menghasilkan gas CO₂ yang sedikit. Hal ini dapat dilihat pada tabel 44 dan gambar 86 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,606 – 0,890 dan temperatur gas buang 107°C – 198°C, dihasilkan kadar emisi CO₂ mulai dari 4,15% Vol – 6,78% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 4,5% Vol – 6,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat kuningan dengan lambda 0,704 – 0,971 dan temperatur gas buang 144°C – 207°C, dihasilkan kadar emisi CO₂ mulai dari 5,47% Vol – 7,73% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 3,1% Vol – 4,7% Vol. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih banyak menghasilkan emisi CO₂ karena adanya katalis kuningan didalamnya sebagai akibat oksidasi emisi CO menjadi CO₂ dengan adanya oksigen (O₂) yang terbuang bersama gas buang. Namun, kadar emisi CO₂ yang dihasilkan masih rendah karena katalis masih bekerja pada campuran yang kaya ($\lambda < 1$) dan temperatur kerja katalis belum mencapai suhu kerja $> 300^\circ\text{C}$ (hanya mencapai suhu 207°C).

Pada putaran mesin 2250-3250 rpm dan pada lambda sama dengan satu ($\lambda = 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang *stoichiometri*, artinya kebutuhan udara dan bahan bakar yang seimbang (ideal), sehingga setiap molekul udara (O₂) dapat terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar bensin (C₈H₁₈). Dengan demikian, pada $\lambda = 1$ akan

menghasilkan emisi CO₂ yang semakin banyak. Hal ini dapat dilihat pada tabel 44 dan gambar 86 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,918 – 1,100 dan temperatur gas buang 203°C – 285°C, dihasilkan kadar emisi CO₂ mulai dari 7,18% Vol – 11,76% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 6,6% Vol – 7,1% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat kuningan dengan lambda 0,971 – 1,059 dan temperatur gas buang 225°C – 301°C, dihasilkan kadar emisi CO₂ mulai dari 8,76% Vol – 14,12% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 4,7% Vol – 5,0% Vol. Pada putaran mesin 3250 rpm, baik knalpot standar maupun knalpot eksperimen yang dilengkapi dengan katalis plat kuningan, dihasilkan peningkatan tertinggi emisi CO₂ karena lambda pada putaran tersebut telah mencapai angka 1. Artinya, campuran udara dan bahan bakar menjadi ideal (*stoichiometric*) sehingga pembakaran akan berlangsung sempurna yang akan menghasilkan kadar emisi CO terendah dan CO₂ tertinggi. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih banyak menghasilkan emisi CO₂ karena adanya katalis kuningan didalamnya dan telah mencapai suhu optimal katalis (301°C) untuk proses reaksi oksidasi emisi CO menjadi CO₂.

Pada putaran mesin 3500-5.000 rpm dan pada lambda lebih dari satu ($\lambda > 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang kelebihan udara, artinya suplai udara terlalu banyak, sehingga setiap molekul udara (O₂) terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar (C₈H₁₈) bahkan lebih. Hal ini dapat dilihat pada tabel 44 dan gambar 86 di atas. Untuk knalpot

standar dengan lambda 1,372 – 1,449 dan temperatur gas buang 297°C-354°C, dihasilkan kadar emisi CO₂ mulai dari 11,63% Vol – 9,21% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 7,2% Vol – 7,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat kuningan dengan lambda 1,174 – 1,384 dan temperatur gas buang 309°C – 392°C, dihasilkan kadar emisi CO₂ mulai dari 13,57% Vol – 10,08% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 5,1% Vol – 7,4% Vol. Pada putaran tinggi, emisi CO₂ yang dihasilkan mesin cenderung semakin menurun sebagai akibat semakin banyaknya konsentrasi oksigen (O₂) yang terbuang bersama gas buang. Hal ini dapat dilihat dari nilai $\lambda > 1$. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih banyak menghasilkan emisi CO₂ karena adanya katalis kuningan didalamnya yang akan mempercepat oksidasi emisi CO menjadi CO₂ dan temperatur gas buang telah mencapai suhu 392°C, dimana suhu ini di atas suhu kerja optimal katalis kuningan (301°C).

Pada temperatur 301°C, mengindikasikan suhu optimal katalis untuk mengaktivasi gas buang yang mengalir di permukaan katalis. Sehingga kadar emisi CO₂ yang dihasilkan dapat meningkat secara optimal karena tercapainya suhu aktivasi $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$, dimana suhu normal terbentuknya emisi CO₂ pada fase tanpa katalis sekitar 700°C. Dapat dikatakan bahwa dengan menggunakan katalis akan menurunkan energi aktivasi sehingga kecepatan reaksi oksidasi emisi CO menjadi CO₂ menjadi lebih cepat dan meningkat.

Dari gambar 86 dapat dilihat bahwa di setiap putaran mesin terjadi peningkatan kadar emisi CO₂ secara cukup signifikan. Dengan aktif metal katalis berbentuk plat (*metallic catalytic converter*) yang dibentuk menjadi sarang lebah (*metallic honeycomb*), didapatkan luas permukaan efektif katalis yang paling optimal yang akhirnya mampu mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂ sehingga meningkatkan emisi CO₂ secara cukup signifikan di setiap putaran mesin.

Hal ini sesuai dengan pendapat Berzelius (1835) bahwa reaksi katalitik pada katalis padat terjadi pada permukaan katalis, dan semakin luas permukaan katalis semakin cepat laju reaksinya, sehingga konsentrasi produk CO₂ yang dihasilkan semakin tinggi. Tingginya peningkatan konsentrasi emisi CO₂ yang dihasilkan mesin, selain disebabkan oleh semakin luasnya permukaan efektif katalis yang bersinggungan langsung dengan gas buang, juga dipengaruhi oleh faktor temperatur. Temperatur yang lebih rendah (mencapai 301°C) akan menyebabkan turunnya energi aktivasi sehingga proses oksidasi dari $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$ menjadi lebih cepat tercapai (lihat gambar 85). Akibatnya, terjadi peningkatan konsentrasi emisi CO₂ yang cukup signifikan di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan knalpot standar.

Sebenarnya emisi CO tersebut dapat berubah menjadi CO₂ dengan cara bereaksi dengan O₂ atau NO_x pada fase tanpa katalis tetapi hal ini akan membutuhkan temperatur yang tinggi, yaitu 700°C. Dalam penelitian ini, temperatur optimal katalis kuningan dicapai pada temperatur 301°C. Di

bawah temperatur tersebut, katalis tidak berfungsi optimal dan di atas temperatur itu kemampuan katalis mulai menurun.

Dari hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) tentang pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa katalis plat kuningan dapat meningkatkan kadar emisi CO₂ rata-rata sebesar **15,04%**. *Metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) efektif sebagai katalisator pada reaksi oksidasi CO ($\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$) pada lambda (λ) 1,059 dengan temperatur 301°C dengan menghasilkan emisi CO₂ tertinggi sebesar 14,12% Vol.

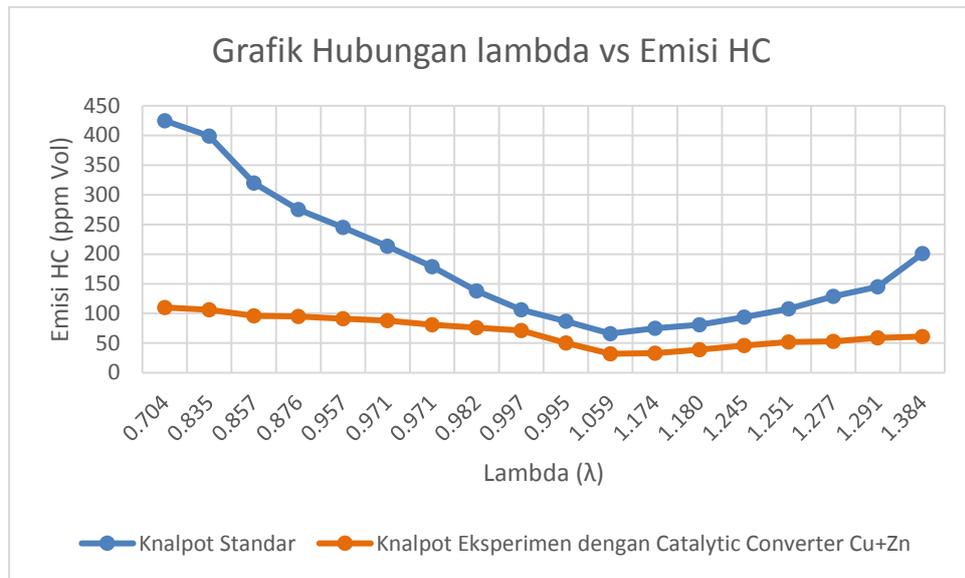
c. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan Terhadap Reduksi Emisi Hidrokarbon (HC)

Untuk mengetahui seberapa besar persentase reduksi emisi HC dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel HC berikut ini.

Tabel 45. Reduksi Emisi HC Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang 7K | | | Knalpot Eksperimen dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn) | | | Reduksi Emisi HC (%) |
|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|--------------|---|-----------------|--------------|----------------------|
| | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | HC (ppm Vol) | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | HC (ppm Vol) | |
| 750 | 0,606 | 107 | 425 | 0,704 | 144 | 110 | 74,12 |
| 1000 | 0,775 | 119 | 399 | 0,835 | 154 | 106 | 73,43 |
| 1250 | 0,805 | 137 | 320 | 0,857 | 164 | 96 | 70,00 |
| 1500 | 0,872 | 155 | 275 | 0,876 | 174 | 95 | 65,45 |
| 1750 | 0,878 | 171 | 245 | 0,957 | 184 | 91 | 62,86 |
| 2000 | 0,890 | 198 | 213 | 0,971 | 207 | 88 | 58,69 |
| 2250 | 0,918 | 203 | 179 | 0,971 | 225 | 81 | 54,75 |
| 2500 | 0,928 | 218 | 138 | 0,982 | 248 | 76 | 44,93 |
| 2750 | 0,976 | 245 | 106 | 0,997 | 262 | 71 | 33,02 |
| 3000 | 0,981 | 257 | 87 | 0,995 | 282 | 50 | 42,53 |
| 3250 | 1,100 | 285 | 66 | 1,059 | 301 | 32 | 51,52 |
| 3500 | 1,372 | 297 | 75 | 1,174 | 309 | 33 | 56,00 |
| 3750 | 1,404 | 304 | 81 | 1,180 | 310 | 39 | 51,85 |
| 4000 | 1,410 | 309 | 94 | 1,245 | 312 | 46 | 51,06 |
| 4250 | 1,412 | 311 | 108 | 1,251 | 318 | 52 | 51,85 |
| 4500 | 1,424 | 317 | 129 | 1,277 | 344 | 53 | 58,91 |
| 4750 | 1,429 | 346 | 145 | 1,291 | 381 | 59 | 59,31 |
| 5000 | 1,449 | 354 | 201 | 1,384 | 392 | 61 | 69,65 |
| Rata-rata Reduksi Emisi HC | | | | | | | 57,22 |

Dari data pada tabel 45, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 87 berikut ini.



Gambar 87. Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi HC Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan (Cu+Zn)

Secara umum, penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan pada knalpot eksperimen dapat mereduksi kadar emisi hidrokarbon (HC) yang dihasilkan oleh mesin Toyota Kijang tipe 4K di SMK Semen Gresik. Hal ini dapat dilihat pada tabel 40 dan gambar 86 di atas. Berdasarkan hasil eksperimen, trend grafik emisi HC yang dihasilkan sesuai dengan trend grafik emisi HC di kajian pustaka (lihat gambar 6).

Tingkat reduksi kadar emisi HC tergantung pada nilai lambda dan temperatur. Lambda dapat mempengaruhi kadar emisi HC karena nilai lambda menunjukkan kondisi campuran udara-bahan bakar yang sesungguhnya. Sedangkan temperatur menunjukkan suhu kerja katalis untuk dapat melakukan proses oksidasi emisi HC menjadi uap air (H_2O).

Pada putaran mesin 750-2000 rpm dan pada lambda kurang dari 1 ($\lambda < 1$), mengindikasikan campuran yang kelebihan bahan bakar. Sehingga

pada proses pembakaran akan kekurangan oksigen dan pembakaran menghasilkan emisi HC yang tinggi. Hal ini dapat dilihat pada tabel 45 dan gambar 87 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,606 – 0,890 dan temperatur gas buang 107°C – 198°C, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 425 ppm Vol – 213 ppm Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 4,5% Vol – 6,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat kuningan dengan lambda 0,704 – 0,971 dan temperatur gas buang 144°C – 207°C, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 110 ppm Vol – 88 ppm Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 3,1% Vol – 4,7% Vol. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih sedikit menghasilkan emisi HC karena adanya katalis kuningan didalamnya, tetapi kadar emisi HC masih besar karena katalis masih bekerja pada campuran yang kaya ($\lambda < 1$) dan temperatur yang masih rendah.

Pada putaran mesin 2250-3250 rpm dan pada lambda sama dengan satu ($\lambda=1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang *stoichiometri*, artinya kebutuhan udara dan bahan bakar yang seimbang (ideal), sehingga setiap molekul udara (O₂) dapat terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar (C₈H₁₈). Dengan demikian, pada $\lambda=1$ akan menghasilkan emisi HC yang lebih sedikit. Hal ini dapat dilihat pada tabel 45 dan gambar 87 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,918 – 1,100 dan temperatur gas buang 203°C – 285°C, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 179 ppm Vol – 66 ppm Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari

6,6% Vol – 7,1% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat kuningan dengan lambda 0,971 – 1,059 dan temperatur gas buang 225°C – 301°C, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 81 ppm Vol – 32 ppm Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 4,7% Vol – 5,0% Vol. Pada putaran mesin 3250 rpm, baik knalpot standar maupun knalpot eksperimen yang dilengkapi dengan katalis plat kuningan, dihasilkan emisi HC terendah karena lambda pada putaran tersebut mencapai angka 1. Artinya, campuran udara dan bahan bakar menjadi ideal (*stoichiometric*) sehingga pembakaran berlangsung sempurna yang akan menghasilkan kadar emisi HC terendah. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen jauh lebih sedikit menghasilkan emisi HC karena adanya katalis kuningan didalamnya dan telah mencapai suhu optimal katalis (301°C) untuk proses reaksi oksidasi HC menjadi uap air (H₂O).

Pada putaran mesin 3500-5.000 rpm dan pada lambda lebih dari satu ($\lambda > 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang kelebihan udara, artinya suplai udara terlalu banyak, sehingga setiap molekul udara (O₂) terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar (C₈H₁₈) bahkan lebih. Pada kondisi $\lambda > 1$ akan menyebabkan pembakaran yang kurang sempurna akibat semakin sedikitnya waktu pembakaran yang semakin cepat sehingga terjadi keterlambatan pengapian (*ignition delay*), akibatnya akan menghasilkan emisi HC yang cenderung meningkat. Hal ini dapat dilihat pada tabel 45 dan gambar 87 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda

1,372 – 1,449 dan temperatur gas buang 297°C-354°C, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 75 ppm Vol – 201 ppm Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 7,2% Vol – 7,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat kuning dengan lambda 1,174 – 1,384 dan temperatur gas buang 309°C – 392°C, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 33 ppm Vol – 61 ppm Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 5,1% Vol – 7,4% Vol. Pada putaran tinggi, emisi HC yang dihasilkan mesin cenderung meningkat sebagai akibat tidak sempurnanya proses pembakaran. Hal ini dapat dilihat dari nilai $\lambda > 1$. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih sedikit menghasilkan emisi HC karena adanya katalis kuning didalamnya. Kadar emisi HC yang semakin naik pada lambda yang semakin besar menunjukkan bahwa semakin kurus campuran udara dan bahan bakar mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna dan terjadinya keterlambatan pengapian (*ignition delay*) pada putaran tinggi. Dengan demikian, kadar emisi HC semakin naik berbanding lurus dengan kenaikan nilai lambda. Meningkatnya kadar emisi HC pada putaran tinggi disebabkan karena: pembakaran yang kurang sempurna karena kekurangan oksigen sehingga ada sebagian bahan bakar yang belum terbakar dan keluar masih dalam bentuk hidrokarbon. Pada campuran kurus, konsentrasi HC akan naik disebabkan karena kurangnya pasokan bahan bakar sehingga menyebabkan rambatan bunga api menjadi lambat dan bahan bakar akan segera keluar sebelum terbakar dengan sempurna. Pada kondisi kaya, konsentrasi HC

akan naik dikarenakan pasokan udara tidak cukup untuk bereaksi dengan sempurna sehingga ada sebagian hidrokarbon yang keluar pada saat proses pembuangan.

Pada temperatur 301°C, mengindikasikan suhu optimal katalis kuningan untuk mengaktivasi gas buang yang mengalir di permukaan katalis. Sehingga kadar emisi HC dapat menurun secara optimal karena tercapainya suhu aktivasi $2\text{HC} + 2\frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$, dimana suhu normal terbentuknya uap air (H_2O) pada fase tanpa katalis sekitar 600°C. Sedangkan pada penelitian ini, suhu optimal kerja katalis kuningan dapat dicapai pada suhu yang lebih rendah, yaitu 301°C.

Sebagai bukti bahwa penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) mampu mereduksi emisi HC menjadi uap air (H_2O) dapat dilihat pada kondisi gas probe yang telah dikeluarkan dari dalam knalpot berikut ini (gambar 88 dan 89).



Gambar 88. Uap Air (H_2O) yang Terdapat Pada Gas Probe Tanpa Pemakaian *Metallic Catalytic Converter* di Knalpot Standar



Gambar 89. Uap Air (H₂O) yang Terdapat Pada Gas Probe Setelah Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat kuningan (Cu+Zn) di Knalpot Eksperimen

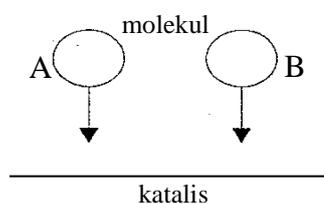
Perlu diketahui bahwa “sejumlah energi minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi kimia disebut sebagai energi aktivasi”. Katalis tersebut akan menurunkan energi aktivasi dari reaksi dengan menyediakan jalan baru. Secara garis besar dapat dijelaskan teori katalisis, yaitu: *the adsorption theory (heterogeneous)*, yaitu reaksi dua gas pada permukaan katalis padat (*solid catalyst*).



Ada 4 tahapan pada teori ini, yaitu:

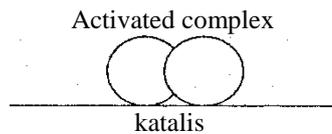
a. Adsorption dari molekul reaktan

Molekul A dan B menabrak permukaan katalis dan ditahan pada permukaan.



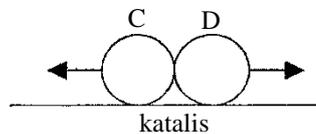
b. Formation of Activated Complex

Partikel yang berdekatan salah satu bergabung membentuk *intermediate complex* (A-B). Di mana *activated complex* tidak stabil itu hanya berlangsung dalam keadaan yang singkat.



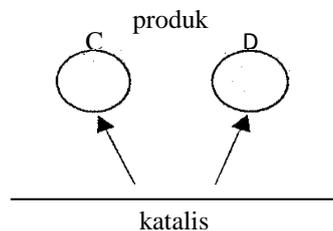
c. Decomposition of Activated Complex

Activated complex pecah membentuk produk C dan D. Partikel yang dipisahkan dari produk ditahan pada permukaan katalis dengan ikatan kimia parsial.



d. Desorption of Products

Partikel produk dilepas dari permukaan katalis.



Untuk membandingkan knalpot standar dengan knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K yang telah dilengkapi dengan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) tersebut apakah

memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama dapat dilihat pada tabel 46 berikut ini.

Tabel 46. Perbandingan Hasil Uji Emisi HC antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Berteknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan

| Kategori | Tahun Pembuat-an | HC (ppm) | Metode Uji | Emisi HC Knalpot Standar Toyota Kijang tipe 7K (ppm Vol) | Kete-rangan | Emisi HC Knalpot Eksperimen Dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn) (ppm Vol) | Kete-rangan |
|--|------------------|----------|------------|--|-----------------|--|-----------------|
| Mobil berpengge rak motor bakar cetus api (bensin) | < 2007 | 1200 | Idle | 425 | Lulus Uji Emisi | 110 | Lulus Uji Emisi |

Dari tabel 46 dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat mereduksi kadar emisi HC secara cukup signifikan jika dibandingkan dengan knalpot standar. Katalis kuningan dapat mereduksi kadar emisi HC di bawah ambang batas emisi yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Namun, jika ditinjau dari peluang lulus uji emisi atau tidak, tentu penggunaan knalpot standar tidak akan lulus uji emisi karena menghasilkan emisi CO di atas ambang batas walaupun emisi HC yang dihasilkan di bawah ambang batas. Sedangkan penggunaan knalpot eksperimen dengan *metallic catalytic converter* plat kuningan dapat

dikategorikan lulus uji emisi karena menghasilkan emisi CO dan HC di bawah ambang batas.

Dapat dikatakan bahwa penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat mendukung program langit biru (*blue sky program*) dan program sekolah adiwiyata (*green school program*) yang telah dicanangkan oleh pemerintah karena terbukti mampu mereduksi konsentrasi emisi HC secara cukup signifikan di sekolah.

Dari hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) tentang pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa katalis plat kuningan dapat mereduksi emisi HC rata-rata sebesar **57,22%**. *Metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) efektif sebagai katalisator pada reaksi $2\text{HC} + 2\frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$ pada lambda (λ) 1,059 dengan temperatur 301°C yang menghasilkan emisi HC terendah yaitu 32 ppm Vol.

Hasil penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Nisa et al. (2016) yang hanya mampu mereduksi emisi HC rata-rata sebesar **55,34%** dengan menggunakan *catalytic converter* pipa kuningan (Cu+Zn).

Sekedar diketahui bahwa pengujian emisi HC pada kendaraan bermotor tipe baru sudah menggunakan *Euro II Emission Standard* dengan

standar emisi HC sebesar 0,5-0,6 gram/km dengan metode uji ECE R 83 – 04 berdasarkan Peraturan Menteri Negara LH No. 04 Tahun 2009.

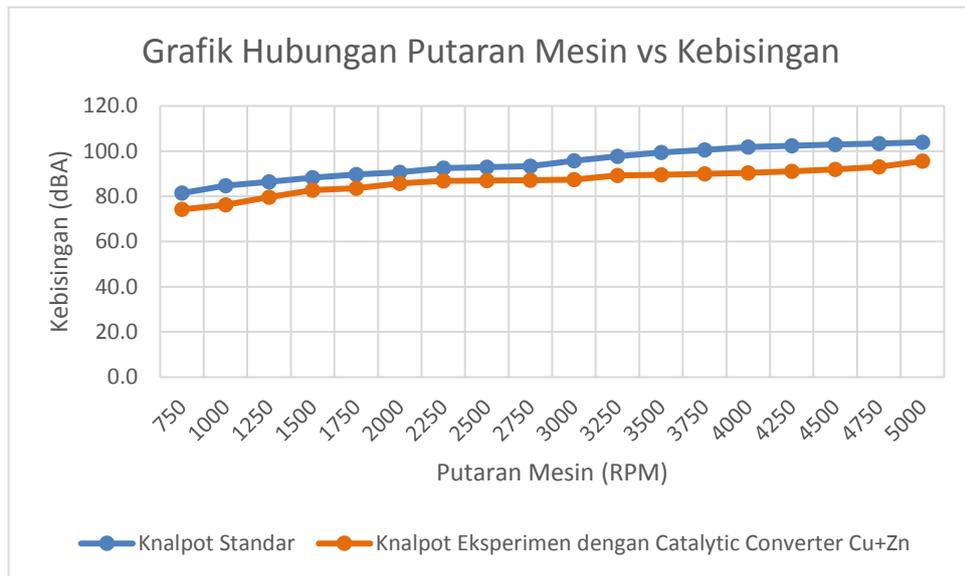
d. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan Terhadap Reduksi Kebisingan

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik terhadap kebisingan kendaraan, dapat dilihat pada tabel 47 berikut ini.

Tabel 47. Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K | | Knalpot Eksperimen dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Kuningan (Cu+Zn) | | Reduksi Kebisingan (%) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------|--|-----------|------------------------|
| | Tekanan Balik (kPa) | SPL (dBA) | Tekanan Balik (kPa) | SPL (dBA) | |
| 750 | 0,96 | 81,4 | 1,21 | 74,2 | 8,85 |
| 1000 | 1,62 | 84,7 | 1,87 | 76,3 | 9,92 |
| 1250 | 2,53 | 86,4 | 2,93 | 79,6 | 7,87 |
| 1500 | 3,13 | 88,2 | 3,86 | 82,8 | 6,12 |
| 1750 | 3,86 | 89,7 | 4,22 | 83,6 | 3,01 |
| 2000 | 4,77 | 90,6 | 5,73 | 85,7 | 1,21 |
| 2250 | 6,15 | 92,5 | 6,63 | 86,8 | 1,51 |
| 2500 | 7,67 | 92,9 | 8,98 | 87,0 | 10,01 |
| 2750 | 8,80 | 93,4 | 9,31 | 87,1 | 8,24 |
| 3000 | 9,65 | 95,8 | 10,15 | 87,4 | 9,39 |
| 3250 | 10,80 | 97,7 | 11,65 | 89,2 | 10,85 |
| 3500 | 11,62 | 99,4 | 11,95 | 89,5 | 12,07 |
| 3750 | 12,05 | 100,5 | 12,70 | 89,9 | 11,24 |
| 4000 | 13,23 | 101,8 | 13,69 | 90,4 | 11,69 |
| 4250 | 14,00 | 102,4 | 14,50 | 91,1 | 11,72 |
| 4500 | 14,78 | 102,9 | 15,15 | 91,9 | 10,69 |
| 4750 | 15,30 | 103,3 | 15,82 | 93,1 | 9,87 |
| 5000 | 17,78 | 103,9 | 18,65 | 95,6 | 7,99 |
| Rata-rata Reduksi Kebisingan | | | | | 8,46 |

Dari data pada tabel 47, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 90 berikut ini.



Gambar 90. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan

Secara umum, penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan pada knalpot eksperimen akan menurunkan kebisingan yang dihasilkan oleh mesin Toyota Kijang tipe 7K namun tidak signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 47 dan gambar 90 di atas.

Pada putaran idle mesin (750 rpm), kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 81,4 dBA dengan tekanan balik sebesar 0,96 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat kuningan sebesar 74,2 dBA dengan tekanan balik sebesar 1,21 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 8,85%.

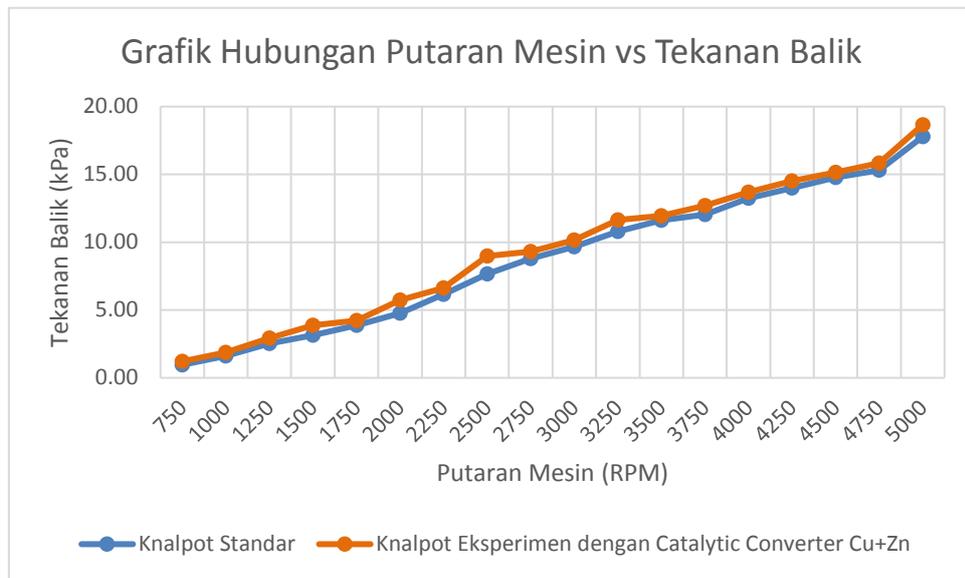
Pada putaran mesin 3500 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 99,4 dBA dengan tekanan balik sebesar 11,62 kPa.

Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat kuningan sebesar 89,5 dBA dengan tekanan balik sebesar 11,95 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 12,07%.

Pada putaran mesin 5000 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 103,9 dBA dengan tekanan balik sebesar 17,78 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat kuningan sebesar 95,6 dBA dengan tekanan balik sebesar 18,65 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 7,99%.

Reduksi kebisingan yang terjadi pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K disebabkan karena dengan pemasangan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) dapat meningkatkan tekanan gas buang di dalam knalpot saat melewati permukaan katalis sehingga mampu mereduksi kebisingan yang dihasilkan, selain katalis tersebut berfungsi untuk mereduksi emisi CO dan HC.

Peningkatan tekanan balik (*back pressure*) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) dapat dilihat pada gambar 91 berikut ini.



Gambar 91. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (*Back Pressure*) Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan

Dari gambar 91 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K cenderung menghasilkan tekanan balik gas buang yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan knalpot standar, namun tidak signifikan. Akibatnya, kebisingan yang dihasilkan pada ujung knalpot eksperimen (*tail pipe*) cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan knalpot standar (lihat gambar 90).

Dari hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) tentang pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa katalis plat kuningan dapat mereduksi kebisingan rata-rata sebesar **8,46%**.

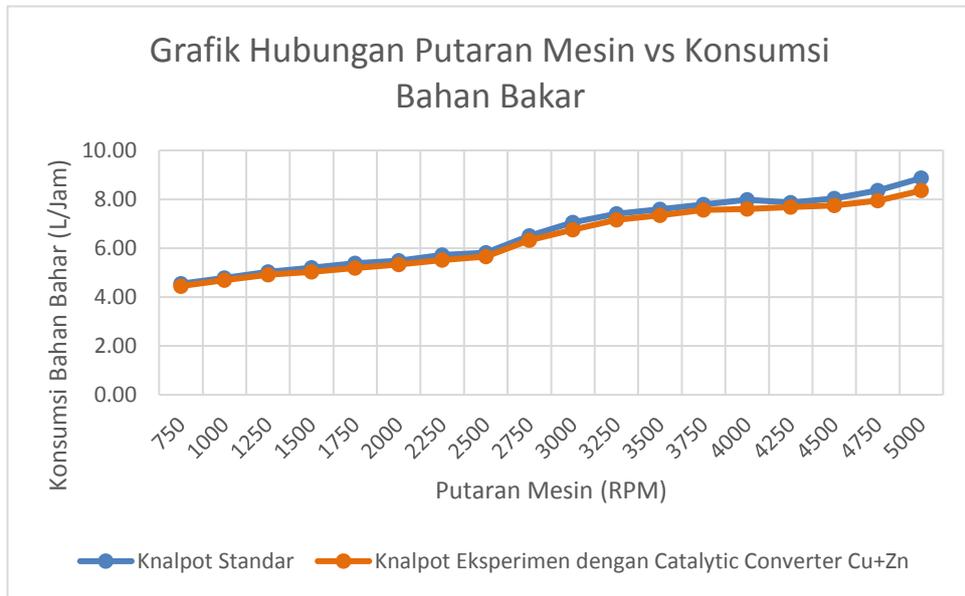
e. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan Terhadap Reduksi Konsumsi Bahan Bakar

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K terhadap konsumsi bahan bakar di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel 48 berikut ini.

Tabel 48. Reduksi Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang 7K | | | Knalpot Eksperimen dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Kuningan (Cu+Zn) | | | Reduksi Konsumsi Bahan Bakar (%) |
|---|----------------------------------|---------------------|------------------------------|---|---------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | Lambda (λ) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (L/Jam) | Lambda (λ) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (L/Jam) | |
| 750 | 0,606 | 0,96 | 4,55 | 0,704 | 1,21 | 4,45 | 2,15 |
| 1000 | 0,775 | 1,62 | 4,79 | 0,835 | 1,87 | 4,69 | 1,90 |
| 1250 | 0,805 | 2,53 | 5,04 | 0,857 | 2,93 | 4,91 | 2,56 |
| 1500 | 0,872 | 3,13 | 5,20 | 0,876 | 3,86 | 5,04 | 3,13 |
| 1750 | 0,878 | 3,86 | 5,38 | 0,957 | 4,22 | 5,19 | 3,46 |
| 2000 | 0,890 | 4,77 | 5,49 | 0,971 | 5,73 | 5,33 | 2,93 |
| 2250 | 0,918 | 6,15 | 5,72 | 0,971 | 6,63 | 5,52 | 3,56 |
| 2500 | 0,928 | 7,67 | 5,81 | 0,982 | 8,98 | 5,66 | 2,58 |
| 2750 | 0,976 | 8,80 | 6,51 | 0,997 | 9,31 | 6,33 | 2,85 |
| 3000 | 0,981 | 9,65 | 7,06 | 0,995 | 10,15 | 6,76 | 4,24 |
| 3250 | 1,100 | 10,80 | 7,41 | 1,059 | 11,65 | 7,16 | 3,30 |
| 3500 | 1,372 | 11,62 | 7,60 | 1,174 | 11,95 | 7,35 | 3,27 |
| 3750 | 1,404 | 12,05 | 7,79 | 1,180 | 12,70 | 7,57 | 2,78 |
| 4000 | 1,410 | 13,23 | 7,98 | 1,245 | 13,69 | 7,61 | 4,61 |
| 4250 | 1,412 | 14,00 | 7,87 | 1,251 | 14,50 | 7,68 | 2,43 |
| 4500 | 1,424 | 14,78 | 8,04 | 1,277 | 15,15 | 7,76 | 3,49 |
| 4750 | 1,429 | 15,30 | 8,36 | 1,291 | 15,82 | 7,94 | 5,07 |
| 5000 | 1,449 | 17,78 | 8,87 | 1,384 | 18,65 | 8,36 | 5,76 |
| Rata-rata Reduksi Konsumsi Bahan Bakar | | | | | | | 3,34 |

Dari data pada tabel 48, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 92 berikut ini.



Gambar 92. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan

Secara umum, penggunaan *metallic catalytic converter* plat kuningan pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat menurunkan konsumsi bahan bakar di setiap putaran mesin walaupun tidak signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 48 dan gambar 92 di atas.

Pada putaran idle mesin (750 rpm), konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 4,55 L/Jam dengan lambda (λ) = 0,606 dan tekanan balik gas buang sebesar 0,96 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat kuningan sebesar 4,45 L/Jam dengan lambda (λ) = 0,704 dan tekanan balik

gas buang sebesar 1,21 kPa. Reduksi konsumsi bahan bakar pada putaran ini hanya sebesar 2,15%.

Pada putaran mesin 3500 rpm, konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 7,60 L/Jam dengan lambda (λ) = 1,372 dan tekanan balik gas buang sebesar 11,62 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat kuning sebesar 7,35 L/Jam dengan lambda (λ) = 1,174 dan tekanan balik gas buang sebesar 11,95 kPa. Reduksi konsumsi bahan bakar pada putaran ini hanya sebesar 3,27%.

Pada putaran mesin 5000 rpm, konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 8,87 L/Jam dengan lambda (λ) = 1,449 dan tekanan balik gas buang sebesar 17,78 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat kuning sebesar 8,36 L/Jam dengan lambda (λ) = 1,384 dan tekanan balik gas buang sebesar 18,65 kPa. Reduksi konsumsi bahan bakar pada putaran ini hanya sebesar 5,76%.

Konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin selama 1 (satu) jam. Besar kecilnya konsumsi bahan bakar tergantung pada sempurna atau tidak sempurnanya campuran udara dan bahan bakar yang terbakar dalam ruang bakar. Hal ini ditunjukkan oleh nilai lambda (λ). Nilai lambda (λ) = 1,000, menunjukkan campuran ideal (*stoichiometric*), artinya perbandingan antara jumlah udara-bahan bakar secara aktual akan sama dengan jumlah udara-bahan bakar secara teori

(14,7:1). Dengan nilai lambda (λ) =1,000 atau mendekati, akan dihasilkan pembakaran yang sempurna. Semakin sempurna pembakaran, maka akan menghasilkan torsi dan daya efektif yang lebih besar serta konsumsi bahan bakar yang lebih rendah (irit).

Dalam penelitian ini, lambda yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan cenderung menghasilkan lambda yang mendekati lambda ideal jika dibandingkan dengan knalpot standar. Oleh karena itu, konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen relatif lebih rendah (irit) jika dibandingkan dengan knalpot standar. Faktor-faktor yang menentukan kesempurnaan pembakaran antara lain: homogenitas campuran udara dan bahan bakar, kaya/miskinnya campuran yang masuk ruang bakar, waktu yang tersedia untuk melakukan pembakaran, dan desain ruang bakar itu sendiri.

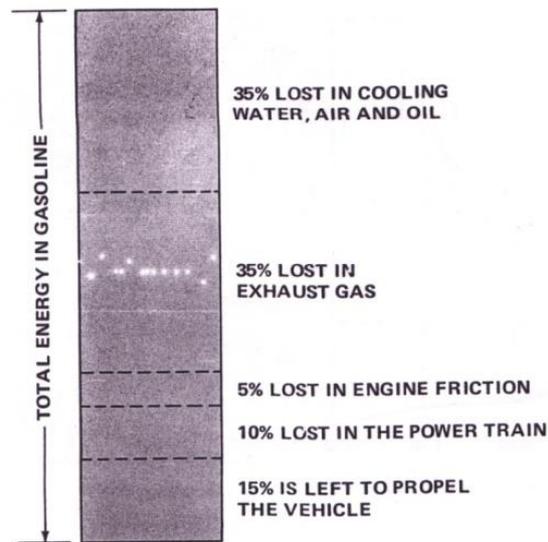
Dari tabel 48 dan gambar 92 ditunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar akan terus meningkat sebanding dengan putaran mesin. Hal ini disebabkan karena pada putaran rendah, turbulensi campuran sangat rendah, sebagai akibat kecilnya kecepatan aliran campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Seperti diketahui, turbulensi aliran sangatlah penting dalam menghasilkan campuran yang baik, sehingga bisa meningkatkan energi yang dihasilkan dari hasil pembakaran. Pada putaran menengah, dicapai campuran udara dan bahan bakar yang mendekati campuran *stoichiometric* sehingga proses pembakaran berlangsung

sempurna sehingga torsi dan daya efektif yang dihasilkan mesin cenderung meningkat. Hal ini juga diimbangi oleh tercapainya turbulensi aliran campuran udara dan bahan bakar. Pada putaran tinggi, meskipun turbulensi aliran bagus, akan tetapi kurangnya waktu yang tersedia untuk pembakaran mengakibatkan pembakaran menjadi kurang sempurna, ditambah lagi tingginya *losses* yang terjadi pada putaran tinggi, maka akan meningkatkan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin.

Selain itu, menurunnya konsumsi bahan bakar juga disebabkan oleh faktor temperatur dan tekanan balik (*back pressure*). Dari tabel 45 dan gambar 84 terlihat bahwa dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 7K akan meningkatkan temperatur gas buang di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan knalpot standar. Panas yang tertahan di katalis menyebabkan temperatur di dalam ruang bakar mesin meningkat sebagai akibat meningkatnya tekanan balik (*back pressure*) yang terjadi (lihat tabel 48 dan gambar 92) sehingga efisiensi thermal mesin meningkat (>15%) jika dibandingkan dengan efisiensi thermal knalpot standar. Efisiensi thermal berhubungan dengan berapa banyak tenaga panas dari pembakaran yang dirubah menjadi tenaga untuk mendorong torak.

Efisiensi thermal ini besarnya hanya sekitar 15%. Hal ini disebabkan karena 35% hilang karena pendinginan silinder, baik oleh pendinginan air, udara maupun oli; 35% hilang terbawa gas buang saat meninggalkan

silinder, 5% hilang akibat gesekan mesin, dan 15% hilang pada saat menggerakkan komponen mesin (lihat gambar 93).



Gambar 93. Energi yang Hilang dari Silinder Terhadap Roda
Sumber: Crouse & Anglin (1997: 128)

Meningkatnya efisiensi thermal mengakibatkan energi yang diberikan ke piston pada saat langkah kerja sangat besar, kemudian energi tersebut diteruskan ke batang torak (*connecting rod*) dan ke poros engkol (*crankshaft*), sehingga gaya tangensial menjadi lebih besar. Dengan gaya tangensial yang lebih besar, maka torsi dan daya efektif yang dihasilkan mesin akan semakin besar dan konsumsi bahan bakar akan menjadi lebih rendah (irit).

Dari hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) tentang pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK

Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa katalis plat kuningan dapat mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar **3,34%**.

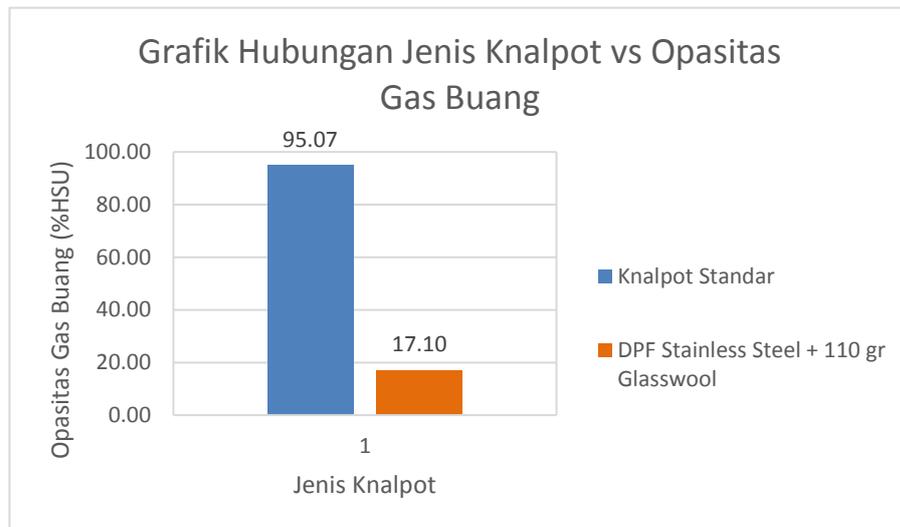
f. Kemampuan Teknologi *Diesel Particulate Filter* (DPF) Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool* Terhadap Reduksi Opasitas Gas Buang Mesin Diesel

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 terhadap reduksi opasitas/partikulat di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel 49 berikut ini.

Tabel 49. Reduksi Opasitas Gas Buang Mesin Isuzu C190 Dengan Menggunakan DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool* di SMK Semen Gresik

| Jenis Knalpot | Rata-rata Opasitas Gas Buang (%HSU) | Reduksi Opasitas Gas Buang (%) |
|--|--|---------------------------------------|
| Knalpot Standar | 95,07 | |
| Knalpot Eksperimen dengan Teknologi DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> | 17,10 | 82,01 |

Dari data pada tabel 49, apabila ditampilkan dalam bentuk diagram batang tentang opasitas gas buang, seperti terlihat pada gambar 94 berikut ini.



Gambar 94. Perbandingan Hasil Pengujian Opasitas Gas Buang Dengan Menggunakan DPF Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool*

Secara umum, dapat disimpulkan bahwa penggunaan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* (Fe+Cr) dan 110 gr *glasswool* dapat menurunkan opasitas gas buang mesin Isuzu C190 secara signifikan di SMK Semen Gresik.

Opasitas gas buang yang dihasilkan oleh knalpot standar mesin Isuzu C190 sebesar 95,07 %HSU. Tingginya emisi yang dihasilkan tersebut disebabkan karena fasilitas praktik di SMK Program Keahlian Teknik Otomotif mengalami gradasi karena faktor usia dan pemakaian (Arifin, 2016: 1747). Sedangkan opasitas gas buang yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 berteknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* sebesar 17,10 %HSU. Dengan teknologi DPF ini dapat mereduksi opasitas gas buang sebesar 82,01%.

Pada knalpot standar, aliran gas buang yang keluar dari ruang bakar menuju ke atmosfer tidak tersaring/terjebak oleh material apapun, sehingga

gas buang tersebut keluar begitu saja tanpa adanya penyaringan/penjebakan. Dampaknya opasitas gas buang cenderung lebih tinggi. Sedangkan reduksi opasitas gas buang pada knalpot eksperimen disebabkan karena emisi partikulat yang keluar dari ruang bakar mengalir ke knalpot menuju DPF terlebih dahulu. Di dalam DPF, emisi partikulat tersebut akan melewati material *glasswool* yang dipasang diujung pemasukan DPF. Di *glasswool* ini, emisi partikulat tersebut akan diserap dan disaring. Selanjutnya gas buang yang telah disaring/di-*filter* tersebut akan mengalir melalui lubang-lubang (*perforated*) yang terdapat pada plat *stainless steel* ke sisi pengeluaran DPF menuju *muffler* dan atmosfer.

Sebagai bukti bahwa telah terjadi reduksi opasitas gas buang (partikulat) dengan menggunakan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* dapat dilihat pada gambar 95 berikut ini.



(a)

(b)

Gambar 95. DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool*: (a) Sebelum Pengujian, (b) Setelah Pengujian

Berapa gram emisi partikulat (PM) yang bisa diserap oleh DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* tersebut? Untuk

menghitungnya, sebelum melakukan pengujian, DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* ditimbang terlebih dahulu menggunakan timbangan digital untuk mengetahui berat DPF tersebut. Berat DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* sebelum dilakukan pengujian, yaitu 3.030 gr. Setelah dilakukan pengujian, berat DPF bertambah menjadi 3,100 gr (lihat gambar 96). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat 70 gr emisi partikulat (PM) yang tersaring oleh DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* tersebut.



(a)

(b)

Gambar 96. Berat DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool*: (a) Sebelum Pengujian 3.030 gr, (b) Setelah Pengujian 3.100 gr

Untuk mengetahui apakah knalpot standar dan knalpot eksperimen yang dilengkapi dengan teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada mesin Isuzu C190 tersebut memenuhi ambang batas opasitas gas buang sesuai dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama, maka perlu dilakukan perbandingan antara penggunaan knalpot standar dan knalpot eksperimen berteknologi

DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* yang dapat dilihat pada Tabel 50 berikut ini.

Tabel 50. Perbandingan Hasil Uji Opasitas Gas Buang Mesin Isuzu C190 Dengan Menggunakan DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool*

| Kategori | Tahun Pembuatan | Ambang Batas Opasitas Gas Buang (% HSU) | Metode Uji | Opasitas Gas Buang Knalpot Standar (%) | Keterangan | Opasitas Gas Buang Dengan DPF <i>Stainless Steel</i> + 110 gr <i>Glasswool</i> (% HSU) | Keterangan |
|--|-----------------|---|------------------|--|-----------------------|--|-----------------|
| Berpenggerak motor bakar penyalaan kompresi (mesin diesel) | <2010 | 70 | Percepatan bebas | 95,07 | Tidak lulus uji emisi | 17,10 | Lulus uji emisi |

Dari tabel 50 dapat dilihat bahwa knalpot standar mesin Isuzu C190 tidak lulus uji emisi gas buang karena menghasilkan opasitas gas buang di atas ambang batas yang telah ditetapkan. Sedangkan knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 berteknologi DPF *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* lulus uji emisi gas buang karena menghasilkan opasitas gas buang jauh di bawah ambang batas yang telah ditetapkan oleh pemerintah.

Dari hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) tentang pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* dapat mereduksi opasitas gas buang rata-rata sebesar **82,01%**.

Hasil penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Vasanthan (2013) yang hanya mampu mereduksi opasitas gas buang sebesar

60-70% dengan menggunakan DPF berbahan dasar oksida tembaga (*copper oxide*), penelitian Warju & Marsudi (2015) yang hanya mampu mereduksi opasitas gas buang sebesar **70%** dengan menggunakan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 100 gr *glasswool*, dan penelitian Ariyanto & Warju (2016) yang hanya mampu mereduksi opasitas gas buang sebesar **75%** dengan menggunakan DPF berbahan dasar plat tembaga dan 100 gr *glasswool*.

Sekedar diketahui bahwa pengujian opasitas gas buang pada kendaraan bermotor tipe baru sudah menggunakan *Euro II Emission Standard* yang berpedoman pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 04 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru dengan standar opasitas gas buang sebesar 0,08-0,17 gram/km dengan metode uji ECE R 83 – 04.

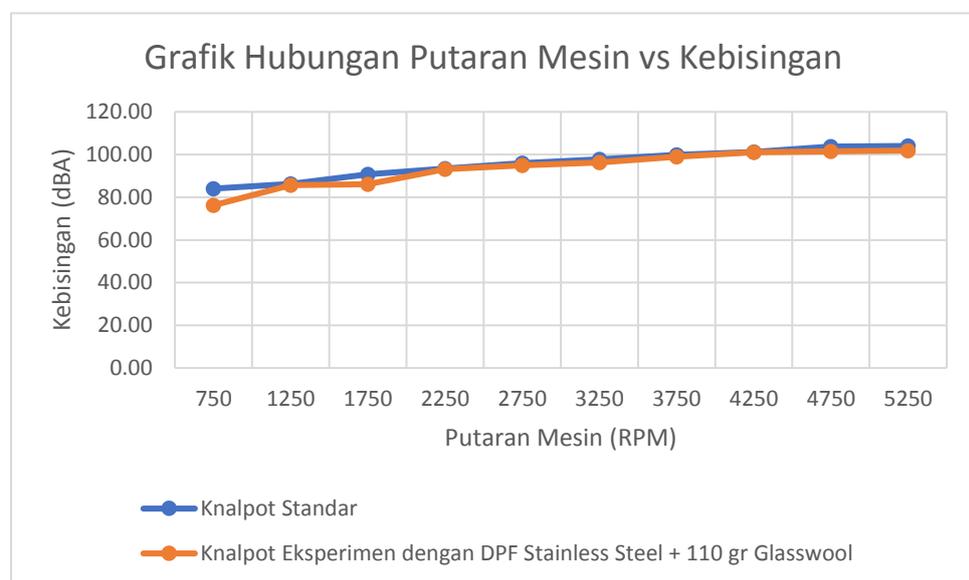
g. Kemampuan Teknologi *Diesel Particulate Filter* (DPF) Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool* Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik terhadap kebisingan kendaraan, dapat dilihat pada tabel 51 berikut ini.

Tabel 51. Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Isuzu C190 Dengan Penggunaan DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool* di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Isuzu C190 | | Knalpot Eksperimen dengan DPF <i>Stainless Steel</i> + 110 gr <i>Glasswool</i> | | Reduksi Kebisingan (%) |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------|--|-----------|------------------------|
| | Tekanan Balik (kPa) | SPL (dBA) | Tekanan Balik (kPa) | SPL (dBA) | |
| 750 | 2,09 | 84,03 | 2,30 | 76,23 | 9,28 |
| 1250 | 3,98 | 86,27 | 4,02 | 85,63 | 0,74 |
| 1750 | 6,98 | 90,70 | 7,23 | 86,10 | 5,07 |
| 2250 | 9,67 | 93,43 | 10,12 | 93,20 | 0,25 |
| 2750 | 10,68 | 96,03 | 11,71 | 94,90 | 1,18 |
| 3250 | 12,74 | 97,73 | 13,22 | 96,30 | 1,46 |
| 3750 | 15,83 | 99,80 | 16,33 | 99,00 | 0,80 |
| 4250 | 16,86 | 101,27 | 17,38 | 101,00 | 0,27 |
| 4750 | 17,95 | 103,77 | 18,45 | 101,50 | 2,19 |
| 5250 | 20,90 | 104,03 | 21,71 | 101,87 | 2,08 |
| Rata-rata Reduksi Kebisingan | | | | | 2,33 |

Dari data pada tabel 51, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 97 berikut ini.



Gambar 97. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi DPF *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool*

Secara umum, penggunaan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen akan menurunkan kebisingan yang dihasilkan oleh mesin Isuzu C190 namun tidak signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 51 dan gambar 97 di atas.

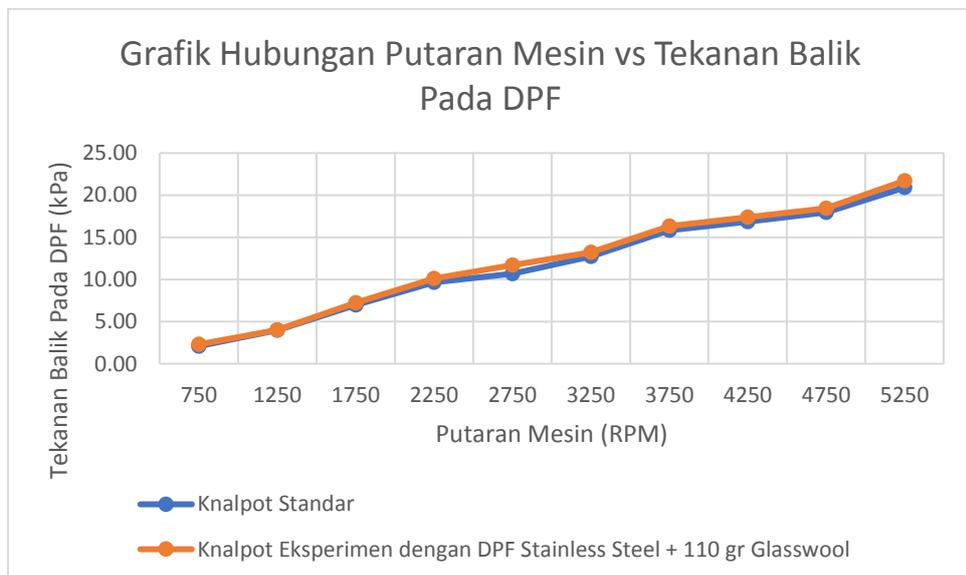
Pada putaran idle mesin (750 rpm), kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 84,03 dBA dengan tekanan balik sebesar 2,09 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* sebesar 76,23 dBA dengan tekanan balik sebesar 2,30 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 9,28%.

Pada putaran mesin 2750 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 96,03 dBA dengan tekanan balik sebesar 10,68 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* sebesar 94,90 dBA dengan tekanan balik sebesar 11,71 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 1,18%.

Pada putaran mesin 5250 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 104,03 dBA dengan tekanan balik sebesar 20,90 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* sebesar 101,87 dBA dengan tekanan balik sebesar 21,71 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 2,08%.

Reduksi kebisingan yang terjadi pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 disebabkan karena dengan pemasangan teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* tersebut dapat meningkatkan tekanan balik (*back pressure*) di dalam knalpot saat melewati permukaan DPF sehingga mampu mereduksi kebisingan yang dihasilkan, selain DPF tersebut berfungsi untuk mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat).

Peningkatan tekanan balik (*back pressure*) pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 dengan menggunakan teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* dapat dilihat pada gambar 98 berikut ini.



Gambar 98. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (*Back Pressure*) Dengan Penggunaan Teknologi DPF *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool*

Dari gambar 98 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada knalpot

eksperimen mesin Isuzu C190 cenderung menghasilkan tekanan balik gas buang yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan knalpot standar, namun tidak signifikan. Akibatnya, kebisingan yang dihasilkan pada ujung knalpot eksperimen (*tail pipe*) cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan knalpot standar (lihat gambar 97).

DPF selain difungsikan sebagai pereduksi emisi partikulat (opasitas) juga difungsikan sebagai peredam suara, sehingga semakin kecil diameter cell DPF yang dimasukkan ke dalam knalpot, maka kebisingan yang dihasilkan akan semakin rendah. Dalam penelitian ini, diameter cell DPF berbahan dasar plat *stainless steel* yang digunakan adalah 10 mm.

Dari hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) tentang pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* dapat mereduksi kebisingan rata-rata sebesar **2,33%**.

Hasil penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Warju & Marsudi (2015) yang hanya mampu mereduksi kebisingan sebesar **1,7%** dengan menggunakan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 100 gr *glasswool*.

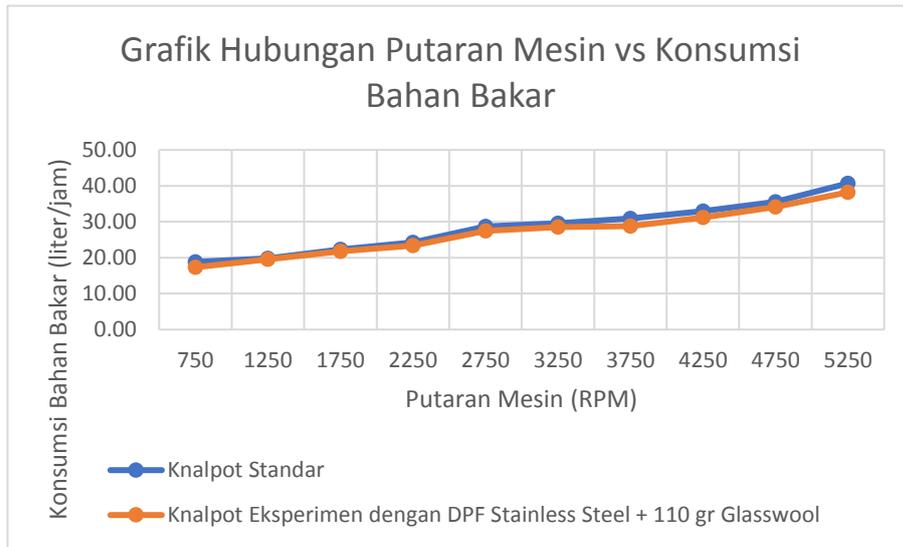
h. Kemampuan Teknologi *Diesel Particulate Filter* (DPF) Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool* Terhadap Reduksi Konsumsi Bahan Bakar

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 terhadap konsumsi bahan bakar di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel 52 berikut ini.

Tabel 52. Reduksi Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Isuzu C190 Dengan Penggunaan DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool* di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Mesin Isuzu C190 | | | Knalpot Eksperimen dengan DPF Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> | | | Reduksi Konsumsi Bahan Bakar (%) |
|---|----------------------------------|---------------------|------------------------------|---|---------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | Temperatur (°C) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (L/Jam) | Temperatur (°C) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (L/Jam) | |
| 750 | 72,41 | 2,09 | 18,84 | 173,81 | 2,30 | 17,34 | 7,96 |
| 1250 | 77,80 | 3,98 | 19,85 | 176,61 | 4,02 | 19,59 | 1,31 |
| 1750 | 90,52 | 6,98 | 22,27 | 183,53 | 7,23 | 21,77 | 2,25 |
| 2250 | 97,60 | 9,67 | 24,26 | 191,81 | 10,12 | 23,37 | 3,67 |
| 2750 | 101,54 | 10,68 | 28,72 | 221,00 | 11,71 | 27,45 | 4,42 |
| 3250 | 103,81 | 12,74 | 29,56 | 248,81 | 13,22 | 28,53 | 3,48 |
| 3750 | 111,54 | 15,83 | 30,93 | 268,41 | 16,33 | 28,80 | 6,89 |
| 4250 | 123,93 | 16,86 | 32,97 | 312,58 | 17,38 | 31,20 | 5,37 |
| 4750 | 146,14 | 17,95 | 35,50 | 395,22 | 18,45 | 34,16 | 3,77 |
| 5250 | 150,51 | 20,90 | 40,69 | 445,30 | 21,71 | 38,22 | 6,07 |
| Rata-rata Reduksi Konsumsi Bahan Bakar | | | | | | | 4,52 |

Dari data pada tabel 52, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 99 berikut ini.



Gambar 99. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dengan Penggunaan Teknologi DPF *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool*

Secara umum, penggunaan *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 dapat menurunkan konsumsi bahan bakar di setiap putaran mesin walaupun tidak signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 52 dan gambar 99 di atas.

Pada putaran idle mesin (750 rpm), konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 18,84 L/Jam dengan temperatur gas buang = 72,41°C dan tekanan balik gas buang sebesar 2,09 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* sebesar 17,34 L/Jam dengan temperatur gas buang = 173,81°C dan tekanan balik gas buang sebesar 2,31 kPa. Reduksi konsumsi bahan bakar pada putaran ini sebesar 7,96%.

Pada putaran idle mesin (2750 rpm), konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 28,72 L/Jam dengan temperatur gas buang = 101,54°C dan tekanan balik gas buang sebesar 10,68 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* sebesar 27,45 L/Jam dengan temperatur gas buang = 221°C dan tekanan balik gas buang sebesar 11,71 kPa. Reduksi konsumsi bahan bakar pada putaran ini sebesar 4,42%.

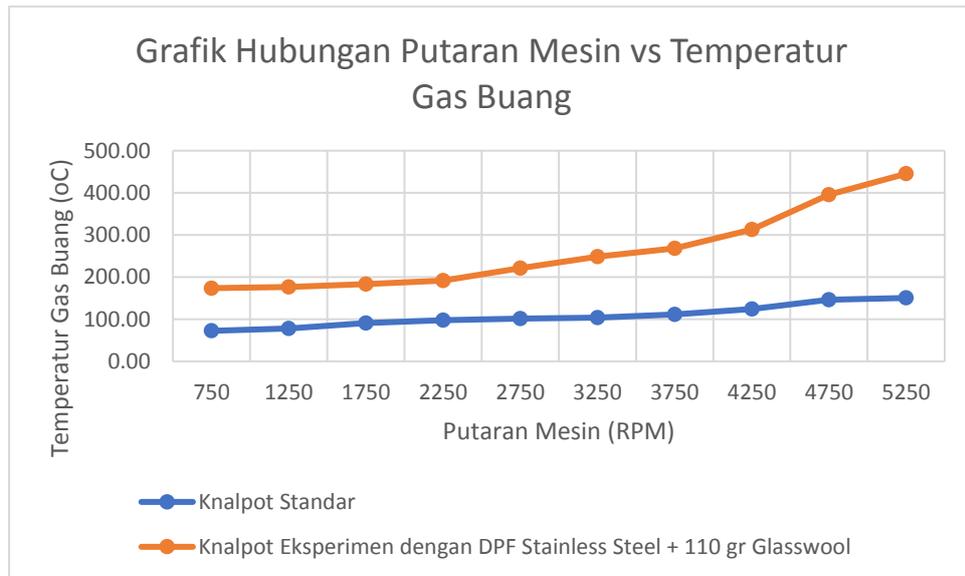
Pada putaran idle mesin (5250 rpm), konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 40,69 L/Jam dengan temperatur gas buang = 150,51°C dan tekanan balik gas buang sebesar 20,90 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* sebesar 38,22 L/Jam dengan temperatur gas buang = 445,30°C dan tekanan balik gas buang sebesar 21,71 kPa. Reduksi konsumsi bahan bakar pada putaran ini sebesar 6,07%.

Konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin selama 1 (satu) jam. Besar kecilnya konsumsi bahan bakar tergantung pada sempurna atau tidak sempurnanya campuran udara dan bahan bakar yang terbakar dalam ruang bakar. Semakin sempurna pembakaran, maka akan menghasilkan torsi dan daya efektif yang lebih besar serta konsumsi bahan bakar yang lebih rendah (irit). Faktor-faktor yang menentukan kesempurnaan pembakaran antara lain: homogenitas

campuran udara dan bahan bakar, kaya/miskinnya campuran yang masuk ruang bakar, waktu yang tersedia untuk melakukan pembakaran, dan desain ruang bakar itu sendiri.

Dari tabel 52 dan gambar 99 ditunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar akan terus meningkat sebanding dengan putaran mesin. Hal ini disebabkan karena pada putaran mesin rendah, turbulensi campuran sangat rendah, sebagai akibat kecilnya kecepatan aliran campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Seperti diketahui, turbulensi aliran sangatlah penting dalam menghasilkan campuran yang baik, sehingga bisa meningkatkan energi yang dihasilkan dari hasil pembakaran. Pada putaran mesin menengah, dicapai campuran udara dan bahan bakar yang mendekati campuran *stoichiometric* sehingga proses pembakaran berlangsung sempurna sehingga torsi dan daya efektif yang dihasilkan mesin cenderung meningkat. Hal ini juga diimbangi oleh tercapainya turbulensi aliran campuran udara dan bahan bakar. Pada putaran mesin tinggi, meskipun turbulensi aliran bagus, akan tetapi kurangnya waktu yang tersedia untuk pembakaran mengakibatkan pembakaran menjadi kurang sempurna, ditambah lagi tingginya kerugian (*losses*) yang terjadi pada putaran mesin tinggi, maka akan meningkatkan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin.

Peningkatan temperatur gas buang dengan menggunakan knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 berteknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* dapat dilihat pada gambar 100 berikut ini.



Gambar 100. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Dengan Penggunaan Teknologi DPF *Stainless Steel* dan 110 gr *Glasswool*

Menurunnya konsumsi bahan bakar pada knalpot eksperimen berteknologi DPF *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* juga disebabkan oleh faktor temperatur dan tekanan balik (*back pressure*). Dari tabel 52 dan gambar 98 serta gambar 100 terlihat bahwa dengan menggunakan teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 akan meningkatkan temperatur gas buang akibat peningkatan tekanan balik di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan knalpot standar. Panas yang tertahan di DPT berbahan dasar plat *stainless steel* dan *glasswool* akan menyebabkan temperatur di dalam ruang

bakar mesin meningkat sebagai akibat meningkatnya tekanan balik (*back pressure*) yang terjadi (lihat tabel 52 dan gambar 98). Apalagi *casing* DPT diberi pembungkus knalpot (*exhaust wrap*) sehingga efisiensi thermal mesin meningkat (>15%) jika dibandingkan dengan efisiensi thermal knalpot standar. Efisiensi thermal berhubungan dengan berapa banyak tenaga panas dari pembakaran yang dirubah menjadi tenaga untuk mendorong torak.

Efisiensi thermal ini besarnya sekitar 15%. Hal ini disebabkan adanya pendinginan silinder, baik oleh air ataupun udara, terbawa oli, dan terbawa gas buang (35%) pada waktu meninggalkan silinder. Gas bekas pembakaran ini masih cukup mempunyai panas (lihat gambar 93).

Meningkatnya efisiensi thermal mengakibatkan energi yang diberikan ke piston pada saat langkah kerja sangat besar, kemudian energi tersebut diteruskan ke batang torak (*connecting rod*) dan ke poros engkol (*crankshaft*), sehingga gaya tangensial menjadi lebih besar. Dengan gaya tangensial yang lebih besar, maka torsi dan daya efektif yang dihasilkan mesin akan semakin besar dan konsumsi bahan bakar akan menjadi lebih rendah (irit).

Dari hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) tentang pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* dapat mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar **4,52%**.

Hasil penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Warju & Marsudi (2015) yang hanya mampu mereduksi konsumsi bahan bakar sebesar **3,1%** dengan menggunakan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 100 gr *glasswool*. Penelitian terbaik tentang teknologi DPF terhadap konsumsi bahan bakar mesin dilakukan oleh Vasanthan (2013) yang mampu mereduksi konsumsi bahan bakar hingga mencapai 12% dengan menggunakan DPF berbahan dasar oksida tembaga (*copper oxide*). Namun, dalam penelitian ini justru terjadi penurunan efisiensi termal mesin sebesar 12-16%.

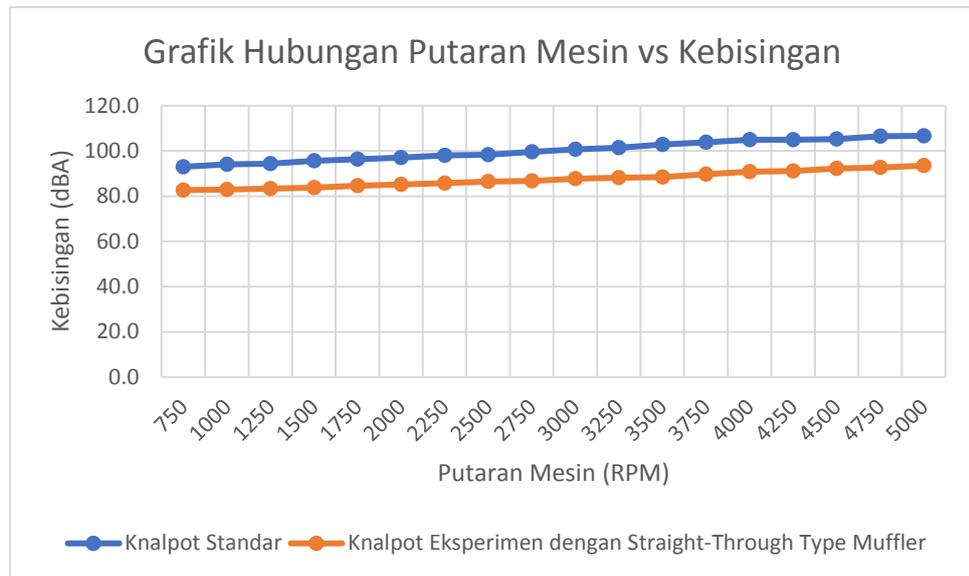
i. Kemampuan Teknologi *Straight-Through Type Muffler* Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *straight-through type muffler* yang dikombinasikan dengan 1000 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K di SMK Semen Gresik terhadap reduksi kebisingan kendaraan, dapat dilihat pada tabel 53 berikut ini.

Tabel 53. Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Penggunaan *Straight-Through Type Muffler* dan 1000 gr *Glasswool* di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 5K | | | Knalpot Eksperimen dengan <i>Straight-Through Type Muffler</i> dan 1000 gr <i>Glasswool</i> | | | Reduksi Kebisingan (%) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|-----------|---|-----------------|-----------|------------------------|
| | Tekanan Balik (kPa) | Temperatur (°C) | SPL (dBA) | Tekanan Balik (kPa) | Temperatur (°C) | SPL (dBA) | |
| 750 | 1,88 | 139,6 | 93,0 | 1,76 | 126,8 | 82,7 | 11,08 |
| 1000 | 2,82 | 167,2 | 94,1 | 2,09 | 145,6 | 82,9 | 11,90 |
| 1250 | 3,30 | 179,2 | 94,4 | 3,08 | 151,4 | 83,4 | 11,65 |
| 1500 | 4,88 | 194,4 | 95,6 | 4,22 | 155,4 | 83,8 | 12,34 |
| 1750 | 5,57 | 200,1 | 96,4 | 4,95 | 160,1 | 84,7 | 10,37 |
| 2000 | 7,78 | 202,8 | 97,0 | 6,82 | 175,4 | 85,2 | 8,76 |
| 2250 | 8,60 | 207,1 | 98,1 | 7,45 | 176,2 | 85,8 | 7,14 |
| 2500 | 10,62 | 210,0 | 98,4 | 9,10 | 177,1 | 86,4 | 13,92 |
| 2750 | 12,00 | 223,1 | 99,6 | 10,45 | 177,5 | 86,8 | 14,46 |
| 3000 | 13,31 | 225,0 | 100,8 | 11,62 | 177,8 | 87,8 | 14,88 |
| 3250 | 13,83 | 225,1 | 101,5 | 12,25 | 181,5 | 88,2 | 14,48 |
| 3500 | 14,31 | 234,0 | 102,8 | 12,96 | 190,1 | 88,5 | 14,59 |
| 3750 | 14,64 | 234,2 | 103,8 | 13,18 | 192,7 | 89,7 | 15,03 |
| 4000 | 15,73 | 242,1 | 104,9 | 14,82 | 193,1 | 90,8 | 14,49 |
| 4250 | 16,70 | 263,1 | 105,0 | 15,29 | 193,5 | 91,1 | 13,52 |
| 4500 | 17,84 | 276,0 | 105,2 | 15,98 | 195,3 | 92,2 | 12,36 |
| 4750 | 18,28 | 276,5 | 106,5 | 16,50 | 197,5 | 92,7 | 12,96 |
| 5000 | 20,36 | 282,0 | 106,7 | 19,96 | 199,6 | 93,5 | 12,37 |
| Rata-rata Reduksi Kebisingan | | | | | | | 12,57 |

Dari data pada tabel 53, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 101 berikut ini.



Gambar 101. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi *Straight-Through Type Muffler*

Secara umum, penggunaan teknologi *straight-through type muffler* yang dikombinasikan dengan 1000 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen akan menurunkan kebisingan yang dihasilkan oleh mesin Toyota Kijang tipe 5K secara cukup signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 53 dan gambar 101 di atas.

Pada putaran idle mesin (750 rpm), kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 93,0 dBA dengan tekanan balik sebesar 1,88 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan teknologi *straight-through type muffler* sebesar 82,7 dBA dengan tekanan balik sebesar 1,76 kPa, sehingga pada putaran ini terjadi reduksi kebisingan sebesar 11,08%.

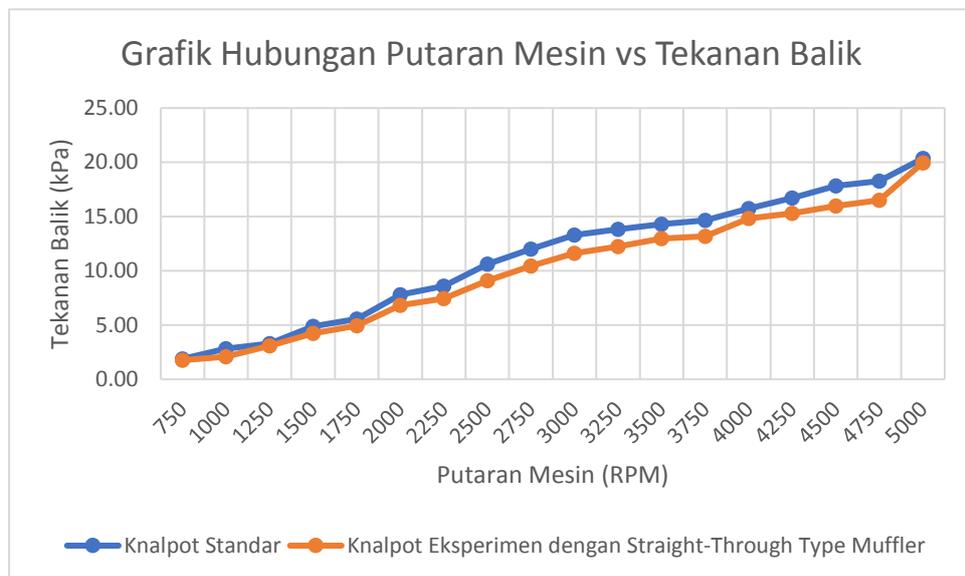
Pada putaran mesin 3000 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 100,8 dBA dengan tekanan balik sebesar 13,31 kPa.

Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan teknologi *straight-through type muffler* sebesar 87,8 dBA dengan tekanan balik sebesar 11,62 kPa, sehingga pada putaran ini terjadi reduksi kebisingan sebesar 14,88%.

Pada putaran mesin 5000 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 106,7 dBA dengan tekanan balik sebesar 20,36 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan teknologi *straight-through type muffler* sebesar 93,5 dBA dengan tekanan balik sebesar 18,65 kPa, sehingga pada putaran ini terjadi reduksi kebisingan sebesar 19,96%.

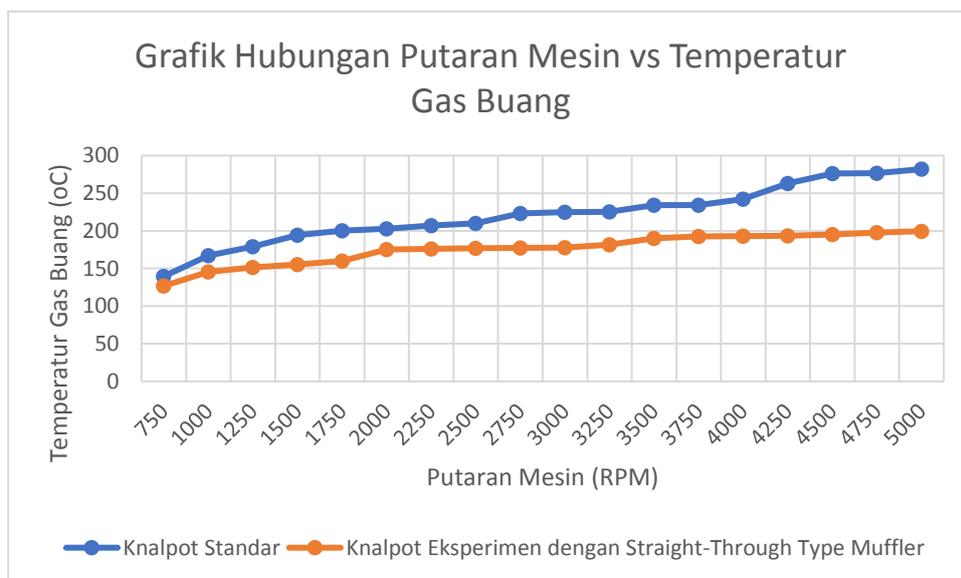
Reduksi kebisingan yang terjadi pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K disebabkan karena pemasangan teknologi *straight-through type muffler* dapat menurunkan tekanan dan temperatur gas buang di dalam knalpot karena gas buang masuk melalui pipa *perforated* yang ada di dalam *muffler* dan diredam tekanan dan temperaturnya oleh material *glasswool* didalamnya sehingga mampu mereduksi kebisingan yang dihasilkan. Namun karena desain *muffler*-nya yaitu laluan langsung (*straight-through*), maka ada sebagian gas buang yang langsung terbang ke ujung knalpot (*tail pipe*) sehingga tidak semua gas buang dapat diredam kebisingannya.

Penurunan tekanan balik (*back pressure*) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K dengan menggunakan teknologi *straight-through type muffler* dapat dilihat pada gambar 102 berikut ini.



Gambar 102. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (*Back Pressure*) Dengan Penggunaan Teknologi *Straight-Through Type Muffler*

Sedangkan penurunan temperatur gas buang pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K dengan menggunakan teknologi *straight-through type muffler* dapat dilihat pada gambar 103 berikut ini.



Gambar 103. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Gas Buang Dengan Penggunaan Teknologi *Straight-Through Type Muffler*

Dari gambar 102 dan 103 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *straight-through type muffler* yang dikombinasikan dengan 1000 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K cenderung menghasilkan tekanan balik dan temperatur gas buang yang lebih rendah jika dibandingkan dengan knalpot standar secara cukup signifikan. Akibatnya, kebisingan yang dihasilkan pada ujung knalpot eksperimen (*tail pipe*) cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan knalpot standar (lihat gambar 101).

Glasswool difungsikan sebagai peredam tekanan balik (*back pressure*) yang dihasilkan oleh mesin, sehingga semakin banyak *glasswool* yang dimasukkan ke dalam knalpot, maka tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh mesin akan semakin rendah. Dalam penelitian ini, berat *glasswool* yang dimasukkan ke dalam *muffler* adalah 1000 gr.

Untuk membandingkan penggunaan knalpot standar dan knalpot eksperimen yang dilengkapi dengan teknologi *straight-through type muffler* yang dikombinasikan dengan 1000 gr *glasswool* tersebut apakah memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2009 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru dapat dilihat pada tabel 54 berikut ini.

Tabel 54. Perbandingan Hasil Uji Kebisingan antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Teknologi *Straight-Through Type Muffler* dan 1000 gr *Glasswool*

| Kategori | Ambang Batas (Baku Mutu) Kebisingan (dBA) | Putaran Mesin | Kebisingan Knalpot Standar Toyota Kijang tipe 5K (dBA) | Keterangan | Kebisingan Knalpot Eksperimen Dengan Teknologi <i>Straight-Through Type Muffler</i> (dBA) | Keterangan |
|---|---|---------------|--|----------------------------|---|----------------------|
| Kendaraan dengan rata-rata putaran mesin $5.000 < S < 7500$ rpm | 93 | 3750 rpm | 103,8 | Tidak Lulus Uji Kebisingan | 89,7 | Lulus Uji Kebisingan |

Dari tabel 54 di atas dapat dilihat bahwa penggunaan knalpot standar mesin Toyota Kijang tipe 5K tidak akan lulus uji kebisingan karena menghasilkan kebisingan di atas ambang batas (baku mutu) kebisingan yang telah ditetapkan, yaitu 103,8 dBA padahal ambang batas (baku mutu) kebisingannya adalah 93 dBA. Dalam penelitian ini, knalpot standar mesin Toyota Kijang tipe 5K menggunakan *muffler* tipe aliran balik (*reverse flow muffler*). Sedangkan penggunaan knalpot eksperimen pada mesin Toyota Kijang tipe 5K dengan teknologi *straight-through type muffler* yang dikombinasikan dengan 1000 gr *glasswool* dapat memenuhi ambang batas kebisingan (lulus uji kebisingan) karena menghasilkan kebisingan di bawah ambang batas kebisingan, yaitu 89,7 dBA. Namun pada putaran tinggi, khususnya pada putaran 4.000-5.000 rpm, knalpot ini masih menghasilkan kebisingan yang tinggi, yaitu 90,8 -93,5 dBA (lihat tabel 53) karena ada

sebagian gas buang yang langsung terbuang ke atmosfer tanpa melewati peredaman di *muffler*.

Dari hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) tentang pengembangan teknologi *straight-through type muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa *straight-through type muffler* yang dikombinasikan dengan 1000 gr *glasswool* dapat mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar **12,57%** atau dapat menurunkan kebisingan antara **10,3-14,3 dBA** atau rata-rata **12,64 dBA**.

Hasil reduksi tingkat kebisingan ini lebih rendah jika dibandingkan dengan penelitian Warju, Muliatna, & Dewanto (2009) yang mampu mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar **15,21%** dengan menggunakan *eco-muffler* jenis *straight-through type muffler*. Namun, hasil penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Warju & Sanata (2010) yang justru menaikkan tingkat kebisingan knalpot sebesar **3,7%** dengan menggunakan *straight-through type muffler* yang dilengkapi dengan *catalytic converter* berbahan dasar tembaga berlapis mangan (Cu+Mn) dan penelitian Allam (2014) yang hanya mampu menurunkan kebisingan maksimal **6 dBA** dengan menggunakan *dissipative muffler*,

j. Kemampuan Teknologi *Oil Filter Cleaner* Terhadap Reduksi Limbah Oli

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa fungsi dari saringan oli (*oil filter*) yaitu untuk menyaring kotoran-kotoran yang terdapat di dalam oli sebelum oli tersebut melumasi bagian-bagian mesin (Toyota-Astra Motor, 1985: 33). Oleh karena itu, secara berkala setiap 5000 km (untuk mobil), saringan oli tersebut harus diganti bersamaan dengan penggantian oli mesin. Namun sayangnya, saringan oli bekas (*used oil filter*) tersebut dibuang begitu saja ke tempat sampah tanpa adanya perlakuan (*treatment*) terlebih dahulu, padahal masih mengandung limbah oli. Hal ini akan menyebabkan pencemaran tanah dan air. Oleh karena itu, untuk membersihkan saringan oli bekas tersebut diperlukan teknologi *oil filter cleaner* untuk mereduksi limbah oli dari saringan oli bekas tersebut.

Untuk mengetahui sejauh mana efektivitas penggunaan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik terhadap reduksi limbah oli yang dihasilkan dari saringan oli bekas (*used oil filter*), dapat dilihat pada tabel 55 berikut ini.

Tabel 55. Reduksi Limbah Oli Dengan Penggunaan Teknologi *Oil Filter Cleaner* Pada Temperatur Air 90°C di SMK Semen Gresik

| Waktu Pembersihan <i>Oil Filter</i> Bekas (menit) | Temperatur Air (°C) | Tekanan Air (kg/cm ²) | Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter) | Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter/jam) | Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter/hari) | Estimasi Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter/bulan) | Estimasi Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter/tahun) |
|---|---------------------|-----------------------------------|--|--|---|---|---|
| 5 | 90 | 0,7 | 0,20 | 9,60 | 76,8 | 1.536 | 28.032 |
| 10 | 90 | 0,7 | 0,50 | 12 | 96 | 1.920 | 35.040 |
| 15 | 90 | 0,7 | 0,50 | 8 | 64 | 1.280 | 23.360 |
| 20 | 90 | 0,7 | 0,50 | 6 | 48 | 960 | 17.520 |

Catatan: Waktu operasi *oil filter cleaner* 8 jam/hari, 5 hari kerja, 365 hari/tahun

Dari tabel 55 di atas dapat dilihat bahwa secara umum dengan menggunakan teknologi *oil filter cleaner* dapat mereduksi limbah oli dari saringan oli bekas (*used oil filter*) yang dihasilkan di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik secara signifikan.

Pertama-tama air panas dengan temperatur 90°C yang telah dipanaskan di bak air oleh *heater* dipompa dengan tekanan 0,7 kg/cm² menuju *nozzle*. Air panas bertekanan dari *nozzle* tersebut dialirkan menuju ke bagian dalam dari elemen saringan oli bekas. Kemudian air panas tersebut mengalir ke bagian samping dari saringan oli bekas setelah melewati elemen penyaring yang biasanya terbuat dari kertas atau plat-plat aluminium. Air panas tersebut akan menekan dan bercampur dengan oli bekas yang menempel di permukaan elemen saringan oli dan mengalir keluar dari bagian samping saringan oli bekas menuju ke bak penampungan oli. Di bak penampungan, limbah oli dan air tersebut akan terpisah akibat perbedaan berat jenis, dimana limbah oli akan berada di atas air karena berat

jenisnya lebih rendah daripada air. Untuk mengeluarkan limbah oli di bak penampungan, kita tinggal membuka kran penyalur untuk mengukur volume limbah oli yang dihasilkan dengan menggunakan gelas ukur.

Dari tabel 55 juga dapat dilihat bahwa waktu pembersihan terbaik saringan oli bekas (*used oil filter*) adalah 10 menit dengan temperatur air 90°C dan tekanan air 0,7 kg/cm². Di dalam *oil filter cleaner*, terdapat 4 (empat) buah *nozzle* yang dapat membersihkan 4 buah *oil filter* bekas sekaligus sekali operasi. Dalam sekali operasi, setiap *nozzle* akan menyemprotkan air panas (90°C) dengan tekanan 0,7 kg/cm² ke dalam *oil filter* bekas yang akan menghasilkan 500 ml (0,5 liter) limbah oli. Artinya dalam satu jam operasi dengan durasi pembersihan *oil filter* bekas selama 10 menit, akan dihasilkan limbah oli sebesar 0,5 liter x 6 x 4 *nozzle* = 12 liter/jam. Dengan waktu pembersihan saringan oli bekas selama 10 menit akan dihasilkan limbah oli sebesar 12 liter/jam, 96 liter/hari, estimasi 1.920 liter/bulan, dan estimasi 35.040 liter/tahun.

Dengan waktu pembersihan saringan oli bekas (*used oil filter*) selama 10 menit, akan didapatkan kondisi saringan oli bekas yang lebih bersih (lihat gambar 104) sehingga bisa meminimalisir pencemaran tanah dan air karena *oil filter* bekas biasanya dibuang begitu saja ke tempat sampah tanpa ada perlakuan (*treatment*) terlebih dahulu di sekolah.



(a)

(b)

Gambar 104. Kondisi Saringan Oli Mesin Bekas (*Used Oil Filter*): (a) Sebelum Pembersihan, (b) Setelah Pembersihan Dengan Menggunakan *Oil Filter Cleaner* Selama 10 Menit Dengan Temperatur Air 90°C dan Tekanan 0,7 kg/cm²

Dari hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) tentang pengembangan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa *oil filter cleaner* dapat mereduksi limbah oli rata-rata sebesar 12 liter/jam, 96 liter/hari, estimasi 1.920 liter/bulan, dan estimasi 35.040 liter/tahun dengan waktu pembersihan selama 10 menit dengan temperatur air 90°C dan tekanan air 0,7 kg/cm².

3. Revisi Produk Utama (*Main Product Revision*)

a. *Metallic Catalytic Converter*

Berdasarkan hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) disimpulkan bahwa pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuning (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi emisi CO, HC, tingkat kebisingan, dan konsumsi bahan bakar masing-masing sebesar 82,55%,

57,22%, 8,46%, dan 3,34%. Bahkan, penggunaan *metallic catalytic converter* ini mampu memenuhi ambang batas emisi gas buang sesuai dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama. Di samping itu, katalis kuningan tersebut juga mampu meningkatkan kadar emisi CO₂ rata-rata sebesar 15,04%. Namun, penggunaan plat kuningan (Cu+Zn) sebagai *metallic catalytic converter* dalam jangka panjang masih menyisakan persoalan. Diantaranya adalah: (1) kuningan merupakan logam paduan antara tembaga (60%) dan seng (40%) sehingga pada temperatur tinggi (392°C), katalis ini cenderung mudah lumer, (2) kandungan seng dalam katalis akan menyebabkan *metallic catalytic converter* ini tidak tahan pada suhu tinggi dalam jangka waktu yang lama walaupun seng (Zn) sendiri juga merupakan logam katalis, (3) rata-rata reduksi emisi HC dengan penggunaan katalis kuningan baru mencapai 57,22%, padahal secara teori katalis mampu mereduksi emisi HC sampai 95% (jika mencapai suhu 300°C), dan (4) rata-rata reduksi konsumsi bahan bakar baru mencapai 3,34%.

Oleh karena itu, pada tahap uji lapangan utama (*main field testing*) perlu dicarikan alternatif logam transisi yang lain sebagai katalis untuk menggantikan logam kuningan ini. Pilihan logam transisi yang dipilih adalah tembaga (Cu). Mengapa? Obert (1973: 381) menyatakan bahwa sejumlah bahan katalis yang diketahui sangat efektif untuk reaksi oksidasi adalah platinum, plutonium, palladium (logam-logam mulia); **tembaga**,

vanadium, besi, cobalt, nikel, mangan, chrom dan oksidanya. Sedangkan sejumlah bahan katalis reduksi yang dapat mengurangi emisi NO adalah besi, nikel, **tembaga**, campuran dan oksidanya (Obert, 1973: 381a). Selain itu, Dowden (1970) dalam bukunya "*Catalytic Hand Book*" juga menyatakan bahwa beberapa logam yang diketahui efektif sebagai katalis oksidasi dan reduksi dari yang besar sampai yang kecil adalah Pt, Pd, Ru > Mn, **Cu** > Ni > Fe > Cr > Zn dan oksida dari logam-logam tersebut.

"Tembaga adalah suatu logam berwarna kemerahan dengan berat jenis 8,65 gr/ml dan titik leburnya adalah 1083°C. Umumnya, tembaga dipilih karena sifatnya yang mudah dibentuk dan tahan korosi (Suherman, 1987:150)".

Metallic catalytic converter berbahan dasar plat tembaga yang dikembangkan dalam invensi ini dibuat dengan cara yang sama seperti pembuatan *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan. Desain dan bentuk *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga dengan tinggi lekukan 2 mm yang akan diterapkan di SMK Semen Gresik dalam tahap uji lapangan utama (*main field testing*) seperti nampak pada gambar 105 berikut ini.



Gambar 105. *Metallic Catalytic Converter* Berbahan Dasar Plat Tembaga Dengan Tinggi Lekukan 2 mm

b. *Diesel Particulate Filter (DPF)*

Berdasarkan hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) disimpulkan bahwa pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat mereduksi opasitas gas buang, tingkat kebisingan, dan konsumsi bahan bakar masing-masing sebesar 82,01%, 2,33%, dan 4,52%. Bahkan, penggunaan DPF ini mampu memenuhi ambang batas opasitas gas buang sesuai dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama. Namun, penggunaan *glasswool* sebesar 110 gr di DPF sebagai material penyerap opasitas gas buang (emisi partikulat) sekaligus penyerap tekanan gas buang hanya mampu menurunkan kebisingan kendaraan sebesar 2,33%.

Oleh karena itu, pada tahap uji lapangan utama (*main field testing*) perlu menambah jumlah *glasswool* yang akan dimasukkan ke dalam DPF, yaitu sebanyak 150 gr. Hal ini dilakukan mengingat dari penelitian sebelumnya, semakin banyak jumlah *glasswool* yang dimasukkan ke dalam DPF akan mereduksi opasitas gas buang dan kebisingan kendaraan secara signifikan. *Glasswool* sebanyak 150 gr merupakan *glasswool* maksimal yang bisa dimasukkan ke dalam DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dengan diameter cell 10 mm (lihat gambar 106).



Gambar 106. *Diesel Particulate Filter* (DPF) Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool*

c. *Eco-Muffler*

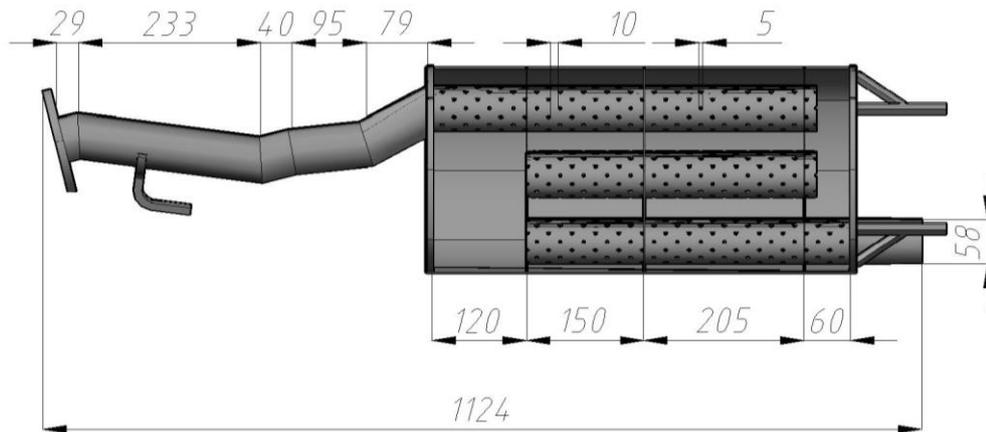
Berdasarkan hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) disimpulkan bahwa penggunaan knalpot eksperimen dengan teknologi *straight-through type muffler* yang dikombinasikan dengan 1000 gr *glasswool* pada mesin Toyota Kijang tipe 5K di SMK Semen Gresik terbukti mampu mereduksi kebisingan rata-rata sebesar 12,57%. Bahkan, penggunaan *muffler* tipe ini mampu memenuhi ambang batas kebisingan

(lulus uji kebisingan) berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2009 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru karena menghasilkan kebisingan di bawah ambang batas kebisingan yang telah ditetapkan, yaitu 89,7 dBA. Namun pada putaran tinggi, khususnya pada putaran 4.000-5.000 rpm, knalpot ini masih menghasilkan kebisingan yang besar, yaitu 90,8-93,5 dBA karena ada sebagian gas buang yang langsung terbang ke atmosfer tanpa melewati peredaman di *muffler*. Sedangkan kategori tingkat kebisingan dengan hasil pengukuran kebisingan sebesar 90,8-93,5 dBA yaitu amat sangat bising dengan waktu kontak yang diijinkan < 5 jam (lihat tabel 4 di kajian pustaka).

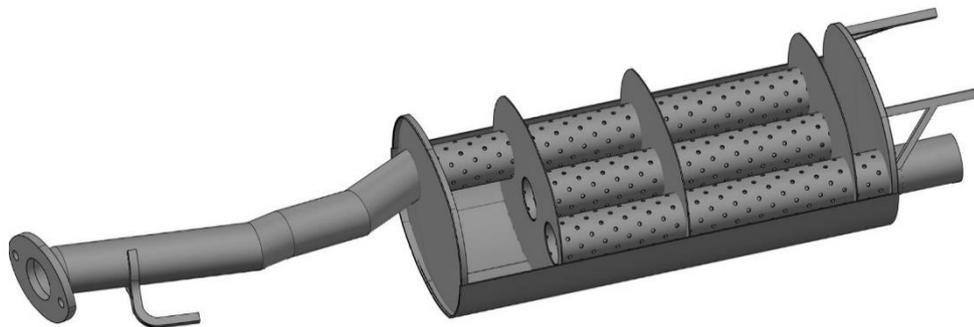
Oleh karena itu, pada tahap uji lapangan utama (*main field testing*) perlu dikembangkan jenis *eco-muffler* yang lain yang dapat mereduksi kebisingan kendaraan secara signifikan, baik pada putaran rendah, putaran menengah, maupun putaran tinggi. Alternatif tipe *eco-muffler* yang dipilih adalah *muffler* tipe tabung tiga laluan (*three pass tube type muffler*). Mengapa? *Muffler* jenis ini secara teori mampu mereduksi kebisingan secara signifikan diberbagai putaran mesin.

Untuk pipa *three pass tube type muffler*, pipa tersebut dilubangi dengan ukuran 5 mm tiap lubangnya dengan jarak antar lubang 10 mm. Lubang-lubang tersebut berfungsi sebagai tempat laluan gas buang agar gas buang dapat masuk ke ruang-ruang *muffler* dan tekanan serta temperatur gas buang dapat diturunkan untuk mereduksi kebisingan (*noise level*). Jumlah lubang disesuaikan dengan volume masing-masing ruang di *muffler*. Desain

dan potongan penampang *three pass tube type muffler* dapat dilihat pada gambar 107 dan gambar 108 berikut ini.



Gambar 107. Desain *Three Pass Tube Type Muffler*



Gambar 108. Potongan Penampang *Three Pass Tube Type Muffler*

d. *Oil Filter Cleaner*

Berdasarkan hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) disimpulkan bahwa pengembangan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik dapat mereduksi limbah oli rata-rata sebesar 12 liter/jam, 96 liter/hari, estimasi 1.920 liter/bulan, dan estimasi 35.040 liter/tahun dengan

waktu pembersihan selama 10 menit dengan temperatur air 90°C dan tekanan air 0,7 kg/cm². Namun, penggunaan *heater* dengan daya 500 Watt untuk menghasilkan air dengan temperatur 90°C sebagai media pembersihan *oil filter* bekas akan berdampak pada meningkatnya konsumsi listrik sehingga akan menaikkan biaya operasional sekolah.

Oleh karena itu, pada tahap uji lapangan utama (*main field testing*) perlu menurunkan temperatur air pada *oil filter cleaner* menjadi 80°C dengan cara mengatur temperatur di *electronic temperature controller* (ECT). Harapannya, konsumsi listrik akan menurun sehingga akan menekan biaya operasional sekolah, namun tetap efektif membersihkan saringan oli mesin bekas (*used oil filter*).



Gambar 109. Mengatur *Electronic Temperature Controller* Pada Temperatur 80°C

4. Analisis dan Pembahasan Hasil Uji Lapangan Utama (*Main Field Testing*)

a. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Terhadap Reduksi Emisi Karbon Monoksida (CO)

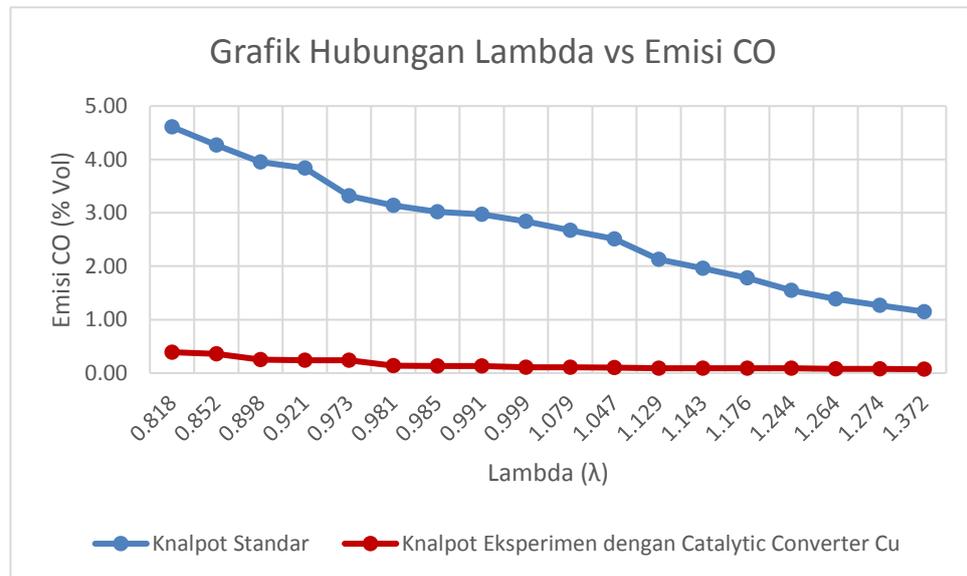
Untuk mengetahui seberapa besar persentase reduksi emisi CO terhadap setiap perubahan lambda, putaran mesin, dan temperatur gas buang

pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu), dapat dilihat pada tabel 56 berikut ini.

Tabel 56. Reduksi Emisi CO Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga (Cu) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K | | | Knalpot Eksperimen dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) | | | Reduksi Emisi CO (%) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|------------|---|----------------------------|------------|----------------------|
| | Lambda (λ) | Temperatur ($^{\circ}$ C) | CO (% Vol) | Lambda (λ) | Temperatur ($^{\circ}$ C) | CO (% Vol) | |
| 750 | 0,606 | 107 | 4,61 | 0,818 | 150 | 0,39 | 91,54 |
| 1000 | 0,775 | 119 | 4,27 | 0,852 | 159 | 0,36 | 91,57 |
| 1250 | 0,805 | 137 | 3,95 | 0,898 | 168 | 0,25 | 93,67 |
| 1500 | 0,872 | 155 | 3,84 | 0,921 | 179 | 0,24 | 93,75 |
| 1750 | 0,878 | 171 | 3,32 | 0,973 | 222 | 0,24 | 92,77 |
| 2000 | 0,890 | 198 | 3,14 | 0,981 | 234 | 0,14 | 95,54 |
| 2250 | 0,918 | 203 | 3,02 | 0,985 | 266 | 0,13 | 95,70 |
| 2500 | 0,928 | 218 | 2,97 | 0,991 | 279 | 0,13 | 95,62 |
| 2750 | 0,976 | 245 | 2,84 | 0,999 | 282 | 0,11 | 96,13 |
| 3000 | 0,981 | 257 | 2,67 | 1,079 | 283 | 0,11 | 95,88 |
| 3250 | 1,100 | 285 | 2,51 | 1,047 | 305 | 0,10 | 96,02 |
| 3500 | 1,372 | 297 | 2,13 | 1,129 | 331 | 0,09 | 95,77 |
| 3750 | 1,404 | 304 | 1,96 | 1,143 | 347 | 0,09 | 95,41 |
| 4000 | 1,410 | 309 | 1,78 | 1,176 | 352 | 0,09 | 94,94 |
| 4250 | 1,412 | 311 | 1,55 | 1,244 | 374 | 0,09 | 94,19 |
| 4500 | 1,424 | 317 | 1,39 | 1,264 | 395 | 0,08 | 94,24 |
| 4750 | 1,429 | 346 | 1,27 | 1,274 | 404 | 0,08 | 93,70 |
| 5000 | 1,449 | 354 | 1,15 | 1,372 | 423 | 0,07 | 93,91 |
| Rata-rata Reduksi Emisi CO | | | | | | | 94,46 |

Dari data pada tabel 56, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 110 berikut ini.



Gambar 110. Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi CO Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga (Cu)

Secara umum, penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi kadar emisi CO yang dihasilkan oleh kendaraan secara signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 51 dan gambar 109 di atas. Berdasarkan hasil eksperimen, trend grafik emisi CO yang dihasilkan sesuai dengan trend grafik emisi CO di kajian pustaka (lihat gambar 5).

Pada putaran rendah (\pm 750-2000 rpm), proses pembakaran yang terjadi pada ruang bakar cenderung kurang sempurna. Hal ini disebabkan karena campuran udara dan bahan bakar cenderung kaya (*rich mixture*) sehingga kekurangan oksigen (O_2). Oleh sebab itu, lambda (λ) yang dihasilkan cenderung kecil, besarnya di bawah angka 1. Lambda (λ) sendiri merupakan perbandingan antara kebutuhan udara secara aktual

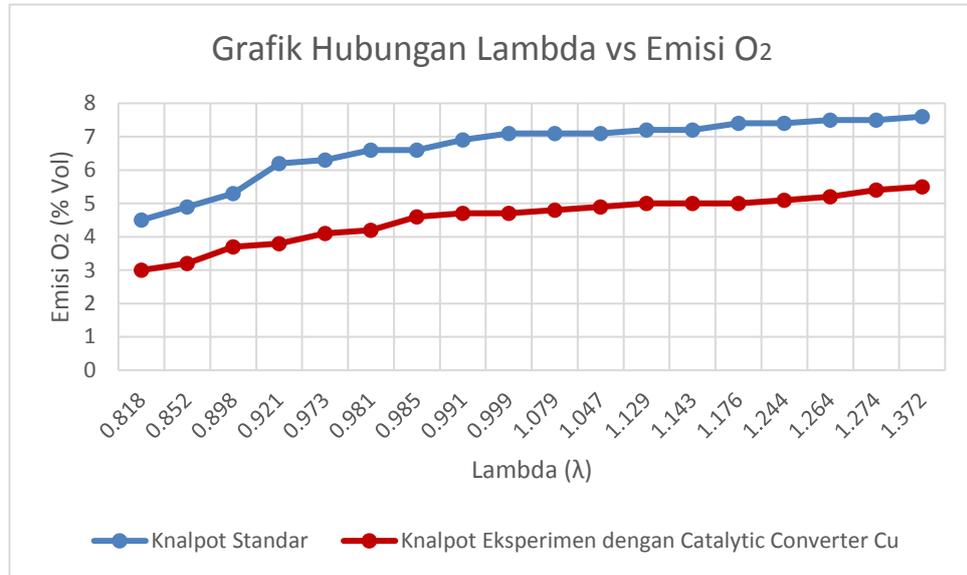
dibandingkan dengan kebutuhan udara secara teori (14,7:1). Nilai lambda yang kecil akan mengakibatkan kadar emisi CO yang dihasilkan oleh mesin cenderung tinggi (lihat gambar 110). Pada putaran menengah ($\pm 2250-3250$ rpm), campuran udara dan bahan bakar cenderung naik sehingga nilai lambda (λ) mendekati campuran *stoichiometric* ($\lambda=1$). Hal ini akan mengakibatkan kadar emisi CO yang dihasilkan oleh mesin cenderung turun (lihat gambar 110). Sedangkan pada putaran tinggi ($\pm 3500-5.000$ rpm), campuran udara dan bahan bakar cenderung semakin miskin (*lean mixture*), sehingga pembakaran akan terjadi dengan kondisi kelebihan oksigen (O_2). Hal ini ditandai dengan tingginya nilai lambda (λ) yang besarnya mencapai angka 1,4. Dampaknya, pembakaran menjadi kurang sempurna namun kelebihan oksigen (O_2) yang mengakibatkan kadar emisi CO yang dihasilkan oleh mesin semakin menurun (lihat gambar 110). Semakin menurunnya kadar emisi CO pada putaran tinggi tersebut disebabkan karena semakin banyaknya konsentrasi oksigen (O_2) dalam campuran udara dan bahan bakar, sehingga mampu mengoksidasi emisi CO menjadi CO_2 .

Untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi oksigen (O_2) dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K jika dibandingkan dengan knalpot standar, dapat dilihat pada tabel 57 berikut ini.

Tabel 57. Reduksi Emisi O₂ Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga (Cu) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K | | | Knalpot Eksperimen dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) | | | Reduksi Emisi O ₂ (%) |
|--|---------------------------------------|-----------------|------------------------|---|-----------------|------------------------|----------------------------------|
| | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | O ₂ (% Vol) | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | O ₂ (% Vol) | |
| 750 | 0,606 | 107 | 4,5 | 0,818 | 150 | 3,0 | 33,33 |
| 1000 | 0,775 | 119 | 4,9 | 0,852 | 159 | 3,2 | 34,69 |
| 1250 | 0,805 | 137 | 5,3 | 0,898 | 168 | 3,7 | 30,19 |
| 1500 | 0,872 | 155 | 6,2 | 0,921 | 179 | 3,8 | 38,71 |
| 1750 | 0,878 | 171 | 6,3 | 0,973 | 222 | 4,1 | 34,92 |
| 2000 | 0,890 | 198 | 6,6 | 0,981 | 234 | 4,2 | 36,36 |
| 2250 | 0,918 | 203 | 6,6 | 0,985 | 266 | 4,6 | 30,30 |
| 2500 | 0,928 | 218 | 6,9 | 0,991 | 279 | 4,7 | 31,88 |
| 2750 | 0,976 | 245 | 7,1 | 0,999 | 282 | 4,7 | 33,80 |
| 3000 | 0,981 | 257 | 7,1 | 1,079 | 283 | 4,8 | 32,39 |
| 3250 | 1,100 | 285 | 7,1 | 1,047 | 305 | 4,9 | 30,99 |
| 3500 | 1,372 | 297 | 7,2 | 1,129 | 331 | 5,0 | 30,56 |
| 3750 | 1,404 | 304 | 7,2 | 1,143 | 347 | 5,0 | 30,56 |
| 4000 | 1,410 | 309 | 7,4 | 1,176 | 352 | 5,0 | 32,43 |
| 4250 | 1,412 | 311 | 7,4 | 1,244 | 374 | 5,1 | 31,08 |
| 4500 | 1,424 | 317 | 7,5 | 1,264 | 395 | 5,2 | 30,67 |
| 4750 | 1,429 | 346 | 7,5 | 1,274 | 404 | 5,4 | 28,00 |
| 5000 | 1,449 | 354 | 7,6 | 1,372 | 423 | 5,5 | 27,63 |
| Rata-rata Reduksi Emisi O₂ | | | | | | | 32,14 |

Dari data pada tabel 57, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 111 berikut ini.



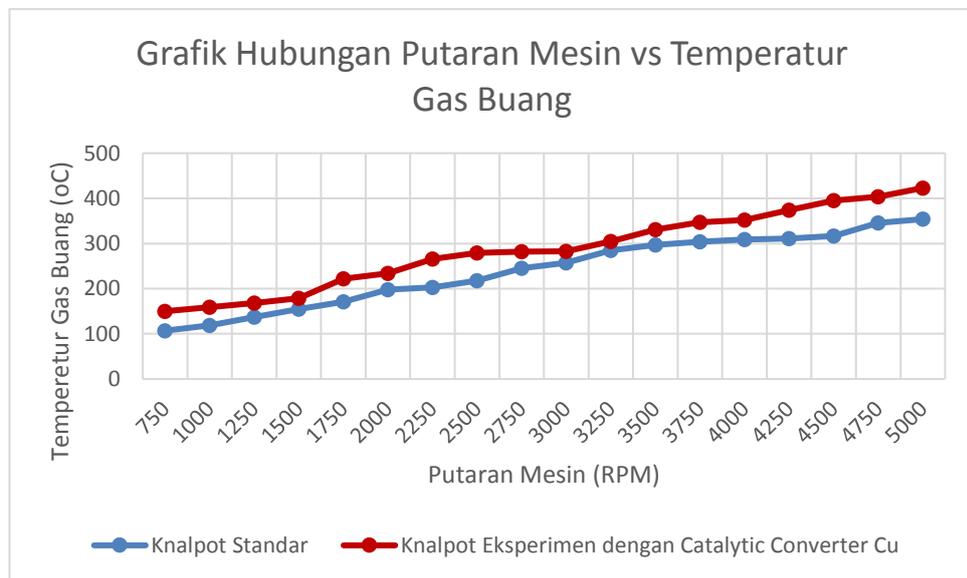
Gambar 111. Hubungan Lambda Terhadap Emisi O₂ Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga (Cu)

Dari gambar 111 dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran mesin akan menyebabkan semakin besarnya konsentrasi O₂ yang dihasilkan oleh emisi gas buang kendaraan. Berdasarkan hasil eksperimen, trend grafik emisi O₂ yang dihasilkan sesuai dengan trend grafik emisi O₂ di kajian pustaka (lihat gambar 8). Dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga, konsentrasi oksigen yang terbuang bersama gas buang tersebut akan digunakan untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂. Akibatnya, konsentrasi O₂ pada gas buang knalpot eksperimen akan jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan knalpot standar.

Selain itu, reduksi emisi CO secara signifikan dengan penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K juga disebabkan oleh temperatur gas buang yang semakin tinggi sehingga mencapai suhu kerja katalis (>

300°C) untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂. Peningkatan temperatur gas buang dengan penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat dilihat pada tabel 57 dan gambar 112.

Dari data pada tabel 57, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 112 berikut ini.



Gambar 112. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Gas Buang Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga (Cu)

Dari gambar 112 dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran mesin akan menyebabkan semakin tingginya temperatur gas buang. Dengan penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat meningkatkan temperatur gas buang sehingga akan mempercepat suhu kerja katalis untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂.

Pada putaran mesin 750-2000 rpm dan pada lambda kurang dari 1 ($\lambda < 1$), mengindikasikan campuran yang kelebihan bahan bakar. Sehingga pada proses pembakaran akan kekurangan oksigen dan pembakaran akan menghasilkan emisi O_2 yang sedikit. Hal ini dapat dilihat pada tabel 57 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,606 – 0,890 dan temperatur gas buang $107^\circ C - 198^\circ C$, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 4,61% Vol – 3,14% Vol dan dihasilkan emisi O_2 mulai dari 4,5% Vol – 6,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga dengan lambda 0,818 – 0,981 dan temperatur gas buang $150^\circ C - 234^\circ C$, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 0,39% Vol – 0,14% Vol dan dihasilkan emisi O_2 mulai dari 3,0% Vol – 4,2% Vol. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih sedikit menghasilkan emisi CO dan O_2 dengan cara katalis tembaga memanfaatkan konsentrasi O_2 yang terbuang bersama gas buang untuk proses oksidasi emisi CO menjadi CO_2 . Sedangkan kenaikan temperatur pada knalpot eksperimen akan mempercepat laju reaksi katalis untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO_2 .

Pada putaran mesin 2250-3250 rpm dan pada lambda sama dengan satu ($\lambda = 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang *stoichiometri*, artinya kebutuhan udara dan bahan bakar yang seimbang (ideal), sehingga setiap molekul udara (O_2) dapat terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar bensin (C_8H_{18}). Dengan demikian, pada $\lambda = 1$ akan menghasilkan emisi CO yang semakin sedikit. Hal ini dapat dilihat pada

tabel 57 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,918 – 1,100 dan temperatur gas buang 203°C – 285°C, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 3,02% Vol – 2,51% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 6,6% Vol – 7,1% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga dengan lambda 0,985 – 1,047 dan temperatur gas buang 266°C – 305°C, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 0,13% Vol – 0,10% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 4,6% Vol – 4,9% Vol. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih sedikit menghasilkan emisi CO dan O₂ dengan cara katalis tembaga memanfaatkan konsentrasi O₂ yang terbang bersama gas buang untuk proses oksidasi emisi CO menjadi CO₂. Kenaikan temperatur pada knalpot eksperimen hingga mencapai 305°C akan mempercepat laju reaksi katalis untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂, dimana pada suhu ini merupakan suhu kerja dari katalis.

Pada putaran mesin 3500-5.000 rpm dan pada lambda lebih dari satu ($\lambda > 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang kelebihan udara, artinya suplai udara terlalu banyak, sehingga setiap molekul udara (O₂) terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar bensin (C₈H₁₈) bahkan lebih. Hal ini dapat dilihat pada tabel 57 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 1,372 – 1,449 dan temperatur gas buang 297°C-354°C, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 2,13% Vol – 1,15% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 7,2% Vol – 7,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga dengan lambda

1,129 – 1,372 dan temperatur gas buang 331°C – 423°C, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 0,09% Vol – 0,07% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 5,0% Vol – 5,5% Vol. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih sedikit menghasilkan emisi CO dan O₂ dengan cara katalis tembaga memanfaatkan konsentrasi O₂ yang terbuang bersama gas buang untuk proses oksidasi emisi CO menjadi CO₂. Kenaikan temperatur pada knalpot eksperimen hingga mencapai 423°C akan mempercepat laju reaksi katalis untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂, dimana pada suhu ini merupakan suhu kerja optimal dari katalis. Nilai lambda yang semakin besar menunjukkan campuran miskin atau kelebihan udara sehingga proses oksidasi emisi CO menjadi CO₂ akan lebih cepat tercapai pada putaran tinggi.

Dari gambar 110 dapat dilihat bahwa terjadi reduksi konsentrasi emisi CO secara signifikan di setiap putaran mesin. Dengan aktif metal katalis berbentuk plat yang didesain menjadi sarang lebah logam (*metallic honeycomb*), didapatkan luas permukaan efektif katalis yang optimal yang akhirnya mampu mereduksi konsentrasi emisi CO secara signifikan di setiap putaran mesin. Luas permukaan katalis tembaga yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat tembaga ukuran 12 cm x 120 cm x 12 lembar x 2 sisi = $34.560 \text{ cm}^2 = 245,6 \text{ m}^2$.

Hal ini sesuai dengan pendapat Berzelius (1835) bahwa reaksi katalitik pada katalis padat terjadi pada permukaan katalis, dan semakin luas

permukaan katalis semakin cepat laju reaksinya, sehingga konsentrasi produk yang dihasilkan semakin rendah. Tingginya reduksi kadar emisi CO yang dihasilkan mesin pada knalpot eksperimen, selain disebabkan oleh semakin luasnya permukaan efektif katalis yang bersinggungan langsung dengan gas buang, juga dipengaruhi oleh faktor temperatur. Temperatur yang lebih rendah (mencapai 282°C) akan menyebabkan turunnya energi aktivasi sehingga proses oksidasi dari emisi $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$ menjadi lebih cepat tercapai (lihat gambar 85). Akibatnya, terjadi reduksi konsentrasi emisi CO yang signifikan di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan knalpot standar.

Sebenarnya emisi CO tersebut dapat berubah menjadi CO_2 dengan cara bereaksi dengan O_2 atau NO_x tetapi hal ini akan membutuhkan temperatur yang lebih tinggi, yaitu 700°C. Dalam penelitian ini, temperatur optimal katalis dicapai pada temperatur 282°C. Di bawah dan di atas temperatur tersebut, katalis tidak berfungsi optimal.

Untuk membandingkan knalpot standar dengan knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K yang telah dilengkapi dengan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) tersebut apakah memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama dapat dilihat pada tabel 58 berikut ini.

Tabel 58. Perbandingan Hasil Uji Emisi CO antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Berteknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga

| Kategori | Tahun Pembuatan | CO (%) | Metode Uji | Emisi CO Knalpot Standar Toyota Kijang tipe 7K (%) | Keterangan | Emisi CO Knalpot Eksperimen Dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga (Cu) (%) | Keterangan |
|---|-----------------|--------|------------|--|-----------------------|---|-----------------|
| Mobil berpenge rak motor bakar cetus api (bensin) | < 2007 | 4,5 | Idle | 4,61 | Tidak Lulus Uji Emisi | 0,39 | Lulus Uji Emisi |

Dari tabel 58 dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat mereduksi kadar emisi CO secara signifikan dibandingkan dengan knalpot standar. Bahkan penggunaan katalis tembaga (Cu) dapat mereduksi kadar emisi CO di bawah ambang batas emisi yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Dapat dikatakan bahwa penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat mendukung program langit biru (*blue sky program*) dan program sekolah adiwiyata (*green school program*) yang telah dicanangkan oleh pemerintah karena telah terbukti mampu mereduksi konsentrasi emisi CO secara signifikan di sekolah.

Dari hasil uji lapangan utama (*main field testing*) dapat disimpulkan bahwa pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi kadar emisi CO rata-rata sebesar **94,46%**. *Metallic catalytic converter* plat tembaga efektif sebagai katalisator pada reaksi oksidasi emisi CO ($\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$) pada lambda (λ) 0,999 dengan temperatur 282°C dengan reduksi emisi CO tertinggi sebesar 96,13%.

Hasil penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Amin, Chavda & Gadhia (2013) yang hanya mampu mereduksi emisi CO rata-rata sebesar **30%** dengan menggunakan *catalytic converter* berbahan dasar *wiremesh* yang dilapisi dengan tembaga (Cu), penelitian Warju & Muliatna (2015) yang hanya mampu mereduksi emisi CO rata-rata sebesar **14,23%-46,30%** dengan menggunakan *metallic catalytic converter* tembaga (Cu), dan penelitian Nisa et al. (2016) yang hanya mampu mereduksi emisi CO rata-rata sebesar **46,61%** dengan menggunakan *catalytic converter* pipa tembaga (Cu).

Sekedar diketahui bahwa pengujian emisi CO pada kendaraan bermotor tipe baru sudah menggunakan *Euro II Emission Standard* yang berpedoman pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 04 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru dengan standar emisi CO sebesar 2,2-5,0 gram/km dengan metode uji ECE R 83 – 04.

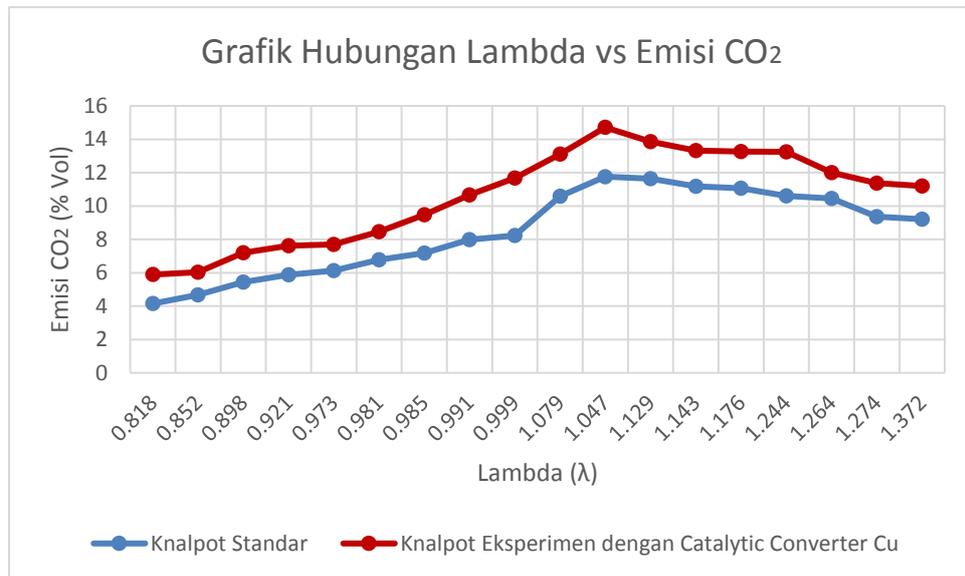
b. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Terhadap Peningkatan Emisi Karbondioksida (CO₂)

Untuk mengetahui seberapa besar persentase peningkatan emisi CO₂ dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel 59 berikut ini.

Tabel 59. Peningkatan Emisi CO₂ Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga (Cu) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K | | | Knalpot Eksperimen dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) | | | Peningkatan Emisi CO ₂ (%) |
|---|---------------------------------------|-----------------|-------------------------|---|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|
| | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | CO ₂ (% Vol) | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | CO ₂ (% Vol) | |
| 750 | 0,606 | 107 | 4,15 | 0,818 | 150 | 5,89 | 29,54 |
| 1000 | 0,775 | 119 | 4,68 | 0,852 | 159 | 6,04 | 22,52 |
| 1250 | 0,805 | 137 | 5,43 | 0,898 | 168 | 7,19 | 24,48 |
| 1500 | 0,872 | 155 | 5,87 | 0,921 | 179 | 7,61 | 22,86 |
| 1750 | 0,878 | 171 | 6,12 | 0,973 | 222 | 7,69 | 20,42 |
| 2000 | 0,890 | 198 | 6,78 | 0,981 | 234 | 8,46 | 19,86 |
| 2250 | 0,918 | 203 | 7,18 | 0,985 | 266 | 9,47 | 24,18 |
| 2500 | 0,928 | 218 | 7,99 | 0,991 | 279 | 10,66 | 25,05 |
| 2750 | 0,976 | 245 | 8,23 | 0,999 | 282 | 11,67 | 29,48 |
| 3000 | 0,981 | 257 | 10,58 | 1,079 | 283 | 13,11 | 19,30 |
| 3250 | 1,100 | 285 | 11,76 | 1,047 | 305 | 14,71 | 20,05 |
| 3500 | 1,372 | 297 | 11,63 | 1,129 | 331 | 13,86 | 16,09 |
| 3750 | 1,404 | 304 | 11,18 | 1,143 | 347 | 13,32 | 16,07 |
| 4000 | 1,410 | 309 | 11,07 | 1,176 | 352 | 13,26 | 16,52 |
| 4250 | 1,412 | 311 | 10,60 | 1,244 | 374 | 13,25 | 20,00 |
| 4500 | 1,424 | 317 | 10,45 | 1,264 | 395 | 12,01 | 12,99 |
| 4750 | 1,429 | 346 | 9,36 | 1,274 | 404 | 11,37 | 17,68 |
| 5000 | 1,449 | 354 | 9,21 | 1,372 | 423 | 11,19 | 17,69 |
| Rata-rata Peningkatan Emisi CO₂ | | | | | | | 20,82 |

Dari data pada tabel 59, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 113 berikut ini.



Gambar 113. Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi CO₂ Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga (Cu)

Secara umum, penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen dapat meningkatkan kadar emisi karbondioksida (CO₂) yang dihasilkan oleh mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik. Hal ini dapat dilihat pada tabel 59 dan gambar 113 di atas. Berdasarkan hasil eksperimen, trend grafik emisi CO₂ yang dihasilkan sesuai dengan trend grafik emisi CO₂ di kajian pustaka (lihat gambar 8).

Peningkatan kadar emisi CO₂ tergantung pada nilai lambda, temperatur gas buang, dan putaran mesin. Lambda dapat mempengaruhi kadar emisi CO₂ karena nilai lambda menunjukkan kondisi campuran udara-bahan bakar yang sesungguhnya. Sedangkan temperatur menunjukkan suhu kerja katalis untuk dapat melakukan proses oksidasi emisi gas buang.

Pada putaran mesin 750-2000 rpm dan pada lambda kurang dari 1 ($\lambda < 1$), mengindikasikan campuran yang kelebihan bahan bakar. Sehingga pada proses pembakaran akan kekurangan oksigen dan pembakaran akan menghasilkan emisi CO₂ yang sedikit. Hal ini dapat dilihat pada tabel 59 dan gambar 113 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,606 – 0,890 dan temperatur gas buang 107°C – 198°C, dihasilkan kadar emisi CO₂ mulai dari 4,15% Vol – 6,78% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 4,5% Vol – 6,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga dengan lambda 0,818 – 0,981 dan temperatur gas buang 150°C – 234°C, dihasilkan kadar emisi CO₂ mulai dari 5,89% Vol – 8,46% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 3,0% Vol – 4,2% Vol. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen jauh lebih banyak menghasilkan emisi CO₂ karena adanya katalis tembaga didalamnya sebagai akibat oksidasi emisi CO menjadi CO₂ dengan oksigen (O₂) yang terbuang bersama gas buang. Namun, kadar emisi CO₂ yang dihasilkan masih rendah karena katalis masih bekerja pada campuran yang kaya ($\lambda < 1$) dan temperatur kerja katalis belum tercapai (hanya mencapai suhu 234°C).

Pada putaran mesin 2250-3250 rpm dan pada lambda sama dengan satu ($\lambda = 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang *stoichiometri*, artinya kebutuhan udara dan bahan bakar yang seimbang (ideal), sehingga setiap molekul udara (O₂) dapat terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar bensin (C₈H₁₈). Dengan demikian, pada $\lambda = 1$ akan

menghasilkan emisi CO₂ yang semakin banyak sebagai akibat pembakaran yang semakin sempurna. Hal ini dapat dilihat pada tabel 59 dan gambar 113 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,918 – 1,100 dan temperatur gas buang 203°C – 285°C, dihasilkan kadar emisi CO₂ mulai dari 7,18% Vol – 11,76% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 6,6% Vol – 7,1% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga dengan lambda 0,985 – 1,047 dan temperatur gas buang 266°C – 305°C, dihasilkan kadar emisi CO₂ mulai dari 9,47% Vol – 14,71% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 4,6% Vol – 4,9% Vol. Pada putaran mesin 3250 rpm, baik knalpot standar maupun knalpot eksperimen yang dilengkapi dengan katalis plat tembaga, dihasilkan peningkatan emisi CO₂ tertinggi karena lambda pada putaran tersebut telah mencapai angka 1. Artinya, campuran udara dan bahan bakar menjadi ideal (*stoichiometric*) sehingga pembakaran akan berlangsung sempurna yang akan menghasilkan kadar emisi CO terendah dan CO₂ tertinggi. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih banyak menghasilkan emisi CO₂ karena adanya katalis tembaga didalamnya dan telah mencapai suhu optimal katalis (305°C) untuk proses reaksi oksidasi emisi CO menjadi CO₂.

Pada putaran mesin 3500-5.000 rpm dan pada lambda lebih dari satu ($\lambda > 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang kelebihan udara, artinya suplai udara terlalu banyak, sehingga setiap molekul udara (O₂) terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar (C₈H₁₈) bahkan lebih.

Hal ini dapat dilihat pada tabel 59 dan gambar 113 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 1,372 – 1,449 dan temperatur gas buang 297°C-354°C, dihasilkan kadar emisi CO₂ mulai dari 11,63% Vol – 9,21% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 7,2% Vol – 7,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga dengan lambda 1,129 – 1,372 dan temperatur gas buang 331°C – 423°C, dihasilkan kadar emisi CO₂ mulai dari 13,86% Vol – 11,19% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 5,0% Vol – 5,5% Vol. Pada putaran tinggi, emisi CO₂ yang dihasilkan mesin cenderung menurun sebagai akibat tidak sempurnanya proses pembakaran karena campuran udara dan bahan bakar menjadi miskin (*lean mixture*). Hal ini dapat dilihat dari nilai $\lambda > 1$. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih banyak menghasilkan emisi CO₂ karena adanya katalis tembaga didalamnya dan temperatur gas buang telah mencapai suhu 423°C, dimana suhu ini di atas suhu kerja optimal katalis tembaga (305°C).

Pada temperatur 305°C, mengindikasikan suhu optimal katalis untuk mengaktivasi gas buang yang mengalir di permukaan katalis. Sehingga kadar emisi CO₂ yang dihasilkan dapat meningkat secara optimal karena tercapainya suhu aktivasi $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$, dimana suhu normal terbentuknya emisi CO₂ pada fase tanpa katalis sekitar 700°C. Dapat dikatakan bahwa dengan katalis akan menurunkan energi aktivasi sehingga kecepatan reaksi oksidasi emisi CO menjadi CO₂ menjadi lebih cepat dan meningkat.

Dari gambar 113 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan kadar emisi CO₂ secara cukup signifikan di setiap putaran mesin. Dengan aktif metal katalis berbentuk plat (*metallic catalytic converter*) didapatkan luas permukaan efektif katalis yang paling optimal yang akhirnya mampu mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂ sehingga meningkatkan emisi CO₂ secara cukup signifikan di setiap putaran mesin.

Hal ini sesuai dengan pendapat Berzelius (1835) bahwa reaksi katalitik pada katalis padat terjadi pada permukaan katalis, dan semakin luas permukaan katalis semakin cepat laju reaksinya, sehingga konsentrasi produk CO₂ yang dihasilkan semakin tinggi. Tingginya peningkatan konsentrasi emisi CO₂ yang dihasilkan mesin, selain disebabkan oleh semakin luasnya permukaan efektif katalis yang bersinggungan langsung dengan gas buang, juga dipengaruhi oleh faktor temperatur. Temperatur yang lebih rendah (mencapai 305°C) akan menyebabkan turunnya energi aktivasi sehingga proses oksidasi dari $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$ menjadi lebih cepat tercapai (lihat gambar 85).

Sebenarnya emisi CO dapat berubah menjadi CO₂ dengan cara bereaksi dengan O₂ atau NO_x pada fase tanpa katalis tetapi hal ini membutuhkan temperatur yang tinggi, yaitu 700°C. Namun dalam penelitian ini, temperatur optimal katalis tembaga dapat dicapai pada temperatur yang lebih rendah, yaitu 305°C. Di bawah temperatur tersebut, katalis tidak berfungsi optimal dan di atas temperatur itu kemampuan katalis mulai menurun.

Dari hasil uji lapangan utama (*main field testing*) dapat disimpulkan bahwa pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat meningkatkan emisi CO₂ rata-rata sebesar **20,82%**. *Metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) efektif sebagai katalisator pada reaksi oksidasi CO ($\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$) pada lambda (λ) 1,047 dengan temperatur 305°C dengan menghasilkan emisi CO₂ tertinggi sebesar 14,71% Vol.

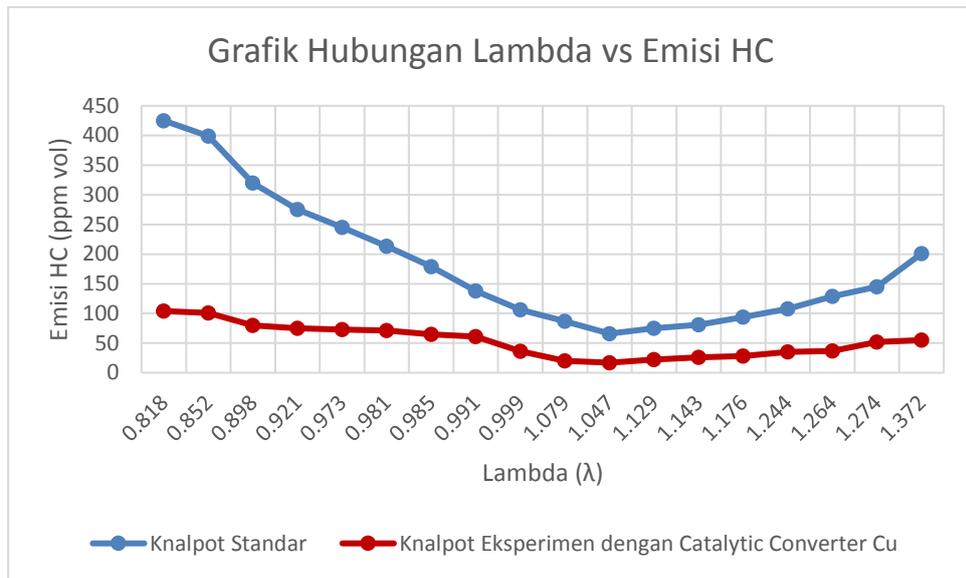
c. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Terhadap Reduksi Emisi Hidrokarbon (HC)

Untuk mengetahui seberapa besar persentase reduksi emisi HC dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel 60 berikut ini.

Tabel 60. Reduksi Emisi HC Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga (Cu) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang 7K | | | Knalpot Eksperimen dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) | | | Reduksi Emisi HC (%) |
|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------|--------------|---|-----------------|--------------|----------------------|
| | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | HC (ppm Vol) | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | HC (ppm Vol) | |
| 750 | 0,606 | 107 | 425 | 0,818 | 150 | 104 | 75,53 |
| 1000 | 0,775 | 119 | 399 | 0,852 | 159 | 101 | 74,69 |
| 1250 | 0,805 | 137 | 320 | 0,898 | 168 | 80 | 75,00 |
| 1500 | 0,872 | 155 | 275 | 0,921 | 179 | 75 | 72,73 |
| 1750 | 0,878 | 171 | 245 | 0,973 | 222 | 73 | 70,20 |
| 2000 | 0,890 | 198 | 213 | 0,981 | 234 | 71 | 66,67 |
| 2250 | 0,918 | 203 | 179 | 0,985 | 266 | 65 | 63,69 |
| 2500 | 0,928 | 218 | 138 | 0,991 | 279 | 61 | 55,80 |
| 2750 | 0,976 | 245 | 106 | 0,999 | 282 | 36 | 66,04 |
| 3000 | 0,981 | 257 | 87 | 1,079 | 283 | 20 | 77,01 |
| 3250 | 1,100 | 285 | 66 | 1,047 | 305 | 17 | 74,24 |
| 3500 | 1,372 | 297 | 75 | 1,129 | 331 | 22 | 70,67 |
| 3750 | 1,404 | 304 | 81 | 1,143 | 347 | 26 | 67,90 |
| 4000 | 1,410 | 309 | 94 | 1,176 | 352 | 28 | 70,21 |
| 4250 | 1,412 | 311 | 108 | 1,244 | 374 | 35 | 67,59 |
| 4500 | 1,424 | 317 | 129 | 1,264 | 395 | 37 | 71,32 |
| 4750 | 1,429 | 346 | 145 | 1,274 | 404 | 52 | 64,14 |
| 5000 | 1,449 | 354 | 201 | 1,372 | 423 | 55 | 72,64 |
| Rata-rata Reduksi Emisi HC | | | | | | | 69,78 |

Dari data pada tabel 60, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 114 berikut ini.



Gambar 114. Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi HC Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga (Cu)

Secara umum, penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen dapat mereduksi kadar emisi hidrokarbon (HC) yang dihasilkan oleh mesin Toyota Kijang tipe 4K di SMK Semen Gresik secara cukup signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 60 dan gambar 114 di atas. Berdasarkan hasil eksperimen, trend grafik emisi HC yang dihasilkan sesuai dengan trend grafik emisi HC di kajian pustaka (lihat gambar 6).

Tingkat reduksi kadar emisi HC tergantung pada nilai lambda dan temperatur. Lambda dapat mempengaruhi kadar emisi HC karena nilai lambda menunjukkan kondisi campuran udara-bahan bakar yang sesungguhnya. Sedangkan temperatur menunjukkan suhu kerja katalis untuk dapat melakukan proses oksidasi emisi HC menjadi uap air (H_2O).

Pada putaran mesin 750-2000 rpm dan pada lambda kurang dari 1 ($\lambda < 1$), mengindikasikan campuran yang kelebihan bahan bakar. Sehingga pada proses pembakaran akan kekurangan oksigen dan pembakaran akan menghasilkan emisi HC yang berlebihan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 60 dan gambar 114 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,606 – 0,890 dan temperatur gas buang 107°C – 198°C, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 425 ppm Vol – 213 ppm Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 4,5% Vol – 6,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga dengan lambda 0,818 – 0,981 dan temperatur gas buang 150°C – 234°C, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 104 ppm Vol – 71 ppm Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 3,0% Vol – 4,2% Vol. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen jauh lebih sedikit menghasilkan emisi HC karena adanya katalis tembaga didalamnya, tetapi kadar emisi HC yang dihasilkan masih relatif tinggi karena katalis masih bekerja pada campuran yang kaya ($\lambda < 1$) dan temperatur yang masih rendah.

Pada putaran mesin 2250-3250 rpm dan pada lambda sama dengan satu ($\lambda = 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang *stoichiometri*, artinya kebutuhan udara dan bahan bakar yang seimbang (ideal), sehingga setiap molekul udara (O₂) dapat terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar (C₈H₁₈). Dengan demikian, pada $\lambda = 1$ akan menghasilkan emisi HC yang lebih sedikit. Hal ini dapat dilihat pada tabel 60 dan gambar 114 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,918 –

1,100 dan temperatur gas buang $203^{\circ}\text{C} - 285^{\circ}\text{C}$, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 179 ppm Vol – 66 ppm Vol dan dihasilkan emisi O_2 mulai dari 6,6% Vol – 7,1% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga dengan lambda 0,985 – 1,047 dan temperatur gas buang $266^{\circ}\text{C} - 305^{\circ}\text{C}$, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 65 ppm Vol – 17 ppm Vol dan dihasilkan emisi O_2 mulai dari 4,6% Vol – 4,9% Vol. Pada putaran mesin 3250 rpm, baik knalpot standar maupun knalpot eksperimen yang dilengkapi dengan katalis plat tembaga, dihasilkan emisi HC terendah karena lambda pada putaran tersebut telah mencapai angka 1. Artinya, campuran udara dan bahan bakar menjadi ideal (*stoichiometric*) sehingga pembakaran berlangsung sempurna yang akan menghasilkan kadar emisi HC terendah. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih sedikit menghasilkan emisi HC karena adanya katalis tembaga didalamnya dan telah mencapai suhu optimal katalis (305°C) untuk proses reaksi oksidasi emisi HC menjadi H_2O .

Pada putaran mesin 3500-5.000 rpm dan pada lambda lebih dari satu ($\lambda > 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang kelebihan udara, artinya suplai udara terlalu banyak, sehingga setiap molekul udara (O_2) terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar (C_8H_{18}) bahkan lebih. Pada kondisi $\lambda > 1$ akan menyebabkan pembakaran yang kurang sempurna akibat semakin sedikitnya waktu pembakaran yang semakin cepat sehingga terjadi keterlambatan pengapian (*ignition delay*), akibatnya akan

menghasilkan emisi HC yang cenderung meningkat. Hal ini dapat dilihat pada tabel 60 dan gambar 114 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 1,372 – 1,449 dan temperatur gas buang 297°C-354°C, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 75 ppm Vol – 201 ppm Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 7,2% Vol – 7,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga dengan lambda 1,129 – 1,372 dan temperatur gas buang 331°C – 423°C, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 22 ppm Vol – 55 ppm Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 5,0% Vol – 5,5% Vol. Pada putaran tinggi, emisi HC yang dihasilkan mesin cenderung meningkat sebagai akibat tidak sempurnanya proses pembakaran karena kelebihan oksigen (O₂). Hal ini dapat dilihat dari nilai $\lambda > 1$. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih sedikit menghasilkan emisi HC karena adanya katalis tembaga didalamnya. Kadar emisi HC yang semakin naik pada lambda yang semakin besar menunjukkan bahwa semakin kurus campuran udara dan bahan bakar mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna dan terjadinya keterlambatan pengapian (*ignition delay*) pada putaran tinggi. Dengan demikian, kadar emisi HC semakin naik berbanding lurus dengan kenaikan nilai lambda. Meningkatnya kadar emisi HC pada putaran tinggi disebabkan karena: pembakaran yang kurang sempurna karena kekurangan oksigen sehingga ada sebagian bahan bakar yang belum terbakar dan keluar masih dalam bentuk hidrokarbon. Pada campuran kurus, konsentrasi HC akan naik disebabkan karena kurangnya pasokan bahan bakar sehingga

menyebabkan rambatan bunga api menjadi lambat dan bahan bakar akan segera keluar sebelum terbakar dengan sempurna. Pada kondisi kaya, konsentrasi HC akan naik dikarenakan pasokan udara tidak cukup untuk bereaksi dengan sempurna sehingga ada sebagian hidrokarbon yang keluar pada saat proses pembuangan.

Pada temperatur 305°C, mengindikasikan suhu optimal katalis tembaga untuk mengaktivasi gas buang yang mengalir di permukaan katalis. Sehingga kadar emisi HC dapat menurun secara optimal karena tercapainya suhu aktivasi $2\text{HC} + 2\frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$, dimana suhu normal terbentuknya uap air (H_2O) pada fase tanpa katalis sekitar 600°C. Sedangkan pada penelitian ini, suhu optimal kerja katalis tembaga dapat dicapai pada suhu yang lebih rendah, yaitu 305°C.

Sebagai bukti bahwa teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga mampu mereduksi emisi HC menjadi uap air (H_2O) dapat dilihat pada kondisi gas probe yang telah dikeluarkan dari dalam knalpot berikut ini (gambar 115 dan 116).

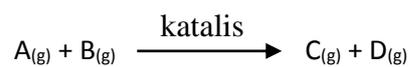


Gambar 115. Uap Air (H_2O) yang Terdapat Pada Gas Probe Tanpa Pemakaian *Metallic Catalytic Converter* di Knalpot Standar



Gambar 116. Uap Air (H₂O) yang Terdapat Pada Gas Probe Setelah Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga (Cu) di Knalpot Eksperimen

Perlu diketahui bahwa “sejumlah energi minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi kimia disebut sebagai energi aktivasi”. Katalis tersebut akan menurunkan energi aktivasi dari reaksi dengan menyediakan jalan baru. Secara garis besar dapat dijelaskan teori katalisis, yaitu: *the adsorption theory (heterogeneous)*, yaitu reaksi dua gas pada permukaan katalis padat (*solid catalyst*).



Untuk membandingkan knalpot standar dengan knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K yang telah dilengkapi dengan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu+Zn) tersebut apakah memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama dapat dilihat pada tabel 61 berikut ini.

Tabel 61. Perbandingan Hasil Uji Emisi HC antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Berteknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga

| Kategori | Tahun Pembuatan | HC (ppm) | Metode Uji | Emisi HC Knalpot Standar Toyota Kijang tipe 7K (ppm Vol) | Keterangan | Emisi HC Knalpot Eksperimen Dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) (ppm Vol) | Keterangan |
|---|-----------------|----------|------------|--|-----------------|--|-----------------|
| Mobil berpendingin motor bakar cetus api (bensin) | < 2007 | 1200 | Idle | 425 | Lulus Uji Emisi | 104 | Lulus Uji Emisi |

Dari tabel 61 dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 7K dapat mereduksi kadar emisi HC secara cukup signifikan jika dibandingkan dengan knalpot standar. Bahkan katalis plat tembaga dapat mereduksi kadar emisi HC jauh di bawah ambang batas emisi yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Namun, jika ditinjau dari peluang lulus uji emisi atau tidak, tentu knalpot standar tidak akan lulus uji emisi karena menghasilkan emisi CO di atas ambang batas walaupun emisi HC yang dihasilkan di bawah ambang batas. Sedangkan penggunaan knalpot eksperimen dengan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga dapat dikategorikan lulus uji emisi karena menghasilkan emisi CO dan HC jauh di bawah ambang batas yang telah ditetapkan oleh pemerintah.

Dapat dikatakan bahwa penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) pada knalpot knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 7K dapat mendukung program langit biru (*blue sky program*) dan program sekolah adiwiyata (*green school program*) yang telah dicanangkan oleh pemerintah karena terbukti mampu mereduksi konsentrasi emisi HC secara signifikan di sekolah.

Dari hasil uji lapangan utama (*main field testing*) dapat disimpulkan bahwa pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi emisi HC rata-rata sebesar **69,78%**. *Metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) efektif sebagai katalisator pada reaksi $2\text{HC} + 2\frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$ pada lambda (λ) 1,047 dan temperatur 305°C dengan menghasilkan emisi HC terendah yaitu 17 ppm Vol.

Hasil penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Amin, Chavda & Gadhia (2013) yang hanya mampu mereduksi emisi HC rata-rata sebesar **66%** dengan menggunakan *catalytic converter* berbahan dasar *wiremesh* yang dilapisi dengan tembaga (Cu), penelitian Warju & Muliatna (2015) yang hanya mampu mereduksi emisi HC rata-rata sebesar **18,38%-46,81%** dengan menggunakan *metallic catalytic converter* tembaga (Cu), dan penelitian Nisa et al. (2016) yang hanya mampu mereduksi emisi HC rata-rata sebesar **47,13%** dengan menggunakan *catalytic converter* pipa tembaga (Cu).

Sekedar diketahui bahwa pengujian emisi HC pada kendaraan bermotor tipe baru sudah menggunakan *Euro II Emission Standard* yang berpedoman pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 04 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru dengan standar emisi HC sebesar 0,5-0,6 gram/km dengan metode uji ECE R 83 – 04.

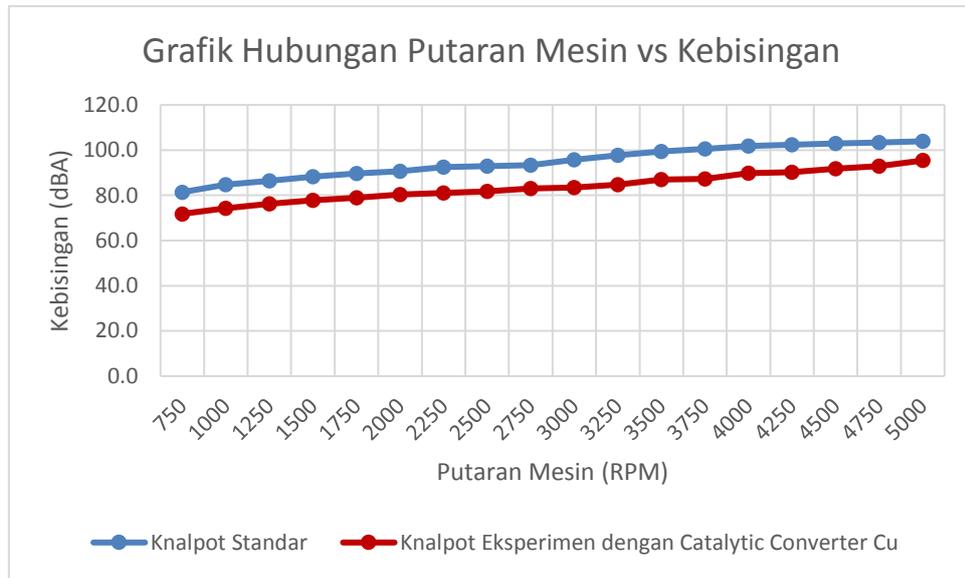
d. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik terhadap kebisingan kendaraan, dapat dilihat pada tabel 62 berikut ini.

Tabel 62. Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga (Cu) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K | | Knalpot Eksperimen dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga (Cu) | | Reduksi Kebisingan (%) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------|--|-----------|------------------------|
| | Tekanan (kPa) | SPL (dBA) | Tekanan (kPa) | SPL (dBA) | |
| | 750 | 0,96 | 81,4 | 1,81 | |
| 1000 | 1,62 | 84,7 | 2,14 | 74,3 | 12,28 |
| 1250 | 2,53 | 86,4 | 3,13 | 76,2 | 11,81 |
| 1500 | 3,13 | 88,2 | 4,27 | 77,8 | 11,79 |
| 1750 | 3,86 | 89,7 | 5,00 | 79,0 | 11,93 |
| 2000 | 4,77 | 90,6 | 6,87 | 80,4 | 10,49 |
| 2250 | 6,15 | 92,5 | 7,50 | 81,1 | 9,84 |
| 2500 | 7,67 | 92,9 | 9,15 | 81,7 | 13,46 |
| 2750 | 8,80 | 93,4 | 10,50 | 83,1 | 12,53 |
| 3000 | 9,65 | 95,8 | 11,67 | 83,4 | 13,26 |
| 3250 | 10,80 | 97,7 | 12,30 | 84,7 | 13,31 |
| 3500 | 11,62 | 99,4 | 13,01 | 87,0 | 12,47 |
| 3750 | 12,05 | 100,5 | 13,23 | 87,3 | 13,13 |
| 4000 | 13,23 | 101,8 | 14,87 | 89,8 | 11,79 |
| 4250 | 14,00 | 102,4 | 15,34 | 90,2 | 11,91 |
| 4500 | 14,78 | 102,9 | 16,03 | 91,8 | 10,79 |
| 4750 | 15,30 | 103,3 | 16,55 | 92,9 | 10,07 |
| 5000 | 17,78 | 103,9 | 20,01 | 95,4 | 8,18 |
| Rata-rata Reduksi Kebisingan | | | | | 11,71 |

Dari data pada tabel 62, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 117 berikut ini.



Gambar 117. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga (Cu)

Secara umum, penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga pada knalpot eksperimen akan menurunkan kebisingan yang dihasilkan oleh mesin Toyota Kijang tipe 7K namun tidak signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 62 dan gambar 117 di atas.

Pada putaran idle mesin (750 rpm), kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 81,4 dBA dengan tekanan balik sebesar 0,96 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat tembaga sebesar 71,8 dBA dengan tekanan balik sebesar 1,81 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 11,79%.

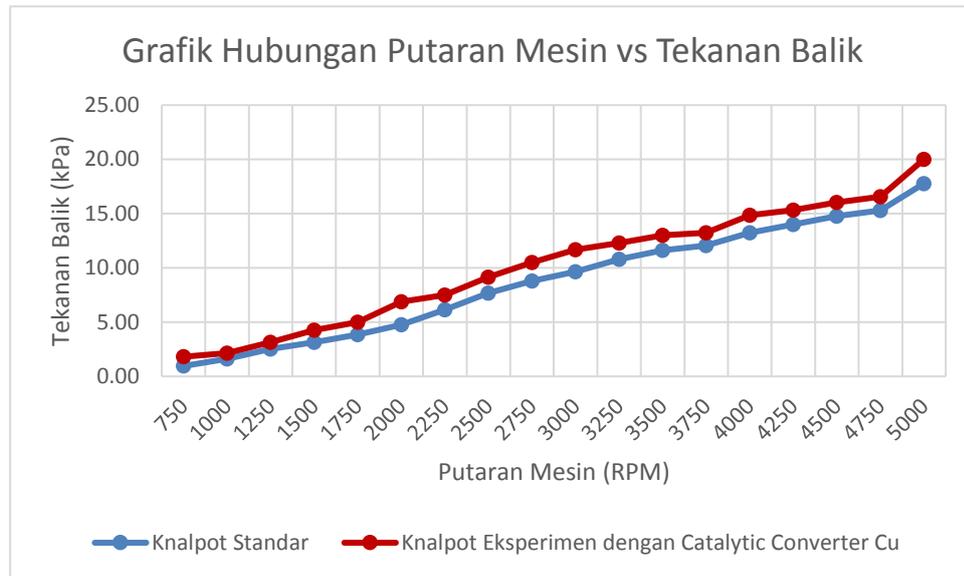
Pada putaran mesin 3500 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 99,4 dBA dengan tekanan balik sebesar 11,62 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan

katalis plat tembaga sebesar 87,0 dBA dengan tekanan balik sebesar 13,01 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 12,47%.

Pada putaran mesin 5000 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 103,9 dBA dengan tekanan balik sebesar 17,78 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat tembaga sebesar 95,4 dBA dengan tekanan balik sebesar 20,01 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 8,18%.

Reduksi kebisingan pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K disebabkan karena dengan pemasangan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) dapat meningkatkan tekanan gas buang di dalam knalpot saat melewati permukaan katalis sehingga mampu mereduksi kebisingan yang dihasilkan, selain katalis tembaga tersebut berfungsi untuk mereduksi emisi CO dan HC.

Peningkatan tekanan balik (*back pressure*) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) dapat dilihat pada gambar 118 berikut ini.



Gambar 118. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (*Back Pressure*) Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga

Dari gambar 118 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K cenderung menghasilkan tekanan balik gas buang yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan knalpot standar, namun tidak signifikan. Akibatnya, kebisingan yang dihasilkan pada ujung knalpot eksperimen (*tail pipe*) cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan knalpot standar (lihat gambar 117).

Dari hasil uji lapangan utama (*main field testing*) dapat disimpulkan bahwa pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi kebisingan rata-rata sebesar **11,71%**. Hasil ini sedikit lebih baik jika dibandingkan dengan hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) yang hanya mencapai rata-rata reduksi sebesar 8,46%.

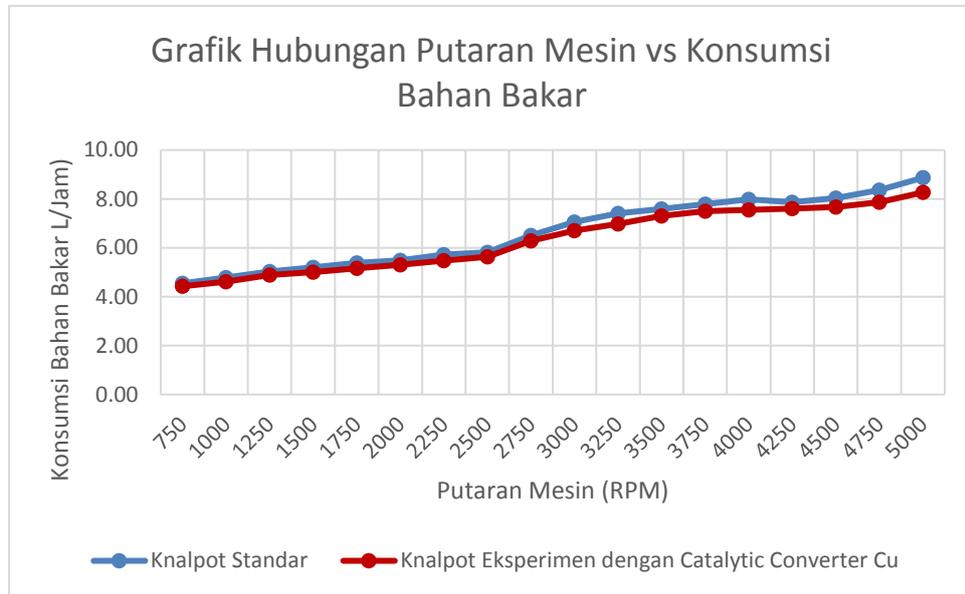
e. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Terhadap Reduksi Konsumsi Bahan Bakar

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K terhadap konsumsi bahan bakar di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel 63.

Tabel 63. Reduksi Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga (Cu) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang 7K | | | Knalpot Eksperimen dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga (Cu) | | | Reduksi Konsumsi Bahan Bakar (%) |
|---|----------------------------------|---------------------|------------------------------|---|---------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | Lambda (λ) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (L/Jam) | Lambda (λ) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (L/Jam) | |
| 750 | 0,606 | 0,96 | 4,55 | 0,818 | 1,81 | 4,43 | 2,68 |
| 1000 | 0,775 | 1,62 | 4,79 | 0,852 | 2,14 | 4,62 | 3,51 |
| 1250 | 0,805 | 2,53 | 5,04 | 0,898 | 3,13 | 4,88 | 3,07 |
| 1500 | 0,872 | 3,13 | 5,20 | 0,921 | 4,27 | 5,00 | 3,83 |
| 1750 | 0,878 | 3,86 | 5,38 | 0,973 | 5,00 | 5,17 | 3,96 |
| 2000 | 0,890 | 4,77 | 5,49 | 0,981 | 6,87 | 5,31 | 3,33 |
| 2250 | 0,918 | 6,15 | 5,72 | 0,985 | 7,50 | 5,47 | 4,38 |
| 2500 | 0,928 | 7,67 | 5,81 | 0,991 | 9,15 | 5,63 | 3,13 |
| 2750 | 0,976 | 8,80 | 6,51 | 0,999 | 10,50 | 6,28 | 3,56 |
| 3000 | 0,981 | 9,65 | 7,06 | 1,079 | 11,67 | 6,70 | 5,03 |
| 3250 | 1,100 | 10,80 | 7,41 | 1,047 | 12,30 | 6,98 | 5,78 |
| 3500 | 1,372 | 11,62 | 7,60 | 1,129 | 13,01 | 7,31 | 3,86 |
| 3750 | 1,404 | 12,05 | 7,79 | 1,143 | 13,23 | 7,50 | 3,71 |
| 4000 | 1,410 | 13,23 | 7,98 | 1,176 | 14,87 | 7,56 | 5,29 |
| 4250 | 1,412 | 14,00 | 7,87 | 1,244 | 15,34 | 7,60 | 3,38 |
| 4500 | 1,424 | 14,78 | 8,04 | 1,264 | 16,03 | 7,68 | 4,48 |
| 4750 | 1,429 | 15,30 | 8,36 | 1,274 | 16,55 | 7,86 | 5,99 |
| 5000 | 1,449 | 17,78 | 8,87 | 1,372 | 20,01 | 8,27 | 6,75 |
| Rata-rata Reduksi Konsumsi Bahan Bakar | | | | | | | 4,21 |

Dari data pada tabel 63, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 119 berikut ini.



Gambar 119. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga

Secara umum, penggunaan *metallic catalytic converter* plat tembaga pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat menurunkan konsumsi bahan bakar di setiap putaran mesin walaupun tidak signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 63 dan gambar 119 di atas.

Pada putaran idle mesin (750 rpm), konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 4,55 L/Jam dengan lambda (λ) = 0,606 dan tekanan balik gas buang sebesar 0,96 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat tembaga sebesar 4,43 L/Jam dengan lambda (λ) = 0,818 dan tekanan balik gas buang sebesar 1,81 kPa. Reduksi konsumsi bahan bakar pada putaran ini hanya sebesar 2,68%.

Pada putaran mesin 3500 rpm, konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 7,60 L/Jam dengan lambda (λ) = 1,372 dan tekanan balik gas buang sebesar 11,62 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat tembaga sebesar 7,31 L/Jam dengan lambda (λ) = 1,129 dan tekanan balik gas buang sebesar 13,01 kPa. Reduksi konsumsi bahan bakar pada putaran ini hanya sebesar 3,86%.

Pada putaran mesin 5000 rpm, konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 8,87 L/Jam dengan lambda (λ) = 1,449 dan tekanan balik gas buang sebesar 17,78 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat tembaga sebesar 8,27 L/Jam dengan lambda (λ) = 1,372 dan tekanan balik gas buang sebesar 20,01 kPa. Reduksi konsumsi bahan bakar pada putaran ini hanya sebesar 6,75%.

Konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin selama 1 (satu) jam. Besar kecilnya konsumsi bahan bakar tergantung pada sempurna atau tidak sempurnanya campuran udara dan bahan bakar yang terbakar dalam ruang bakar. Hal ini ditunjukkan oleh nilai lambda (λ). Nilai lambda (λ) = 1,000, menunjukkan campuran ideal (*stoichiometric*), artinya perbandingan antara jumlah udara-bahan bakar secara aktual (14,7:1) akan sama dengan jumlah udara-bahan bakar secara teori (14,7:1). Dengan nilai lambda (λ) = 1,000 atau mendekati 1, akan dihasilkan pembakaran yang sempurna. Semakin sempurna pembakaran,

maka akan menghasilkan torsi dan daya efektif yang lebih besar serta konsumsi bahan bakar yang lebih rendah (irit).

Dalam penelitian ini, lambda yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga cenderung menghasilkan lambda yang mendekati lambda ideal jika dibandingkan dengan knalpot standar. Oleh karena itu, konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen relatif lebih rendah (irit) jika dibandingkan dengan knalpot standar. Faktor-faktor yang menentukan kesempurnaan pembakaran antara lain: homogenitas campuran udara dan bahan bakar, kaya/miskinnya campuran yang masuk ruang bakar, waktu yang tersedia untuk melakukan pembakaran, dan desain ruang bakar itu sendiri.

Dari tabel 63 dan gambar 119 ditunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar akan terus meningkat sebanding dengan putaran mesin. Hal ini disebabkan karena pada putaran rendah, turbulensi campuran sangat rendah, sebagai akibat kecilnya kecepatan aliran campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Seperti diketahui, turbulensi aliran sangatlah penting dalam menghasilkan campuran yang baik, sehingga bisa meningkatkan energi yang dihasilkan dari hasil pembakaran. Pada putaran menengah, dicapai campuran udara dan bahan bakar yang mendekati campuran *stoichiometric* sehingga proses pembakaran berlangsung sempurna sehingga torsi dan daya efektif yang dihasilkan mesin cenderung meningkat. Hal ini juga diimbangi oleh tercapainya turbulensi aliran

campuran udara dan bahan bakar. Pada putaran tinggi, meskipun turbulensi aliran bagus, akan tetapi kurangnya waktu yang tersedia untuk pembakaran mengakibatkan pembakaran menjadi kurang sempurna, ditambah lagi tingginya *losses* yang terjadi pada putaran tinggi, maka akan meningkatkan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin.

Selain itu, menurunnya konsumsi bahan bakar juga disebabkan oleh faktor temperatur dan tekanan balik (*back pressure*). Dari tabel 60 dan gambar 112 terlihat bahwa dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 7K akan meningkatkan temperatur gas buang di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan knalpot standar. Panas yang tertahan di katalis menyebabkan temperatur di dalam ruang bakar mesin meningkat sebagai akibat meningkatnya tekanan balik (*back pressure*) yang terjadi (lihat tabel 63 dan gambar 118) sehingga efisiensi thermal mesin meningkat (>15%) jika dibandingkan dengan efisiensi thermal knalpot standar. Efisiensi thermal berhubungan dengan berapa banyak tenaga panas dari pembakaran yang dirubah menjadi tenaga untuk mendorong torak.

Efisiensi thermal ini besarnya sekitar 15%. Hal ini disebabkan adanya pendinginan silinder, baik oleh air ataupun udara, terbawa oli, dan terbawa gas buang (35%) pada waktu meninggalkan silinder. Gas bekas pembakaran ini masih cukup mempunyai panas (lihat gambar 93).

Meningkatnya efisiensi thermal mengakibatkan energi yang diberikan ke piston pada saat langkah kerja sangat besar, kemudian energi tersebut

diteruskan ke batang torak (*connecting rod*) dan ke poros engkol (*crankshaft*), sehingga gaya tangensial menjadi lebih besar. Dengan gaya tangensial yang lebih besar, maka torsi dan daya efektif yang dihasilkan mesin akan semakin besar dan konsumsi bahan bakar akan menjadi lebih rendah (irit).

Dari hasil uji lapangan utama (*main field testing*) tentang pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa *metallic catalytic converter* plat tembaga dapat mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar **4,21%**. Hasil ini sedikit lebih baik jika dibandingkan dengan hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) yang hanya sebesar 3,34%.

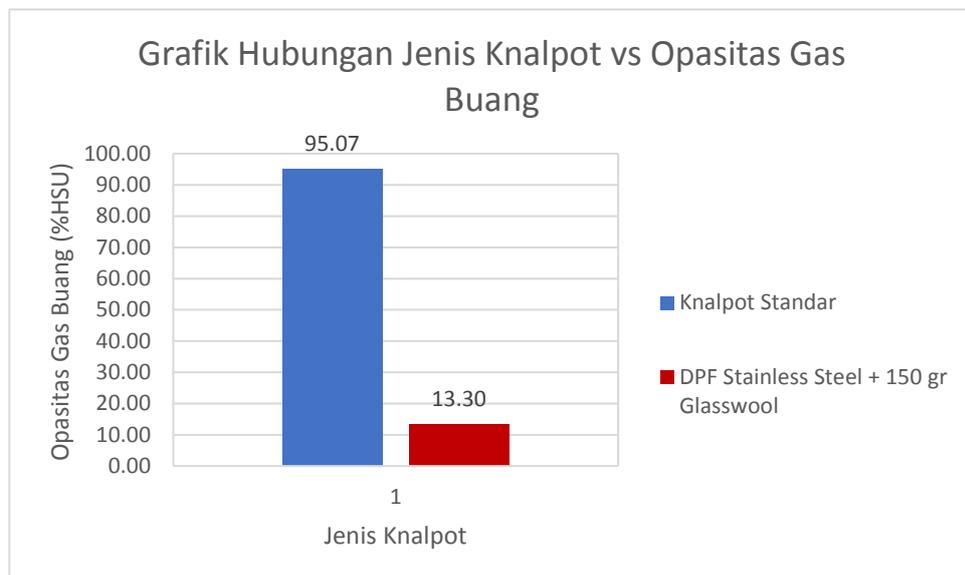
f. Kemampuan Teknologi *Diesel Particulate Filter* (DPF) Berbahan Dasar *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool* Terhadap Reduksi Opasitas Gas Buang Mesin Diesel

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 terhadap reduksi opasitas/partikulat di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel 64 berikut ini.

Tabel 64. Reduksi Opasitas Gas Buang Mesin Isuzu C190 Dengan Menggunakan DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool* di SMK Semen Gresik

| Jenis Knalpot | Rata-rata Opasitas Gas Buang (%HSU) | Reduksi Opasitas Gas Buang (%) |
|--|-------------------------------------|--------------------------------|
| Knalpot Standar | 95,07 | |
| Knalpot Eksperimen dengan Teknologi DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> | 13,30 | 86,01 |

Dari data pada tabel 64, apabila ditampilkan dalam bentuk diagram batang tentang opasitas gas buang, seperti terlihat pada gambar 120 berikut ini.



Gambar 120. Perbandingan Hasil Pengujian Opasitas Gas Buang Dengan Menggunakan DPF Plat *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool*

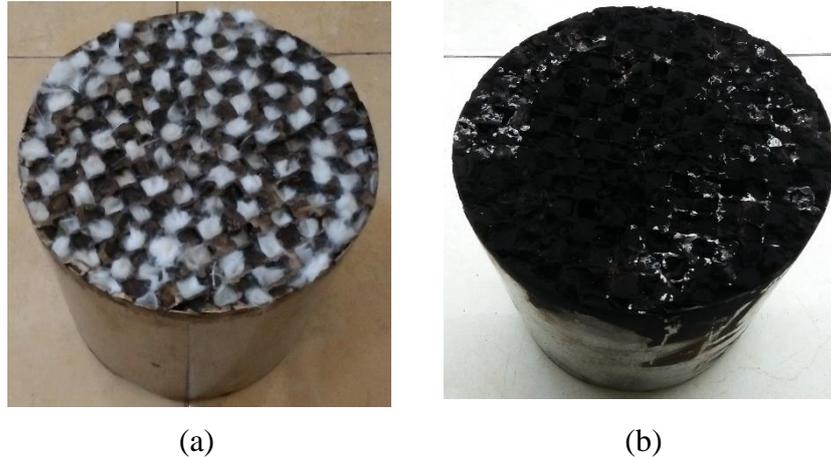
Secara umum, dapat disimpulkan bahwa penggunaan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* (Fe+Cr) dan 150 gr *glasswool* dapat menurunkan

opasitas gas buang mesin Isuzu C190 secara signifikan di SMK Semen Gresik.

Opasitas gas buang yang dihasilkan oleh knalpot standar mesin Isuzu C190 sebesar 95,07 %HSU. Sedangkan opasitas gas buang yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 berteknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* sebesar 13,30 %HSU. Dengan teknologi DPF ini dapat mereduksi opasitas gas buang sebesar 86,01%.

Pada knalpot standar, aliran gas buang yang keluar dari ruang bakar menuju ke atmosfer tidak tersaring/terjebak oleh material apapun, sehingga gas buang tersebut keluar begitu saja tanpa adanya penyaringan/penjebakan. Dampaknya opasitas gas buang cenderung lebih tinggi. Sedangkan reduksi opasitas gas buang pada knalpot eksperimen disebabkan karena emisi partikulat yang keluar dari ruang bakar mengalir ke knalpot menuju DPF terlebih dahulu. Di dalam DPF, emisi partikulat tersebut akan melewati material *glasswool* yang dipasang diujung pemasukan DPF. Di *glasswool* ini, emisi partikulat tersebut akan diserap dan disaring. Selanjutnya gas buang yang telah disaring/di-*filter* tersebut akan mengalir melalui lubang-lubang (*perforated*) yang terdapat pada plat *stainless steel* ke sisi pengeluaran DPF menuju *muffler* dan atmosfer.

Sebagai bukti bahwa telah terjadi reduksi opasitas gas buang (partikulat) dengan menggunakan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* dapat dilihat pada gambar 121 berikut ini.



(a) (b)
Gambar 121. DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool*: (a) Sebelum Pengujian, (b) Setelah Pengujian

Berapa gram emisi partikulat (PM) yang bisa diserap oleh DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* tersebut? Untuk menghitungnya, sebelum melakukan pengujian, DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* ditimbang terlebih dahulu menggunakan timbangan digital untuk mengetahui berat DPF tersebut. Berat DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* sebelum dilakukan pengujian, yaitu 4.630 gr. Setelah dilakukan pengujian, berat DPF bertambah menjadi 4.690 gr (lihat gambar 122). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat 60 gr emisi partikulat (PM) yang tersaring oleh DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* tersebut.



(a)

(b)

Gambar 122. Berat DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool*: (a) Sebelum Pengujian 4.630 gr, (b) Setelah Pengujian 4.690 gr

Untuk mengetahui apakah dengan menggunakan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* pada mesin Isuzu C190 tersebut memenuhi ambang batas opasitas gas buang sesuai dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama, maka perlu dilakukan perbandingan antara penggunaan knalpot standar dan knalpot eksperimen berteknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* yang dapat dilihat pada Tabel 65 berikut ini.

Tabel 65. Perbandingan Hasil Uji Opasitas Gas Buang Mesin Isuzu Dengan Menggunakan DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool*

| Kategori | Tahun Pembuatan | Ambang Batas Opasitas Gas Buang (%) | Metode Uji | Opasitas Gas Buang Knalpot Standar (%) | Keterangan | Opasitas Gas Buang Dengan DPF <i>Stainless Steel</i> + 150 gr <i>Glasswool</i> (%) | Keterangan |
|---|-----------------|-------------------------------------|------------------|--|-----------------------|--|-----------------|
| Berpengerak motor bakar penyalaan kompresi (mesin diesel) | <2010 | 70 | Percepatan bebas | 95,07 | Tidak lulus uji emisi | 13,30 | Lulus uji emisi |

Dari hasil uji lapangan utama (*main field testing*) tentang pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* dapat mereduksi opasitas gas buang rata-rata sebesar **86,01%**.

Hasil penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Vasanthan (2013) yang hanya mampu mereduksi opasitas gas buang sebesar **60-70%** dengan menggunakan DPF berbahan dasar oksida tembaga (*copper oxide*), penelitian Warju & Marsudi (2015) yang hanya mampu mereduksi opasitas gas buang sebesar **70%** dengan menggunakan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 100 gr *glasswool*, dan penelitian Ariyanto & Warju (2016) yang hanya mampu mereduksi opasitas gas buang sebesar **81%** dengan menggunakan DPF berbahan dasar plat tembaga dan 100 gr *glasswool*.

Sekedar diketahui bahwa pengujian opasitas gas buang pada kendaraan bermotor tipe baru sudah menggunakan *Euro II Emission Standard* yang berpedoman pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 04 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru dengan standar opasitas gas buang sebesar 0,08-0,17 gram/km dengan metode uji ECE R 83 – 04.

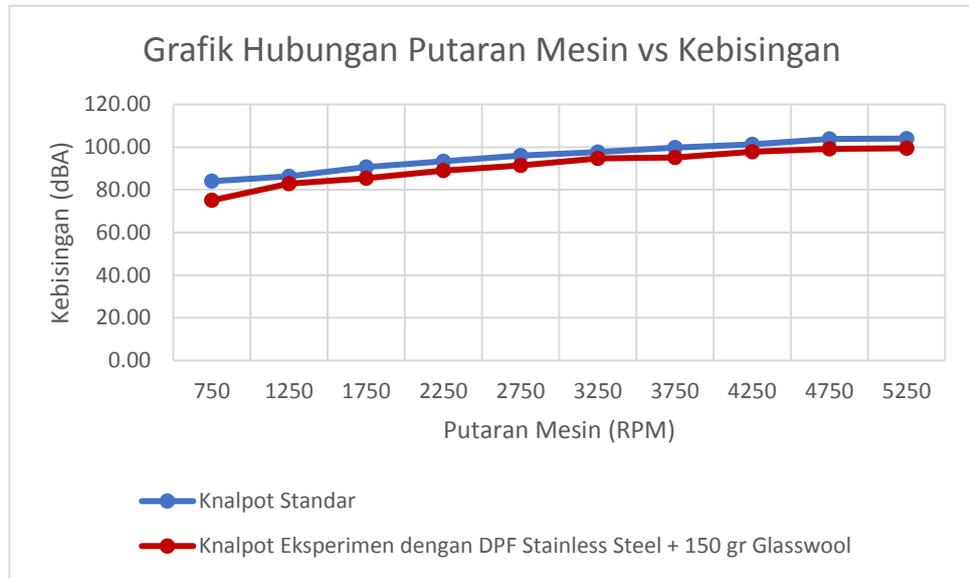
g. Kemampuan Teknologi *Diesel Particulate Filter* (DPF) Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool* Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik terhadap kebisingan kendaraan, dapat dilihat pada tabel 66 berikut ini.

Tabel 66. Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Isuzu C190 Dengan Penggunaan DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool* di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Isuzu C190 | | Knalpot Eksperimen dengan DPF <i>Stainless Steel</i> + 150 gr <i>Glasswool</i> | | Reduksi Kebisingan (%) |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------|--|-----------|------------------------|
| | Tekanan Balik (kPa) | SPL (dBA) | Tekanan Balik (kPa) | SPL (dBA) | |
| 750 | 2,09 | 84,03 | 3,01 | 75,07 | 10,66 |
| 1250 | 3,98 | 86,27 | 5,54 | 82,90 | 3,91 |
| 1750 | 6,98 | 90,70 | 11,70 | 85,40 | 5,84 |
| 2250 | 9,67 | 93,43 | 13,48 | 89,00 | 4,74 |
| 2750 | 10,68 | 96,03 | 13,98 | 91,47 | 4,75 |
| 3250 | 12,74 | 97,73 | 16,57 | 94,70 | 3,10 |
| 3750 | 15,83 | 99,80 | 18,63 | 95,20 | 4,61 |
| 4250 | 16,86 | 101,27 | 20,65 | 97,90 | 3,33 |
| 4750 | 17,95 | 103,77 | 22,74 | 99,17 | 4,43 |
| 5250 | 20,90 | 104,03 | 26,64 | 99,47 | 4,38 |
| Rata-rata Reduksi Kebisingan | | | | | 4,98 |

Dari data pada tabel 66, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 123 berikut ini.



Gambar 123. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi DPF *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool*

Secara umum, penggunaan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen akan menurunkan kebisingan yang dihasilkan oleh mesin Isuzu C190 namun tidak signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 66 dan gambar 123 di atas.

Pada putaran idle mesin (750 rpm), kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 84,03 dBA dengan tekanan balik sebesar 2,09 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* sebesar 75,07 dBA dengan tekanan balik sebesar 3,01 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 10,66%.

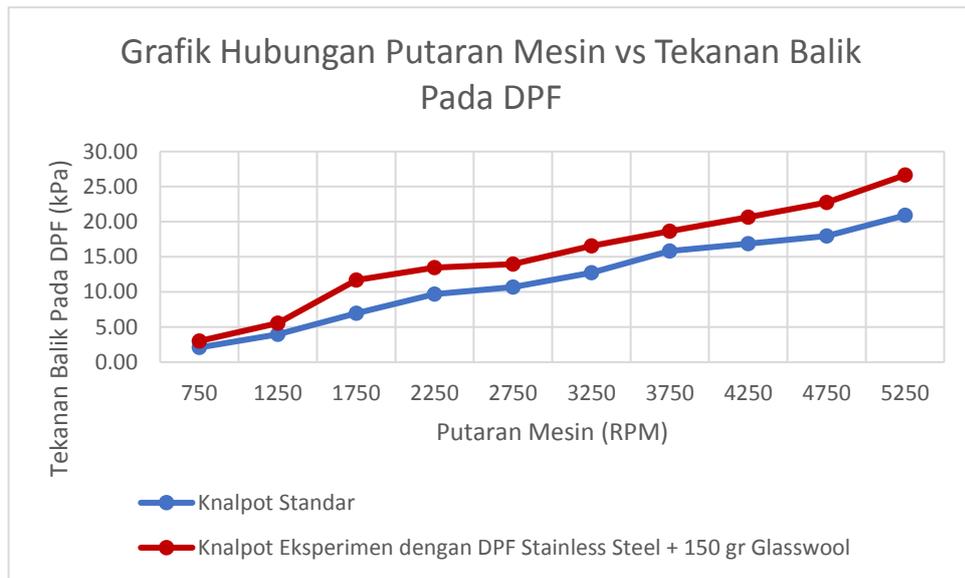
Pada putaran mesin 2750 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 96,03 dBA dengan tekanan balik sebesar 10,68 kPa.

Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* sebesar 91,47 dBA dengan tekanan balik sebesar 13,98 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 4,75%.

Pada putaran mesin 5250 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 104,03 dBA dengan tekanan balik sebesar 20,90 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* sebesar 99,47 dBA dengan tekanan balik sebesar 26,64 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 4,38%.

Reduksi kebisingan yang terjadi pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 disebabkan karena dengan pemasangan teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* tersebut dapat meningkatkan tekanan balik (*back pressure*) di dalam knalpot saat melewati permukaan DPF sehingga mampu mereduksi kebisingan yang dihasilkan, selain DPF tersebut berfungsi untuk mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat).

Peningkatan tekanan balik (*back pressure*) pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 dengan menggunakan teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* dapat dilihat pada gambar 124 berikut ini.



Gambar 124. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (*Back Pressure*) Dengan Penggunaan Teknologi DPF *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool*

Dari gambar 124 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 cenderung menghasilkan tekanan balik gas buang yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan knalpot standar. Akibatnya, kebisingan yang dihasilkan pada ujung knalpot eksperimen (*tail pipe*) cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan knalpot standar (lihat gambar 123). Namun, akselerasi mesin menjadi lambat khususnya pada putaran mesin menengah sampai putaran mesin tinggi akibat terlalu banyaknya jumlah *glasswool* di dalam DPF (150 gr) yang menyebabkan meningkatnya tekanan balik (*back pressure*) yang terjadi di ruang bakar. Hal ini cenderung merugikan mesin karena berdampak pada borosnya bahan bakar.

DPF selain difungsikan sebagai pereduksi emisi partikulat (opasitas) juga difungsikan sebagai peredam suara, sehingga semakin kecil diameter cell DPF dan semakin banyak jumlah *glasswool* yang dimasukkan ke dalam DPF dalam jumlah tertentu, maka kebisingan yang dihasilkan akan semakin rendah. Dalam penelitian ini, diameter cell DPF berbahan dasar plat *stainless steel* yang digunakan adalah 10 mm.

Dari hasil uji lapangan utama (*main field testing*) tentang pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* dapat mereduksi kebisingan rata-rata sebesar **4,98%**.

Hasil penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Warju & Marsudi (2015) yang hanya mampu mereduksi kebisingan sebesar **1,7%** dengan menggunakan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 100 gr *glasswool*.

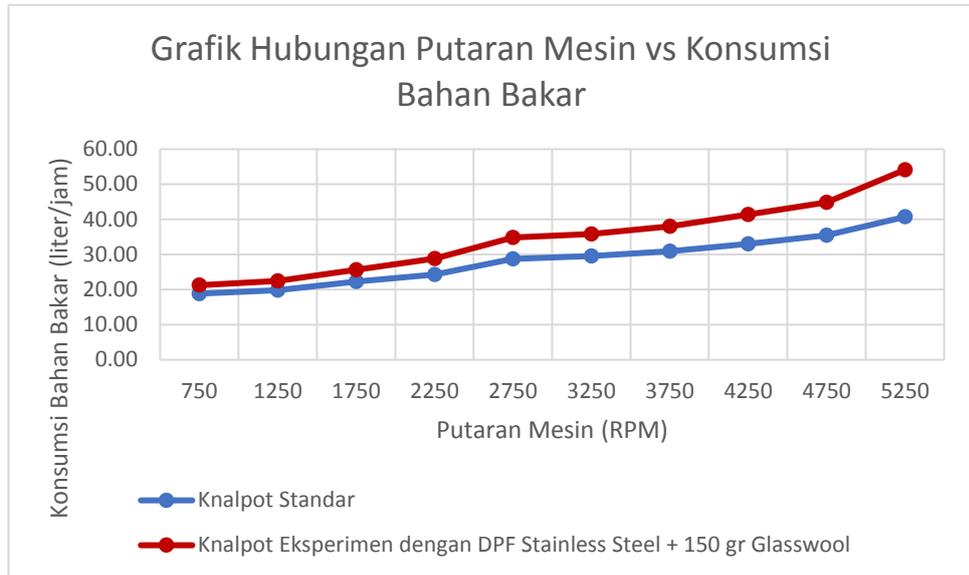
h. Kemampuan Teknologi *Diesel Particulate Filter* (DPF) Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool* Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 terhadap konsumsi bahan bakar di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel 67 berikut ini.

Tabel 67. Reduksi Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Isuzu C190 Dengan Penggunaan DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool* di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Mesin Isuzu C190 | | | Knalpot Eksperimen dengan DPF Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> | | | Peningkatan Konsumsi Bahan Bakar (%) |
|---|----------------------------------|---------------------|------------------------------|---|---------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| | Temperatur (°C) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (L/Jam) | Temperatur (°C) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (L/Jam) | |
| 750 | 72,41 | 2,09 | 18,84 | 175,51 | 3,01 | 21,23 | 11,26 |
| 1250 | 77,80 | 3,98 | 19,85 | 186,60 | 5,54 | 22,43 | 11,50 |
| 1750 | 90,52 | 6,98 | 22,27 | 197,81 | 11,70 | 25,65 | 13,18 |
| 2250 | 97,60 | 9,67 | 24,26 | 206,31 | 13,48 | 28,86 | 15,94 |
| 2750 | 101,54 | 10,68 | 28,72 | 248,32 | 13,98 | 34,86 | 17,61 |
| 3250 | 103,81 | 12,74 | 29,56 | 254,41 | 16,57 | 35,81 | 17,45 |
| 3750 | 111,54 | 15,83 | 30,93 | 277,48 | 18,63 | 38,05 | 18,71 |
| 4250 | 123,93 | 16,86 | 32,97 | 329,69 | 20,65 | 41,41 | 20,38 |
| 4750 | 146,14 | 17,95 | 35,50 | 405,51 | 22,74 | 44,85 | 20,85 |
| 5250 | 150,51 | 20,90 | 40,69 | 511,67 | 26,64 | 54,11 | 24,80 |
| Rata-rata Peningkatan Konsumsi Bahan Bakar | | | | | | | 17,17 |

Dari data pada tabel 67, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 125 berikut ini.



Gambar 125. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dengan Penggunaan Teknologi DPF *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool*

Secara umum, penggunaan *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar di setiap putaran mesin secara cukup signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 67 dan gambar 125 di atas.

Pada putaran idle mesin (750 rpm), konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 18,84 L/Jam dengan temperatur gas buang = 72,41°C dan tekanan balik gas buang sebesar 2,09 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* sebesar 21,23 L/Jam dengan temperatur gas buang = 175,51°C dan tekanan balik gas buang sebesar 3,01 kPa. Peningkatan konsumsi bahan bakar pada putaran ini sebesar 11,26%.

Pada putaran idle mesin (2750 rpm), konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 28,72 L/Jam dengan temperatur gas buang = 101,54°C dan tekanan balik gas buang sebesar 10,68 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* sebesar 34,86 L/Jam dengan temperatur gas buang = 248,32°C dan tekanan balik gas buang sebesar 13,98 kPa. Peningkatan konsumsi bahan bakar pada putaran ini sebesar 17,61%.

Pada putaran idle mesin (5250 rpm), konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 40,69 L/Jam dengan temperatur gas buang = 150,51°C dan tekanan balik gas buang sebesar 20,90 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* sebesar 54,11 L/Jam dengan temperatur gas buang = 511,67°C dan tekanan balik gas buang sebesar 26,64 kPa. Peningkatan konsumsi bahan bakar pada putaran ini sebesar 24,80%.

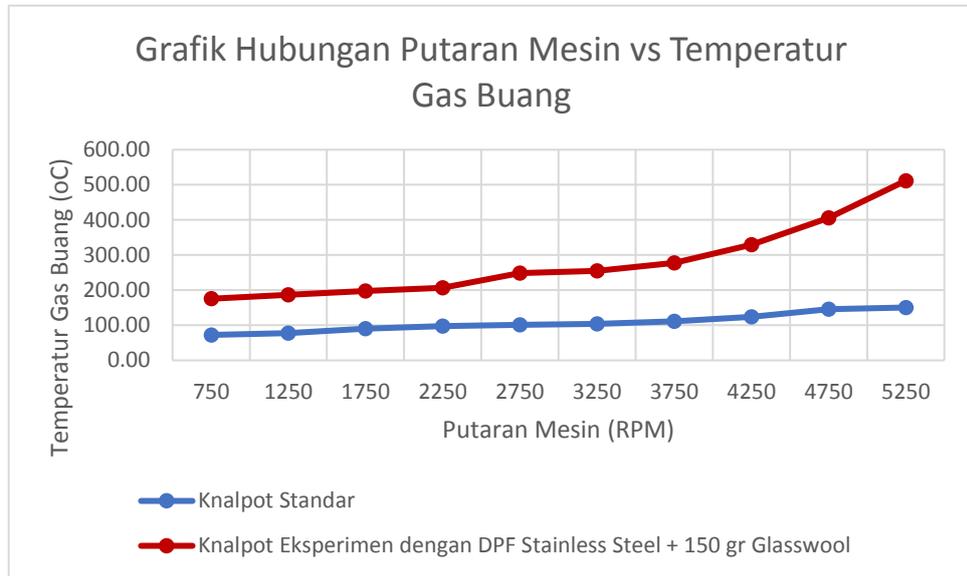
Konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin selama 1 (satu) jam. Besar kecilnya konsumsi bahan bakar tergantung pada sempurna atau tidak sempurnanya campuran udara dan bahan bakar yang terbakar dalam ruang bakar. Semakin sempurna pembakaran, maka akan menghasilkan torsi dan daya efektif yang lebih besar serta konsumsi bahan bakar yang lebih rendah (irit). Faktor-faktor yang menentukan kesempurnaan pembakaran antara lain: homogenitas

campuran udara dan bahan bakar, kaya/miskinnya campuran yang masuk ruang bakar, waktu yang tersedia untuk melakukan pembakaran, dan desain ruang bakar itu sendiri.

Dari tabel 67 dan gambar 125 ditunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar akan terus meningkat sebanding dengan putaran mesin. Hal ini disebabkan karena pada putaran mesin rendah, turbulensi campuran sangat rendah, sebagai akibat kecilnya kecepatan aliran campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Seperti diketahui, turbulensi aliran sangatlah penting dalam menghasilkan campuran yang baik, sehingga bisa meningkatkan energi yang dihasilkan dari hasil pembakaran. Pada putaran mesin menengah, dicapai campuran udara dan bahan bakar yang mendekati campuran *stoichiometric* sehingga proses pembakaran berlangsung sempurna sehingga torsi dan daya efektif yang dihasilkan mesin cenderung meningkat. Hal ini juga diimbangi oleh tercapainya turbulensi aliran campuran udara dan bahan bakar. Pada putaran mesin tinggi, meskipun turbulensi aliran bagus, akan tetapi kurangnya waktu yang tersedia untuk pembakaran mengakibatkan pembakaran menjadi kurang sempurna, ditambah lagi tingginya kerugian (*losses*) yang terjadi pada putaran mesin tinggi, maka akan meningkatkan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin.

Peningkatan temperatur gas buang dengan menggunakan knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 berteknologi DPF berbahan dasar plat

stainless steel dan 150 gr *glasswool* dapat dilihat pada gambar 126 berikut ini.



Gambar 126. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Dengan Penggunaan Teknologi DPF *Stainless Steel* dan 150 gr *Glasswool*

Dalam penelitian ini, meningkatnya konsumsi bahan bakar dengan penggunaan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* disebabkan karena faktor temperatur dan tekanan balik (*back pressure*). Dari tabel 67 dan gambar 124 serta gambar 126 terlihat bahwa dengan menggunakan teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 akan meningkatkan temperatur gas buang akibat peningkatan tekanan balik di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan knalpot standar. Panas yang tertahan di DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* akan menyebabkan temperatur di dalam ruang bakar mesin meningkat sehingga

mesin akan mengalami kelebihan panas (*overheat*) karena temperatur mencapai 511,67°C.

Selain itu, peningkatan konsumsi bahan bakar disebabkan karena terjadinya peningkatan tekanan balik (*back pressure*) yang terjadi di sistem pembuangan kendaraan yang akan menghambat putaran mesin. Hambatan yang terjadi di sistem pembuangan kendaraan akan menyebabkan mesin kelebihan beban (*overload*) sehingga konsumsi bahan bakar akan menjadi lebih banyak (boros bahan bakar).

Dari hasil uji lapangan utama (*main field testing*) tentang pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar **17,17%**.

Hasil penelitian ini cenderung lebih boros bahan bakar jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Padahal, dari penelitian Warju & Marsudi (2015) disimpulkan bahwa penggunaan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 100 gr *glasswool* dapat mereduksi konsumsi bahan bakar sebesar **3,1-7,9%**. Sedangkan penelitian terbaik tentang teknologi DPF terhadap konsumsi bahan bakar mesin dilakukan oleh Vasanthan (2013) yang mampu mereduksi konsumsi bahan bakar hingga mencapai 12% dengan menggunakan DPF berbahan dasar oksida tembaga (*copper oxide*). Namun, efisiensi thermal mesin mengalami penurunan hingga 12-16%.

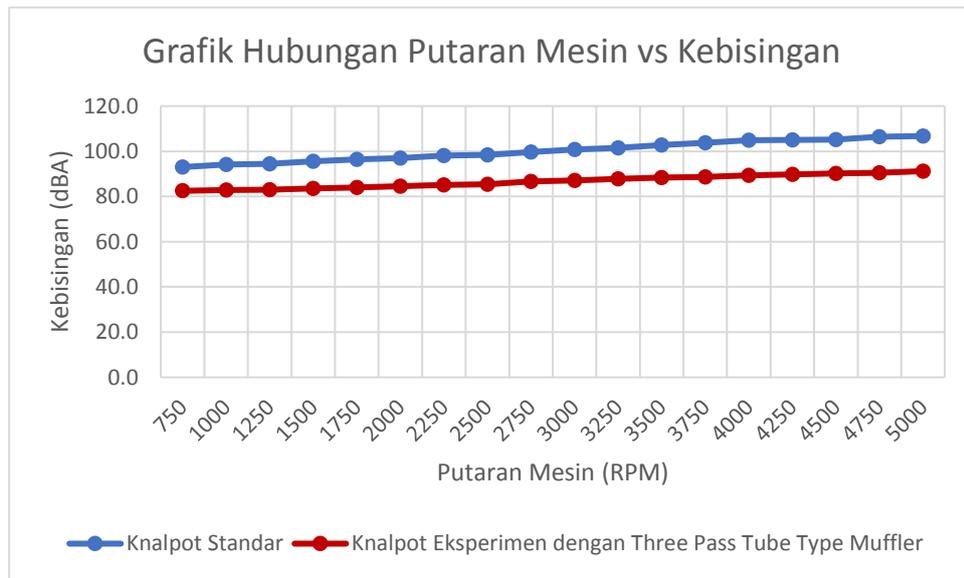
i. Kemampuan Teknologi *Three Pass Tube Type Muffler* Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *three pass tube type muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K di SMK Semen Gresik terhadap reduksi kebisingan kendaraan, dapat dilihat pada tabel 68 berikut ini.

Tabel 68. Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Penggunaan *Three Pass Tube Type Muffler* di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 5K | | | Knalpot Eksperimen dengan <i>Three Pass Tube Type Muffler</i> | | | Reduksi Kebisingan (%) |
|-------------------------------------|--|-----------------|-----------|--|-----------------|-----------|------------------------|
| | Tekanan Balik (kPa) | Temperatur (°C) | SPL (dBA) | Tekanan Balik (kPa) | Temperatur (°C) | SPL (dBA) | |
| 750 | 1,88 | 139,6 | 93,0 | 1,16 | 101,1 | 82,5 | 11,29 |
| 1000 | 2,82 | 167,2 | 94,1 | 1,82 | 101,4 | 82,8 | 12,01 |
| 1250 | 3,30 | 179,2 | 94,4 | 2,88 | 105,1 | 83,0 | 12,08 |
| 1500 | 4,88 | 194,4 | 95,6 | 3,81 | 120,5 | 83,6 | 12,55 |
| 1750 | 5,57 | 200,1 | 96,4 | 4,17 | 147,9 | 84,0 | 12,86 |
| 2000 | 7,78 | 202,8 | 97,0 | 5,68 | 161,3 | 84,5 | 12,27 |
| 2250 | 8,60 | 207,1 | 98,1 | 6,58 | 166,8 | 85,1 | 11,21 |
| 2500 | 10,62 | 210,0 | 98,4 | 8,93 | 168,8 | 85,4 | 14,13 |
| 2750 | 12,00 | 223,1 | 99,6 | 9,26 | 173,0 | 86,7 | 14,26 |
| 3000 | 13,31 | 225,0 | 100,8 | 10,10 | 176,8 | 87,1 | 13,99 |
| 3250 | 13,83 | 225,1 | 101,5 | 11,60 | 177,9 | 87,8 | 13,50 |
| 3500 | 14,31 | 234,0 | 102,8 | 11,90 | 179,3 | 88,4 | 14,01 |
| 3750 | 14,64 | 234,2 | 103,8 | 12,65 | 185,9 | 88,7 | 14,55 |
| 4000 | 15,73 | 242,1 | 104,9 | 13,64 | 186,1 | 89,4 | 14,78 |
| 4250 | 16,70 | 263,1 | 105,0 | 14,45 | 186,8 | 89,8 | 14,48 |
| 4500 | 17,84 | 276,0 | 105,2 | 15,10 | 194,9 | 90,2 | 14,26 |
| 4750 | 18,28 | 276,5 | 106,5 | 15,77 | 196,9 | 90,5 | 15,02 |
| 5000 | 20,36 | 282,0 | 106,7 | 18,60 | 198,5 | 91,2 | 14,53 |
| Rata-rata Reduksi Kebisingan | | | | | | | 13,43 |

Dari data pada tabel 68, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 127.



Gambar 127. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi *Three Pass Tube Type Muffler*

Secara umum, penggunaan teknologi *three pass tube type muffler* pada knalpot eksperimen akan menurunkan kebisingan yang dihasilkan oleh mesin Toyota Kijang tipe 5K secara cukup signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 68 dan gambar 127 di atas.

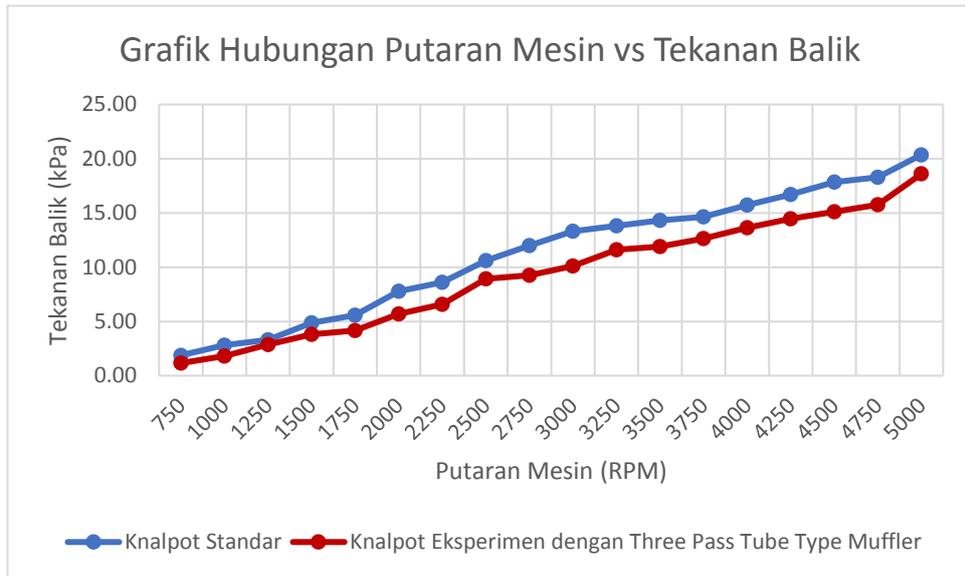
Pada putaran idle mesin (750 rpm), kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 93,0 dBA dengan tekanan balik sebesar 1,88 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan teknologi *three pass tube type muffler* sebesar 82,5 dBA dengan tekanan balik sebesar 1,16 kPa, sehingga pada putaran ini terjadi reduksi kebisingan sebesar 11,29%.

Pada putaran mesin 3000 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 100,8 dBA dengan tekanan balik sebesar 13,31 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan teknologi *three pass tube type muffler* sebesar 87,1 dBA dengan tekanan balik sebesar 10,10 kPa, sehingga pada putaran ini terjadi reduksi kebisingan sebesar 13,99%.

Pada putaran mesin 5000 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 106,7 dBA dengan tekanan balik sebesar 20,36 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan teknologi *three pass tube type muffler* sebesar 91,2 dBA dengan tekanan balik sebesar 18,60 kPa, sehingga pada putaran ini terjadi reduksi kebisingan sebesar 14,53%.

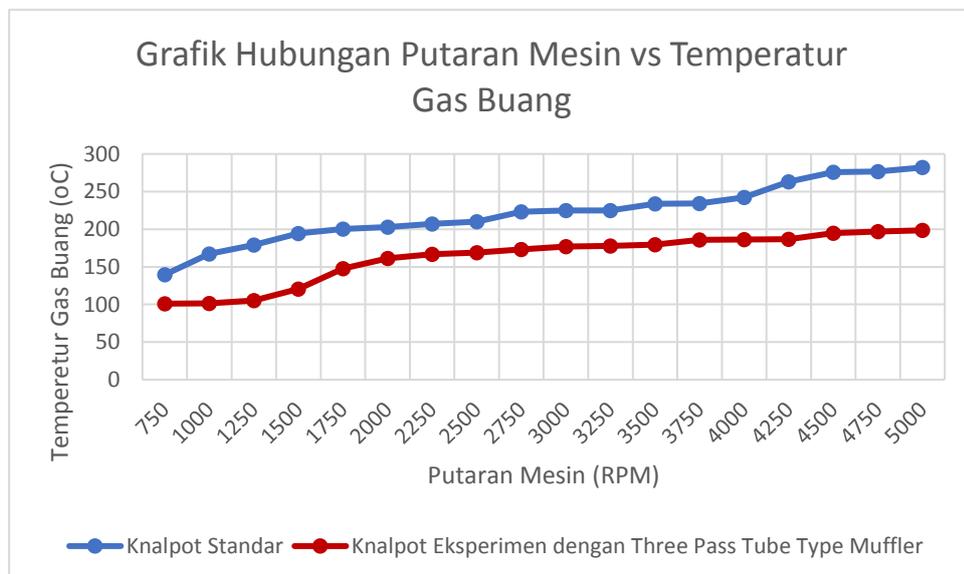
Reduksi kebisingan yang terjadi pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 5K disebabkan karena pemasangan teknologi *three pass tube type muffler* dapat menurunkan tekanan balik dan temperatur gas buang di dalam knalpot karena gas buang dialirkan dari ruang satu menuju ruang tiga dan dari ruang tiga dialirkan kembali ke ruang dua dan ruang satu melalui pipa *perforated* yang ada di dalam *muffler* serta dari ruang satu gas buang dialirkan menuju pipa ekor (*tail pipe*) sehingga sehingga dampaknya mampu mereduksi kebisingan yang dihasilkan.

Penurunan tekanan balik (*back pressure*) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K dengan menggunakan teknologi *three pass tube type muffler* dapat dilihat pada gambar 128 berikut ini.



Gambar 128. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (*Back Pressure*) Dengan Penggunaan Teknologi *Three Pass Tube Type Muffler*

Sedangkan penurunan temperatur gas buang pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K dengan menggunakan teknologi *three pass tube type muffler* dapat dilihat pada gambar 129 berikut ini.



Gambar 129. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Gas Buang Dengan Penggunaan Teknologi *Three Pass Tube Type Muffler*

Dari gambar 128 dan gambar 129 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *three pass tube type muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K cenderung menghasilkan tekanan balik dan temperatur gas buang yang lebih rendah jika dibandingkan dengan knalpot standar secara cukup signifikan. Akibatnya, kebisingan yang dihasilkan pada ujung knalpot eksperimen (*tail pipe*) cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan knalpot standar (lihat gambar 127).

Untuk membandingkan penggunaan knalpot standar dan knalpot eksperimen yang dilengkapi dengan teknologi *three pass tube type muffler* tersebut apakah memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 tahun 2009 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru dapat dilihat pada tabel 69 berikut ini.

Tabel 69. Perbandingan Hasil Uji Kebisingan antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Teknologi *Three Pass Tube Type Muffler*

| Kategori | Ambang Batas (Baku Mutu) Kebisingan (dBA) | Putaran Mesin | Kebisingan Knalpot Standar Toyota Kijang tipe 5K (dBA) | Keterangan | Kebisingan Knalpot Eksperimen Dengan Teknologi <i>Three Pass Tube Type Muffler</i> (dBA) | Keterangan |
|---|---|---------------|--|----------------------------|--|----------------------|
| Kendaraan dengan rata-rata putaran mesin $5.000 < S < 7500$ rpm | 93 | 3750 rpm | 103,8 | Tidak Lulus Uji Kebisingan | 88,7 | Lulus Uji Kebisingan |

Dari tabel 69 di atas dapat dilihat bahwa penggunaan knalpot standar Toyota Kijang tipe 5K tidak lulus uji kebisingan karena menghasilkan

kebisingan di atas ambang batas (baku mutu) kebisingan yang telah ditetapkan, yaitu 103,8 dBA padahal ambang batas (baku mutu) kebisingannya adalah 93 dBA. Dalam penelitian ini, knalpot standar Toyota Kijang tipe 5K menggunakan *muffler* tipe aliran balik (*reverse flow muffler*). Sedangkan penggunaan knalpot eksperimen dengan teknologi *three pass tube type muffler* pada mesin Toyota Kijang tipe 5K dapat memenuhi ambang batas kebisingan (lulus uji kebisingan) karena menghasilkan kebisingan di bawah baku mutu kebisingan, yaitu 88,7 dBA. Namun pada putaran tinggi, khususnya pada putaran 4.500-5.000 rpm, knalpot ini masih menghasilkan kebisingan yang tinggi, yaitu 90,2 -91,2 dBA karena tekanan baliknya masih 15,10-18,60 kPa dan temperatur gas buang yang masih cukup tinggi (194,9-198,5°C).

Dari hasil uji lapangan utama (*main field testing*) tentang pengembangan teknologi *three pass tube type muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa *three pass tube type muffler* dapat mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar **13,43%** atau dapat menurunkan kebisingan antara **10,5-16 dBA** atau **rata-rata 13,51 dBA**.

Hasil reduksi tingkat kebisingan ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Warju, Muliatna, & Dewanto (2009) yang hanya mampu mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar **9,2%** dengan menggunakan *eco-muffler* jenis *three pass tube type muffler*, penelitian Allam (2014) yang hanya mampu menurunkan kebisingan maksimal **6 dBA** dengan

menggunakan *dissipative muffler*, dan penelitian Singh & Shrivastava (2015) yang hanya mampu menurunkan kebisingan mesin rata-rata **10-15 dBA** dengan menggunakan *reflective muffler*.

j. Kemampuan Teknologi *Oil Filter Cleaner* Terhadap Reduksi Limbah Oli

Untuk mengetahui sejauh mana efektivitas penggunaan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik terhadap reduksi limbah oli yang dihasilkan oleh saringan oli bekas (*used oil filter*), dapat dilihat pada tabel 70 berikut ini.

Tabel 70. Reduksi Limbah Oli Dengan Penggunaan Teknologi *Oil Filter Cleaner* Pada Temperatur Air 80°C di SMK Semen Gresik

| Waktu Pembersihan <i>Oil Filter</i> Bekas (menit) | Temperatur Air (°C) | Tekanan Air (kg/cm ²) | Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter) | Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter/jam) | Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter/hari) | Estimasi Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter/bulan) | Estimasi Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter/tahun) |
|---|---------------------|-----------------------------------|--|--|---|---|---|
| 5 | 80 | 0,7 | 0,15 | 7,20 | 57,6 | 1.152 | 21.024 |
| 10 | 80 | 0,7 | 0,40 | 9,60 | 76,8 | 1.536 | 28.032 |
| 15 | 80 | 0,7 | 0,40 | 6,40 | 51,2 | 1.024 | 18.688 |
| 20 | 80 | 0,7 | 0,40 | 4,80 | 38,4 | 768 | 14.016 |

Catatan: Waktu operasi *oil filter cleaner* 8 jam/hari, 5 hari kerja, 365 hari/tahun

Dari tabel 70 di atas dapat dilihat bahwa secara umum dengan menggunakan teknologi *oil filter cleaner* dapat mereduksi limbah oli dari saringan oli bekas (*used oil filter*) yang dihasilkan di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik secara signifikan.

Pertama-tama air panas di bak penampungan air dengan temperatur 80°C yang telah dipanaskan oleh *heater* dipompa dengan tekanan $0,7 \text{ kg/cm}^2$ menuju *nozzle*. Air panas bertekanan dari *nozzle* tersebut dialirkan menuju ke bagian dalam dari elemen saringan oli bekas. Kemudian air panas tersebut mengalir ke bagian samping dari saringan oli bekas setelah melewati elemen penyaring yang biasanya terbuat dari kertas atau plat-plat aluminium. Air panas tersebut akan menekan dan bercampur dengan oli bekas yang menempel di permukaan elemen saringan oli dan mengalir keluar dari bagian samping saringan oli bekas menuju ke bak penampungan oli. Di bak penampungan, limbah oli dan air tersebut akan terpisah akibat perbedaan berat jenis, dimana limbah oli akan berada di atas air karena berat jenisnya lebih rendah daripada air. Untuk mengeluarkan limbah oli di bak penampungan, kita tinggal membuka kran penyalur untuk mengukur volume limbah oli yang dihasilkan dengan menggunakan gelas ukur.

Dari tabel 70 juga dapat dilihat bahwa waktu pembersihan terbaik saringan oli bekas (*used oil filter*) adalah 10 menit dengan temperatur air 80°C dan tekanan air $0,7 \text{ kg/cm}^2$. Di dalam *oil filter cleaner*, terdapat 4 (empat) buah *nozzle* yang dapat membersihkan 4 buah *oil filter* bekas sekaligus sekali operasi. Dalam sekali operasi, setiap *nozzle* akan menyemprotkan air panas (80°C) dengan tekanan $0,7 \text{ kg/cm}^2$ ke dalam *oil filter* bekas yang akan menghasilkan 400 ml (0,40 liter) limbah oli. Artinya dalam satu jam operasi dengan durasi pembersihan *oil filter* bekas selama 10 menit, akan dihasilkan limbah oli sebesar $0,40 \text{ liter} \times 6 \times 4 \text{ nozzle} = 9,60$

liter/jam. Dengan waktu pembersihan saringan oli bekas selama 10 menit akan dihasilkan limbah oli sebesar 9,60 liter/jam, 76,8 liter/hari, estimasi 1.536 liter/bulan, dan estimasi 28.032 liter/tahun.

Dengan waktu pembersihan saringan oli bekas (*used oil filter*) selama 10 menit, akan didapatkan kondisi saringan oli bekas yang lebih bersih (lihat gambar 130) sehingga bisa meminimalisir pencemaran tanah dan air karena *oil filter* bekas biasanya dibuang begitu saja ke tempat sampah tanpa ada perlakuan (*treatment*) di sekolah.



(a)

(b)

Gambar 130. Kondisi Saringan Oli Mesin Bekas (*Used Oil Filter*): (a) Sebelum Pembersihan, (b) Setelah Pembersihan Dengan Menggunakan *Oil Filter Cleaner* Selama 10 Menit Dengan Temperatur Air 80°C dan Tekanan Air 0,7 kg/cm²

Dari hasil uji lapangan utama (*main field testing*) tentang pengembangan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa *oil filter cleaner* dapat mereduksi limbah oli rata-rata sebesar 9,60 liter/jam, 76,8 liter/hari, estimasi 1.536 liter/bulan, dan estimasi 28.032 liter/tahun dengan waktu pembersihan selama 10 menit dengan temperatur air 80°C dan tekanan air 0,7 kg/cm².

5. Revisi Produk Operasional (*Operational Product Revision*)

a. *Metallic Catalytic Converter*

Berdasarkan hasil uji lapangan utama (*main field testing*) disimpulkan bahwa pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi emisi CO, HC, tingkat kebisingan, dan konsumsi bahan bakar masing-masing sebesar 94,46%, 69,78%, 11,71%, dan 4,21%. Bahkan, *metallic catalytic converter* tersebut telah lulus uji emisi berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama. Di samping itu, katalis tembaga (Cu) tersebut mampu meningkatkan kadar emisi CO₂ rata-rata sebesar 20,82%. Namun, pemakaian plat tembaga sebagai *metallic catalytic converter* dalam jangka panjang juga masih menyisakan persoalan. Diantaranya: (1) tembaga merupakan logam transisi dimana pada temperatur tinggi (423°C) akan menyebabkan katalis ini juga cenderung mudah lumer, dan (2) katalis tembaga tidak tahan pada suhu tinggi dalam jangka waktu yang lama, ditandai dengan perubahan warna dari kemerahan menjadi merah kehitaman.

Oleh karena itu, pada tahap uji lapangan operasional (*operational field testing*) perlu dicarikan alternatif logam transisi yang lain sebagai katalis untuk menggantikan logam tembaga ini. Pilihan logam transisi yang dipilih adalah tembaga berlapis krom (Cu+Cr). Tembaga (Cu) dan krom (Cr) kedua-duanya termasuk logam katalis transisi. Hal ini diperkuat oleh

pendapat Obert (1973: 381) yang menyatakan bahwa sejumlah bahan katalis yang diketahui sangat efektif untuk reaksi oksidasi adalah platinum, plutonium, palladium (logam-logam mulia); **tembaga**, vanadium, besi, cobalt, nikel, mangan, **chrom** dan oksidanya. Selain itu, Dowden (1970) dalam bukunya “*Catalytic Hand Book*” juga menyatakan bahwa beberapa logam yang diketahui efektif sebagai katalis oksidasi dan reduksi dari yang besar sampai yang kecil adalah Pt, Pd, Ru > Mn, **Cu** > Ni > Fe > **Cr** > Zn dan oksida dari logam-logam tersebut.

Krom merupakan logam tahan korosi (tahan karat) dan dapat dipoles menjadi mengkilat. Dengan sifat ini, krom banyak digunakan sebagai pelapis pada komponen kendaraan, seperti knalpot.

Metallic catalytic converter berbahan dasar plat tembaga berlapis krom yang dikembangkan dalam invensi ini pada dasarnya dibuat dengan cara yang sama seperti pembuatan *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan dan plat tembaga. Bedanya, plat tembaga tersebut setelah dipotong dan dibentuk dengan tinggi lekukan 22 mm kemudian dilapisi dengan krom dengan proses *electroplating*.

Desain dan bentuk *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom dengan tinggi lekukan 2 mm yang akan diterapkan di SMK Semen Gresik dalam tahap uji lapangan operasional (*operational field testing*) seperti nampak pada gambar 131 berikut ini.



Gambar 131. *Metallic Catalytic Converter* Berbahan Dasar Plat Tembaga Berlapis Krom Dengan Tinggi Lekukan 2 mm

b. Diesel Particulate Filter (DPF)

Berdasarkan hasil uji lapangan utama (*main field testing*) disimpulkan bahwa pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat mereduksi opasitas gas buang dan tingkat kebisingan masing-masing sebesar 86,01% dan 4,98%. Bahkan, penggunaan DPF ini mampu memenuhi ambang batas opasitas gas buang sesuai dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama. Namun, penggunaan *glasswool* sebesar 150 gr di DPF (batas maksimal) sebagai material penyerap opasitas gas buang (emisi partikulat) sekaligus penyerap tekanan gas buang justru berdampak negatif terhadap performa mesin. Diantaranya adalah; (1) mesin mengalami kelebihan panas (*overheat*) karena temperatur gas buang mencapai 511,67°C, (2) meningkatnya tekanan balik (*back pressure*) pada DPF hingga mencapai 25% sehingga akan menghambat akselerasi putaran mesin

khususnya pada putaran mesin menengah dan putaran mesin tinggi, dan (3) konsumsi bahan bakar mesin cenderung meningkat hingga mencapai 17,17% (lebih boros bahan bakar).

Oleh karena itu, pada tahap uji lapangan operasional (*operational field testing*) perlu mengurangi jumlah *glasswool* yang akan dimasukkan ke dalam DPF dari 150 gr menjadi 130 gr. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan reduksi opasitas gas buang, kebisingan kendaraan, dan konsumsi bahan bakar secara signifikan di setiap putaran mesin.

Glasswool sebanyak 130 gr merupakan *glasswool* yang cukup padat yang bisa dimasukkan ke dalam DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dengan diameter cell 10 mm (lihat gambar 132).



Gambar 132. *Diesel Particulate Filter* (DPF) Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 130 gr *Glasswool*

c. *Eco-Muffler*

Berdasarkan hasil uji lapangan utama (*main field testing*) disimpulkan bahwa penggunaan knalpot eksperimen dengan teknologi *three pass tube type muffler* pada mesin Toyota Kijang tipe 5K di SMK Semen Gresik

terbukti mampu mereduksi kebisingan rata-rata sebesar 13,43%. Bahkan, penggunaan *muffler* tipe ini mampu memenuhi ambang batas kebisingan (lulus uji kebisingan) berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2009 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru karena menghasilkan kebisingan di bawah baku mutu kebisingan yang telah ditetapkan, yaitu 88,7 dBA. Namun pada putaran tinggi, khususnya pada putaran 4.500-5.000 rpm, knalpot ini masih menghasilkan kebisingan yang besar, yaitu 90,2 -91,2 dBA karena tekanan baliknya masih 15,10-18,60 kPa dan temperatur gas buang yang masih cukup tinggi (194,9-198,5°C). Sedangkan kategori tingkat kebisingan dengan hasil pengukuran kebisingan sebesar 90,2-91,2 dBA yaitu amat sangat bising dengan waktu kontak yang diijinkan < 5 jam (lihat tabel 4 di kajian pustaka).

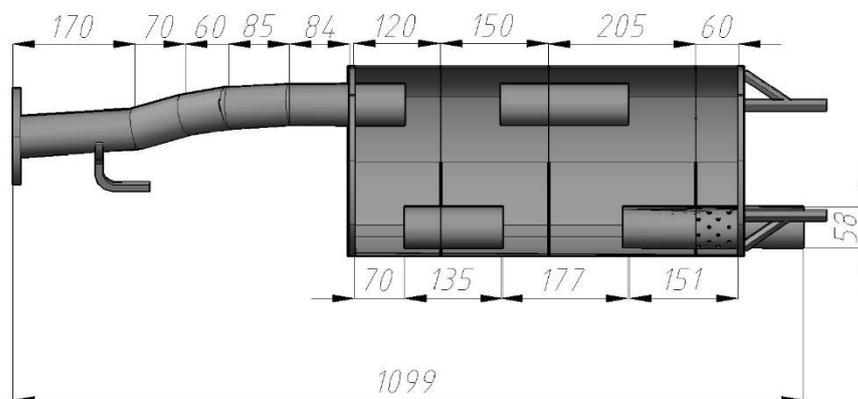
Oleh karena itu, pada tahap uji lapangan operasional (*operational field testing*) perlu dicarikan alternatif jenis *eco-muffler* yang lain yang dapat mereduksi kebisingan kendaraan secara signifikan, baik pada putaran mesin rendah, putaran mesin menengah, maupun putaran mesin tinggi. Alternatif tipe *muffler* yang dipilih adalah *muffler* tipe tabung *off-set* (*off-set tube type muffler*). Mengapa? *Muffler* jenis ini secara teori memiliki peredaman kebisingan yang paling baik diberbagai putaran mesin jika dibandingkan dengan tipe *muffler* yang lain.

Dari sisi tingkat kebisingan, diperkirakan desain *off-set tube type muffler* memiliki tingkat kebisingan yang jauh lebih rendah jika

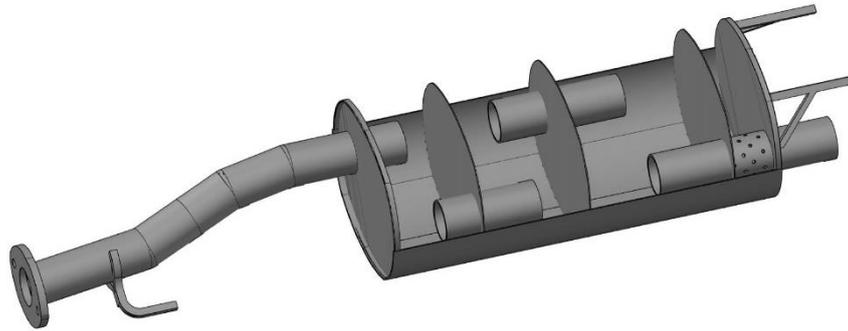
dibandingkan dengan jenis *straight-through type muffler* dan *three pass tube type muffler*. Hal ini disebabkan karena adanya sejumlah sekat (*baffle*) dan ruangan yang cukup besar sebagai tempat penurunan tekanan dan temperatur gas buang di dalam *muffler*. Oleh karena itu, diharapkan kebisingan yang dihasilkan oleh mesin Toyota Kijang Tipe 5K di SMK Semen Gresik jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan knalpot (*muffler*) standar.

Pipa yang terdapat di dalam *off-set tube type muffler* dilubangi hanya pada bagian pipa paling belakang saja sebagai resonator dengan ukuran 5 mm tiap lubangnya dengan jarak antar lubang 10 mm. Lubang-lubang tersebut berfungsi sebagai tempat laluan gas buang menuju ruang ke empat di dalam *muffler*, sehingga terjadi proses pendinginan secara bertahap pada gas buang. Hal ini yang akan menyebabkan tekanan dan temperatur gas buang di dalam *muffler* mengalami penurunan.

Desain dan potongan penampang *off-set tube type muffler* dapat dilihat pada gambar 133 dan gambar 134 berikut ini.



Gambar 133. Desain *Off-Set Tube Type Muffler*



Gambar 134. Potongan Penampang *Off-Set Tube Type Muffler*

d. *Oil Filter Cleaner*

Berdasarkan hasil uji lapangan utama (*main field testing*) disimpulkan bahwa pengembangan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik dapat mereduksi limbah oli rata-rata sebesar 9,60 liter/jam, 76,8 liter/hari, estimasi 1.536 liter/bulan, dan estimasi 28.032 liter/tahun dengan waktu pembersihan selama 10 menit dengan temperatur air 80°C dan tekanan air 0,7 kg/cm². Namun, penggunaan *heater* dengan daya 500 Watt untuk menghasilkan air dengan temperatur 80°C sebagai media pembersihan akan berdampak pada hasil pembersihan *oil filter* bekas yang kurang maksimal (kurang bersih).

Oleh karena itu, pada tahap uji lapangan operasional (*operational field testing*) perlu menaikkan temperatur air pada *oil filter cleaner* menjadi 85°C dengan cara mengatur temperatur di *electronic temperature controller* (ECT). Harapannya, pembersihan *oil filter* bekas akan lebih maksimal lagi untuk mereduksi limbah oli yang dihasilkan dan konsumsi listrik akan

menurun sehingga akan menekan biaya operasional namun tetap efektif membersihkan saringan oli mesin bekas (*used oil filter*).



Gambar 135. Mengatur *Electronic Temperature Controller* Pada Temperatur 85°C

6. Analisis dan Pembahasan Hasil Uji Lapangan Operasional (*Operational Field Testing*)

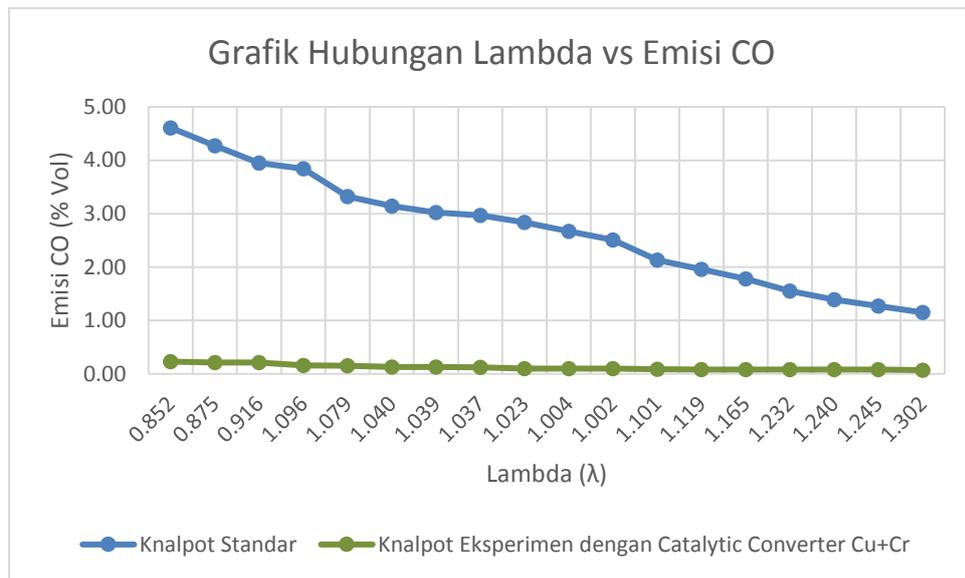
a. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom Terhadap Reduksi Emisi Karbon Monoksida (CO)

Untuk mengetahui seberapa besar persentase reduksi emisi CO pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr), dapat dilihat pada tabel 71.

Tabel 71. Reduksi Emisi CO Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K | | | Knalpot Eksperimen Dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) | | | Reduksi Emisi CO (%) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|------------|--|----------------------------|------------|----------------------|
| | Lambda (λ) | Temperatur ($^{\circ}$ C) | CO (% Vol) | Lambda (λ) | Temperatur ($^{\circ}$ C) | CO (% Vol) | |
| 750 | 0,606 | 107 | 4,61 | 0,852 | 153 | 0,23 | 95,01 |
| 1000 | 0,775 | 119 | 4,27 | 0,875 | 165 | 0,21 | 95,08 |
| 1250 | 0,805 | 137 | 3,95 | 0,916 | 188 | 0,21 | 94,68 |
| 1500 | 0,872 | 155 | 3,84 | 1,096 | 206 | 0,16 | 95,83 |
| 1750 | 0,878 | 171 | 3,32 | 1,079 | 270 | 0,15 | 95,48 |
| 2000 | 0,890 | 198 | 3,14 | 1,040 | 336 | 0,13 | 95,86 |
| 2250 | 0,918 | 203 | 3,02 | 1,039 | 349 | 0,13 | 95,70 |
| 2500 | 0,928 | 218 | 2,97 | 1,037 | 372 | 0,12 | 95,96 |
| 2750 | 0,976 | 245 | 2,84 | 1,023 | 374 | 0,10 | 96,48 |
| 3000 | 0,981 | 257 | 2,67 | 1,004 | 375 | 0,10 | 96,25 |
| 3250 | 1,100 | 285 | 2,51 | 1,002 | 388 | 0,10 | 96,02 |
| 3500 | 1,372 | 297 | 2,13 | 1,101 | 390 | 0,09 | 95,77 |
| 3750 | 1,404 | 304 | 1,96 | 1,119 | 405 | 0,08 | 95,92 |
| 4000 | 1,410 | 309 | 1,78 | 1,165 | 419 | 0,08 | 95,51 |
| 4250 | 1,412 | 311 | 1,55 | 1,232 | 425 | 0,08 | 94,84 |
| 4500 | 1,424 | 317 | 1,39 | 1,240 | 450 | 0,08 | 94,24 |
| 4750 | 1,429 | 346 | 1,27 | 1,245 | 465 | 0,08 | 93,70 |
| 5000 | 1,449 | 354 | 1,15 | 1,302 | 472 | 0,07 | 93,91 |
| Rata-rata Reduksi Emisi CO | | | | | | | 95,35 |

Dari data pada tabel 71, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 136 berikut ini.



Gambar 136. Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi CO Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr)

Secara umum, penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi kadar emisi CO yang dihasilkan oleh kendaraan secara signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 71 dan gambar 136 di atas. Berdasarkan hasil eksperimen, trend grafik emisi CO yang dihasilkan sesuai dengan trend grafik emisi CO di kajian pustaka (lihat gambar 5).

Pada putaran rendah (\pm 750-2000 rpm), proses pembakaran yang terjadi pada ruang bakar cenderung kurang sempurna. Hal ini disebabkan campuran udara dan bahan bakar cenderung kaya (*rich mixture*) sehingga kekurangan oksigen (O_2). Oleh sebab itu, lambda (λ) yang dihasilkan cenderung kecil, besarnya di bawah angka 1. "Lambda (λ) sendiri merupakan

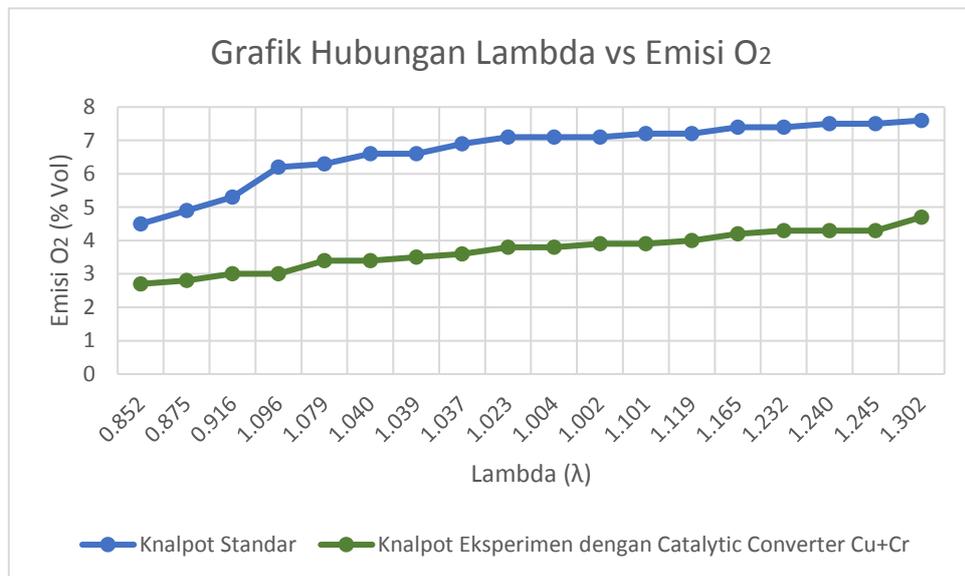
perbandingan antara kebutuhan udara secara aktual dibandingkan dengan kebutuhan udara secara teori (14,7:1)” (Swisscontact, 2001: 4). Nilai lambda yang kecil akan mengakibatkan kadar emisi CO yang dihasilkan oleh mesin cenderung tinggi (lihat gambar 136). Pada putaran menengah (± 2250 -3250 rpm), campuran udara dan bahan bakar cenderung naik sehingga nilai lambda (λ) mendekati campuran *stoichiometric* ($\lambda=1$). Hal ini mengakibatkan kadar emisi CO yang dihasilkan mesin cenderung menurun (lihat gambar 136). Sedangkan pada putaran tinggi (± 3500 -5.000 rpm), campuran udara dan bahan bakar cenderung semakin miskin (*lean mixture*), sehingga pembakaran menjadi kurang sempurna. Hal ini ditandai dengan tingginya nilai lambda (λ) yang besarnya mencapai angka 1,3. Dampaknya, pembakaran menjadi kurang sempurna namun kelebihan oksigen (O_2) yang mengakibatkan kadar emisi CO yang dihasilkan oleh mesin semakin menurun (lihat gambar 136). Semakin menurunnya kadar emisi CO pada putaran tinggi tersebut disebabkan karena semakin banyaknya konsentrasi oksigen (O_2) dalam campuran udara dan bahan bakar, sehingga mampu mengoksidasi emisi CO menjadi CO_2 .

Untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi oksigen (O_2) dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K jika dibandingkan dengan knalpot standar, dapat dilihat pada tabel 72 berikut ini.

Tabel 72. Reduksi Emisi O₂ Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K | | | Knalpot Eksperimen Dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom(Cu+Cr) | | | Reduksi Emisi O ₂ (%) |
|--|---------------------------------------|-----------------|------------------------|---|-----------------|------------------------|----------------------------------|
| | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | O ₂ (% Vol) | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | O ₂ (% Vol) | |
| 750 | 0,606 | 107 | 4,5 | 0,852 | 153 | 2,7 | 40,00 |
| 1000 | 0,775 | 119 | 4,9 | 0,875 | 165 | 2,8 | 42,86 |
| 1250 | 0,805 | 137 | 5,3 | 0,916 | 188 | 3,0 | 43,40 |
| 1500 | 0,872 | 155 | 6,2 | 1,096 | 206 | 3,0 | 51,61 |
| 1750 | 0,878 | 171 | 6,3 | 1,079 | 270 | 3,4 | 46,03 |
| 2000 | 0,890 | 198 | 6,6 | 1,040 | 336 | 3,4 | 48,48 |
| 2250 | 0,918 | 203 | 6,6 | 1,039 | 349 | 3,5 | 46,97 |
| 2500 | 0,928 | 218 | 6,9 | 1,037 | 372 | 3,6 | 47,83 |
| 2750 | 0,976 | 245 | 7,1 | 1,023 | 374 | 3,8 | 46,48 |
| 3000 | 0,981 | 257 | 7,1 | 1,004 | 375 | 3,8 | 46,48 |
| 3250 | 1,100 | 285 | 7,1 | 1,002 | 388 | 3,9 | 45,07 |
| 3500 | 1,372 | 297 | 7,2 | 1,101 | 390 | 3,9 | 45,83 |
| 3750 | 1,404 | 304 | 7,2 | 1,119 | 405 | 4,0 | 44,44 |
| 4000 | 1,410 | 309 | 7,4 | 1,165 | 419 | 4,2 | 43,24 |
| 4250 | 1,412 | 311 | 7,4 | 1,232 | 425 | 4,3 | 41,89 |
| 4500 | 1,424 | 317 | 7,5 | 1,240 | 450 | 4,3 | 42,67 |
| 4750 | 1,429 | 346 | 7,5 | 1,245 | 465 | 4,3 | 42,67 |
| 5000 | 1,449 | 354 | 7,6 | 1,302 | 472 | 4,7 | 38,16 |
| Rata-rata Reduksi Emisi O₂ | | | | | | | 44,67 |

Dari data pada tabel 72, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 137 berikut ini.



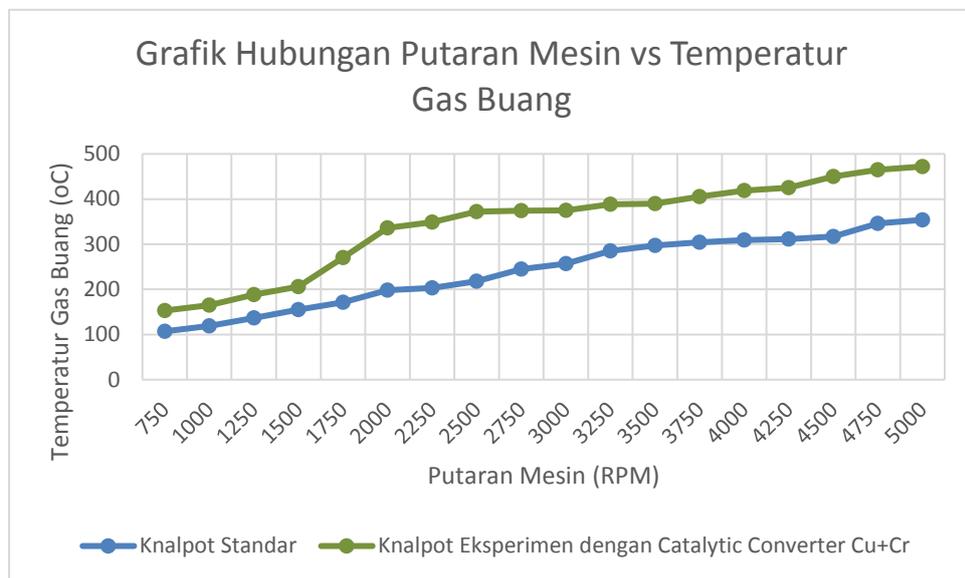
Gambar 137. Hubungan Lambda Terhadap Emisi O₂ Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr)

Dari gambar 137 dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai lambda (λ) akan menyebabkan semakin besarnya konsentrasi O₂ yang dihasilkan oleh emisi gas buang kendaraan. Dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom, konsentrasi oksigen (O₂) yang terbuang bersama gas buang tersebut akan digunakan untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂. Akibatnya, konsentrasi O₂ pada knalpot eksperimen akan jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan knalpot standar.

Selain itu, reduksi emisi CO secara signifikan dengan penggunaan *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K juga disebabkan oleh temperatur gas buang yang semakin tinggi sehingga mencapai suhu kerja

katalis ($> 300^{\circ}\text{C}$) untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO_2 . Peningkatan temperatur gas buang dengan penggunaan *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 7K dapat dilihat pada tabel 72.

Dari data pada tabel 72, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 138 berikut ini.



Gambar 138. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Gas Buang Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr)

Dari gambar 138 dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran mesin akan menyebabkan semakin tingginya temperatur gas buang. Dengan penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat meningkatkan temperatur gas buang sehingga akan mempercepat suhu kerja katalis untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO_2 .

Pada putaran mesin 750-2000 rpm dan pada lambda kurang dari 1 ($\lambda < 1$), mengindikasikan campuran yang kelebihan bahan bakar. Sehingga pada proses pembakaran akan kekurangan oksigen dan pembakaran menghasilkan emisi CO dan O₂ yang sedikit. Hal ini dapat dilihat pada tabel 72 dan gambar 136 serta gambar 137 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,606 – 0,890 dan temperatur gas buang 107°C – 198°C, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 4,61% Vol – 3,14% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 4,5% Vol – 6,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga berlapis krom dengan lambda 0,852 – 1,040 dan temperatur gas buang 153°C – 336°C, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 0,23% Vol – 0,13% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 2,7% Vol – 3,4% Vol. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih sedikit menghasilkan emisi CO dan O₂ dengan cara katalis tembaga berlapis krom memanfaatkan konsentrasi O₂ yang terbuang bersama gas buang untuk proses oksidasi emisi CO menjadi CO₂. Sedangkan kenaikan temperatur pada knalpot eksperimen akan mempercepat laju reaksi katalis untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂.

Pada putaran mesin 2250-3250 rpm dan pada lambda sama dengan satu ($\lambda = 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang *stoichiometri*, artinya kebutuhan udara dan bahan bakar yang seimbang (ideal), sehingga setiap molekul udara (O₂) dapat terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar bensin (C₈H₁₈). Dengan demikian, pada $\lambda = 1$ akan

menghasilkan emisi CO yang semakin sedikit. Hal ini dapat dilihat pada tabel 72 dan gambar 136 serta gambar 137. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,918 – 1,100 dan temperatur gas buang 203°C – 285°C, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 3,02% Vol – 2,51% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 6,6% Vol – 7,1% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga berlapis krom dengan lambda 1,039 – 1,002 dan temperatur gas buang 349°C – 388°C, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 0,13% Vol – 0,10% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 3,5% Vol – 3,9% Vol. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih sedikit menghasilkan emisi CO dan O₂ dengan cara katalis tembaga berlapis krom memanfaatkan konsentrasi O₂ yang terbuang bersama gas buang untuk proses oksidasi emisi CO menjadi CO₂. Kenaikan temperatur pada knalpot eksperimen hingga mencapai 388°C akan mempercepat laju reaksi katalis untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂, dimana pada suhu ini merupakan suhu kerja dari katalis.

Pada putaran mesin 3500-5.000 rpm dan pada lambda lebih dari satu ($\lambda > 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang kelebihan udara, artinya suplai udara terlalu banyak, sehingga setiap molekul udara (O₂) terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar bensin (C₈H₁₈) bahkan lebih. Hal ini dapat dilihat pada tabel 72 dan gambar 136 serta gambar 137. Untuk knalpot standar dengan lambda 1,372 – 1,449 dan temperatur gas buang 297°C-354°C, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 2,13% Vol –

1,15% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 7,2% Vol – 7,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga berlapis krom dengan lambda 1,101 – 1,302 dan temperatur gas buang 390°C – 472°C, dihasilkan kadar emisi CO mulai dari 0,09% Vol – 0,07% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 3,9% Vol – 4,7% Vol. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih sedikit menghasilkan emisi CO dan O₂ dengan cara katalis tembaga berlapis krom memanfaatkan konsentrasi O₂ yang terbang bersama gas buang untuk proses oksidasi emisi CO menjadi CO₂. Kenaikan temperatur pada knalpot eksperimen hingga mencapai 472°C akan mempercepat laju reaksi katalis untuk mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂, dimana pada suhu ini merupakan suhu kerja optimal dari katalis. Nilai lambda yang semakin besar menunjukkan campuran miskin atau kelebihan udara sehingga proses oksidasi emisi CO menjadi CO₂ akan lebih cepat tercapai pada putaran tinggi.

Dari gambar 136 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi emisi CO secara signifikan di setiap putaran mesin. Dengan aktif metal katalis berbentuk plat yang didesain menjadi sarang lebah logam (*metallic honeycomb*), didapatkan luas permukaan efektif katalis yang optimal yang akhirnya mampu menurunkan konsentrasi emisi CO secara signifikan di setiap putaran mesin. Luas permukaan katalis tembaga berlapis krom yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat tembaga berlapis krom ukuran 12 cm x 120 cm x 12 lembar x 2 sisi = $34.560 \text{ cm}^2 = 245,6 \text{ m}^2$.

Hal ini sesuai dengan pendapat Berzelius (1835) yang menyatakan bahwa reaksi katalitik pada katalis padat terjadi pada permukaan katalis, dan semakin luas permukaan katalis semakin cepat laju reaksinya, sehingga konsentrasi produk CO yang dihasilkan semakin rendah. Tingginya reduksi kadar emisi CO yang dihasilkan mesin, selain disebabkan oleh semakin luasnya permukaan efektif katalis yang bersinggungan langsung dengan gas buang, juga dipengaruhi oleh faktor temperatur. Temperatur yang lebih rendah (mencapai 336°C) akan menyebabkan turunnya energi aktivasi sehingga proses oksidasi dari $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$ menjadi lebih cepat tercapai (lihat gambar 85). Akibatnya, terjadi reduksi konsentrasi emisi CO yang sangat signifikan di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan knalpot standar.

Sebenarnya emisi CO tersebut dapat berubah menjadi CO₂ dengan cara bereaksi dengan O₂ atau NO_x tetapi membutuhkan temperatur yang lebih tinggi, yaitu 700°C. Dalam penelitian ini, temperatur optimal katalis dicapai pada temperatur yang lebih rendah, yaitu 374°C.

Untuk membandingkan knalpot standar dengan knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K yang telah dilengkapi dengan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) tersebut apakah memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama dapat dilihat pada tabel 73 berikut ini.

Tabel 73. Perbandingan Hasil Uji Emisi CO antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Berteknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom

| Kategori | Tahun Pembuatan | CO (%) | Metode Uji | Emisi CO Knalpot Standar Toyota Kijang tipe 7K (%) | Keterangan | Emisi CO Knalpot Eksperimen Dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) (%) | Keterangan |
|---|-----------------|--------|------------|--|-----------------------|---|-----------------|
| Mobil berpenggerak motor bakar cetus api (bensin) | < 2007 | 4,5 | Idle | 4,61 | Tidak Lulus Uji Emisi | 0,23 | Lulus Uji Emisi |

Dari tabel 73 di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat menurunkan kadar emisi CO secara signifikan dibandingkan dengan knalpot standar. Bahkan penggunaan katalis tembaga berlapis krom (Cu+Cr) tersebut dapat mereduksi kadar emisi CO di bawah ambang batas emisi yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Dapat dikatakan bahwa penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat mendukung program langit biru (*blue sky program*) dan program sekolah adiwiyata (*green school program*) yang telah dicanangkan oleh pemerintah Indonesia. Selain itu, teknologi ini juga akan mendukung salah satu dari 17 tujuan pembangunan berkelanjutan (*the seventeen sustainable development goals*),

yaitu tujuan global ke-13: melaksanakan aksi nyata untuk mengatasi perubahan iklim dan dampaknya (*take urgent action to combate climate change and its impacts*) karena teknologi ini terbukti mampu mereduksi konsentrasi emisi CO secara sangat signifikan di sekolah.

Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa rata-rata reduksi emisi CO sebesar **95,35%**. *Metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) efektif sebagai katalisator pada reaksi oksidasi CO ($\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$) pada lambda (λ) 1,023 dan temperatur 374°C dengan reduksi emisi CO tertinggi sebesar 96,48%.

Hasil penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Amin, Chavda & Gadhia (2013) yang hanya mampu mereduksi emisi CO rata-rata sebesar **30%** dengan menggunakan *catalytic converter* berbahan dasar *wiremesh* yang dilapisi dengan tembaga (Cu), penelitian Warju & Muliatna (2015) yang hanya mampu mereduksi emisi CO rata-rata sebesar **14,23%-46,30%** dengan menggunakan *metallic catalytic converter* tembaga (Cu), penelitian Nisa et al. (2016) yang hanya mampu mereduksi emisi CO rata-rata sebesar **46,61%** dengan menggunakan *catalytic converter* pipa tembaga (Cu), penelitian Mahadeven & Sendilvelan (2017) yang hanya mampu mereduksi emisi CO rata-rata **60%** dengan menggunakan *dynamic catalytic converter system* (DCCS), dan penelitian

Kumar, Singh, and Kaur (2017) yang hanya mampu mereduksi emisi CO rata-rata sebesar **48%** dengan menggunakan *catalytic converter* berbahan dasar *wiremesh* yang dilapisi dengan Zirconium Oxide (ZrO) dan Cobalt Oxide (CoO).

Sekedar diketahui bahwa pengujian emisi CO pada kendaraan bermotor tipe baru sudah menggunakan *Euro II Emission Standard* yang berpedoman pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 04 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru dengan standar emisi CO sebesar 2,2-5,0 gram/km dengan metode uji ECE R 83 – 04.

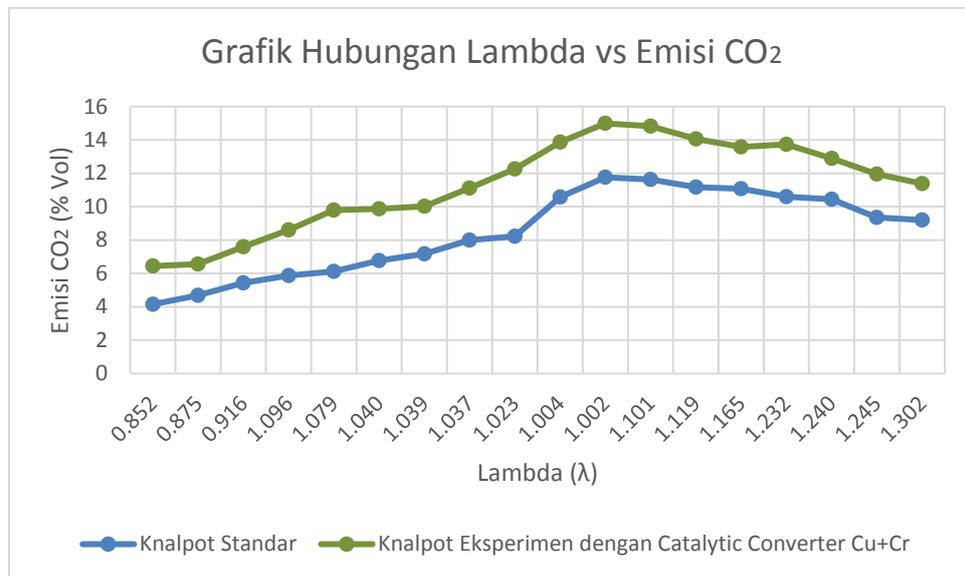
b. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom Terhadap Peningkatan Emisi Karbondioksida (CO₂)

Untuk mengetahui seberapa besar persentase peningkatan emisi CO₂ dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel 74 berikut ini.

Tabel 74. Peningkatan Emisi CO₂ Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K | | | Knalpot Eksperimen Dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) | | | Peningkatan Emisi CO ₂ (%) |
|---|---------------------------------------|-----------------|-------------------------|--|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|
| | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | CO ₂ (% Vol) | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | CO ₂ (% Vol) | |
| 750 | 0,606 | 107 | 4,15 | 0,852 | 153 | 6,44 | 35,56 |
| 1000 | 0,775 | 119 | 4,68 | 0,875 | 165 | 6,57 | 28,77 |
| 1250 | 0,805 | 137 | 5,43 | 0,916 | 188 | 7,59 | 28,46 |
| 1500 | 0,872 | 155 | 5,87 | 1,096 | 206 | 8,60 | 31,74 |
| 1750 | 0,878 | 171 | 6,12 | 1,079 | 270 | 9,80 | 37,55 |
| 2000 | 0,890 | 198 | 6,78 | 1,040 | 336 | 9,87 | 31,31 |
| 2250 | 0,918 | 203 | 7,18 | 1,039 | 349 | 10,02 | 28,34 |
| 2500 | 0,928 | 218 | 7,99 | 1,037 | 372 | 11,12 | 28,15 |
| 2750 | 0,976 | 245 | 8,23 | 1,023 | 374 | 12,26 | 32,87 |
| 3000 | 0,981 | 257 | 10,58 | 1,004 | 375 | 13,87 | 23,72 |
| 3250 | 1,100 | 285 | 11,76 | 1,002 | 388 | 14,99 | 21,55 |
| 3500 | 1,372 | 297 | 11,63 | 1,101 | 390 | 14,83 | 21,58 |
| 3750 | 1,404 | 304 | 11,18 | 1,119 | 405 | 14,06 | 20,48 |
| 4000 | 1,410 | 309 | 11,07 | 1,165 | 419 | 13,59 | 18,54 |
| 4250 | 1,412 | 311 | 10,60 | 1,232 | 425 | 13,74 | 22,85 |
| 4500 | 1,424 | 317 | 10,45 | 1,240 | 450 | 12,89 | 18,93 |
| 4750 | 1,429 | 346 | 9,36 | 1,245 | 465 | 11,96 | 21,74 |
| 5000 | 1,449 | 354 | 9,21 | 1,302 | 472 | 11,38 | 19,07 |
| Rata-rata Peningkatan Emisi CO₂ | | | | | | | 26,18 |

Dari data pada tabel 74, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 139 berikut ini.



Gambar 139. Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi CO₂ Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr)

Secara umum, penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen dapat meningkatkan kadar emisi karbondioksida (CO₂) yang dihasilkan oleh emisi gas buang mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik. Hal ini dapat dilihat pada tabel 74 dan gambar 139 di atas. Berdasarkan hasil eksperimen, trend grafik emisi CO₂ yang dihasilkan sesuai dengan trend grafik emisi CO₂ di kajian pustaka (lihat gambar 8).

Peningkatan kadar emisi CO₂ tergantung pada nilai lambda, temperatur gas buang, dan putaran mesin. Lambda dapat mempengaruhi kadar emisi CO₂ karena nilai lambda menunjukkan kondisi campuran udara-bahan bakar yang sesungguhnya. Sedangkan temperatur

menunjukkan suhu kerja katalis untuk dapat melakukan proses oksidasi emisi gas buang.

Pada putaran mesin 750-2000 rpm dan pada lambda kurang dari 1 ($\lambda < 1$), mengindikasikan campuran yang kelebihan bahan bakar. Sehingga pada proses pembakaran akan kekurangan oksigen dan pembakaran menghasilkan emisi CO₂ yang sedikit. Hal ini dapat dilihat pada tabel 74 dan gambar 139 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,606 – 0,890 dan temperatur gas buang 107°C – 198°C, dihasilkan kadar emisi CO₂ mulai dari 4,15% Vol – 6,78% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 4,5% Vol – 6,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga berlapis krom dengan lambda 0,852 – 1,040 dan temperatur gas buang 153°C – 336°C, dihasilkan kadar emisi CO₂ mulai dari 6,44% Vol – 9,87% Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 2,7% Vol – 3,4% Vol. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih banyak menghasilkan emisi CO₂ karena adanya katalis tembaga berlapis krom didalamnya sebagai akibat oksidasi emisi CO menjadi CO₂ dengan oksigen (O₂) yang terbuang bersama gas buang. Namun, kadar emisi CO₂ yang dihasilkan masih rendah karena katalis masih bekerja pada campuran yang kaya ($\lambda < 1$) dan temperatur kerja katalis belum tercapai (baru mencapai suhu 336°C).

Pada putaran mesin 2250-3250 rpm dan pada lambda sama dengan satu ($\lambda = 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang *stoichiometri*, artinya kebutuhan udara dan bahan bakar yang seimbang

(ideal), sehingga setiap molekul udara (O_2) dapat terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar bensin (C_8H_{18}). Dengan demikian, pada $\lambda=1$ akan menghasilkan emisi CO_2 yang semakin banyak. Hal ini dapat dilihat pada tabel 74 dan gambar 139. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,918 – 1,100 dan temperatur gas buang $203^\circ C - 285^\circ C$, dihasilkan kadar emisi CO_2 mulai dari 7,18% Vol – 11,76% Vol dan dihasilkan emisi O_2 mulai dari 6,6% Vol – 7,1% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga berlapis krom dengan lambda 1,039 – 1,002 dan temperatur gas buang $349^\circ C - 388^\circ C$, dihasilkan kadar emisi CO_2 mulai dari 10,02% Vol – 14,99% Vol dan dihasilkan emisi O_2 mulai dari 3,5% Vol – 3,9% Vol. Pada putaran mesin 3250 rpm, baik knalpot standar maupun knalpot eksperimen yang dilengkapi dengan katalis plat tembaga berlapis krom, dihasilkan peningkatan emisi CO_2 tertinggi karena lambda pada putaran tersebut telah mencapai angka 1. Artinya, campuran udara dan bahan bakar menjadi ideal (*stoichiometric*) sehingga pembakaran akan berlangsung sempurna yang akan menghasilkan kadar emisi CO terendah dan CO_2 tertinggi. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih banyak menghasilkan emisi CO_2 karena adanya katalis tembaga berlapis krom didalamnya dan telah mencapai suhu kerja optimal katalis ($388^\circ C$) untuk proses reaksi oksidasi emisi CO menjadi CO_2 .

Pada putaran mesin 3500-5.000 rpm dan pada lambda lebih dari satu ($\lambda > 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang kelebihan

udara, artinya suplai udara terlalu banyak, sehingga setiap molekul udara (O_2) terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar (C_8H_{18}) bahkan lebih. Hal ini dapat dilihat pada tabel 74 dan gambar 139 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 1,372 – 1,449 dan temperatur gas buang $297^{\circ}C$ - $354^{\circ}C$, dihasilkan kadar emisi CO_2 mulai dari 11,63% Vol – 9,21% Vol dan dihasilkan emisi O_2 mulai dari 7,2% Vol – 7,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga berlapis krom dengan lambda 1,101 – 1,302 dan temperatur gas buang $390^{\circ}C$ – $472^{\circ}C$, dihasilkan kadar emisi CO_2 mulai dari 14,83% Vol – 11,38% Vol dan dihasilkan emisi O_2 mulai dari 3,9% Vol – 4,7% Vol. Pada putaran tinggi, emisi CO_2 yang dihasilkan mesin cenderung menurun sebagai akibat tidak sempurnanya proses pembakaran karena kelebihan oksigen (O_2). Hal ini dapat dilihat dari nilai $\lambda > 1$. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih banyak menghasilkan emisi CO_2 karena adanya katalis tembaga berlapis krom didalamnya dan temperatur gas buang telah mencapai suhu $472^{\circ}C$, dimana suhu ini di atas suhu kerja optimal katalis tembaga berlapis krom ($388^{\circ}C$).

Pada temperatur $388^{\circ}C$, mengindikasikan suhu optimal katalis untuk mengaktivasi gas buang yang mengalir di permukaan katalis. Sehingga kadar emisi CO_2 yang dihasilkan dapat meningkat secara optimal karena tercapainya suhu aktivasi $CO + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow CO_2$, dimana suhu normal terbentuknya emisi CO_2 pada fase tanpa katalis sekitar $700^{\circ}C$. Sedangkan dalam penelitian ini, suhu kerja optimum katalis tembaga berlapis krom

lebih rendah, yaitu 388°C. Dapat dikatakan bahwa dengan katalis akan menurunkan energi aktivasi sehingga kecepatan reaksi oksidasi emisi CO menjadi CO₂ menjadi lebih cepat dan meningkat.

Dari gambar 139 dapat dilihat bahwa di setiap putaran mesin terjadi peningkatan kadar emisi CO₂ secara signifikan. Dengan aktif metal katalis berbentuk plat (*metallic catalytic converter*) didapatkan luas permukaan efektif katalis yang paling optimal yang akhirnya mampu mengoksidasi emisi CO menjadi CO₂ sehingga meningkatkan emisi CO₂ secara signifikan di setiap putaran mesin.

Hal ini sesuai dengan pendapat Berzelius (1835) yang menyatakan bahwa reaksi katalitik pada katalis padat terjadi pada permukaan katalis, dan semakin luas permukaan katalis semakin cepat laju reaksinya, sehingga konsentrasi produk CO₂ yang dihasilkan semakin tinggi. Tingginya peningkatan konsentrasi emisi CO₂ yang dihasilkan mesin, selain disebabkan oleh semakin luasnya permukaan efektif katalis yang bersinggungan langsung dengan gas buang, juga dipengaruhi oleh faktor temperatur. Temperatur yang lebih rendah (mencapai 388°C) akan menyebabkan turunnya energi aktivasi sehingga proses oksidasi dari $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$ menjadi lebih cepat tercapai (lihat gambar 84). Akibatnya, terjadi peningkatan konsentrasi emisi CO₂ yang signifikan di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan knalpot standar.

Sebenarnya emisi CO tersebut dapat berubah menjadi CO₂ dengan cara bereaksi dengan O₂ atau NO_x pada fase tanpa katalis tetapi

membutuhkan temperatur yang tinggi, yaitu 700°C. Dalam penelitian ini, temperatur optimal katalis tembaga berlapis krom dicapai pada temperatur 388°C. Di bawah temperatur tersebut, katalis tidak berfungsi optimal dan di atas temperatur itu kemampuan katalis mulai menurun.

Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) dapat disimpulkan bahwa pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat meningkatkan emisi CO₂ rata-rata sebesar **26,18%**. *Metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) efektif sebagai katalisator pada reaksi oksidasi $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$ pada lambda (λ) 1,002 dan temperatur 388°C dengan menghasilkan emisi CO₂ tertinggi sebesar 14,99%.

Perlu diketahui bahwa emisi CO₂ ini tidak berdampak langsung bagi kesehatan manusia, namun berdampak langsung pada lingkungan yang merupakan salah satu sumber gas rumah kaca (GRK) yang akan menyebabkan efek pemanasan global (*global warming*) dalam jangka panjang. Oleh karena itu, emisi CO₂ ini harus dikelola dengan baik di sekolah dengan cara disalurkan ke taman atau hutan sekolah (*school forest*) yang ada di SMK Semen Gresik dengan menggunakan *exhauster* untuk proses fotosintesis daun/tanaman. Seperti kita ketahui bahwa proses fotosintesis membutuhkan CO₂ dan sinar matahari pada zat hijau daun (*clorofil*), dimana hasil dari proses fotosintesis tersebut akan menghasilkan

oksigen (O₂) yang dapat digunakan manusia untuk bernafas. Oleh karena itu, emisi CO₂ tersebut masih bisa didaur ulang (*recycle*) agar tetap ramah lingkungan.

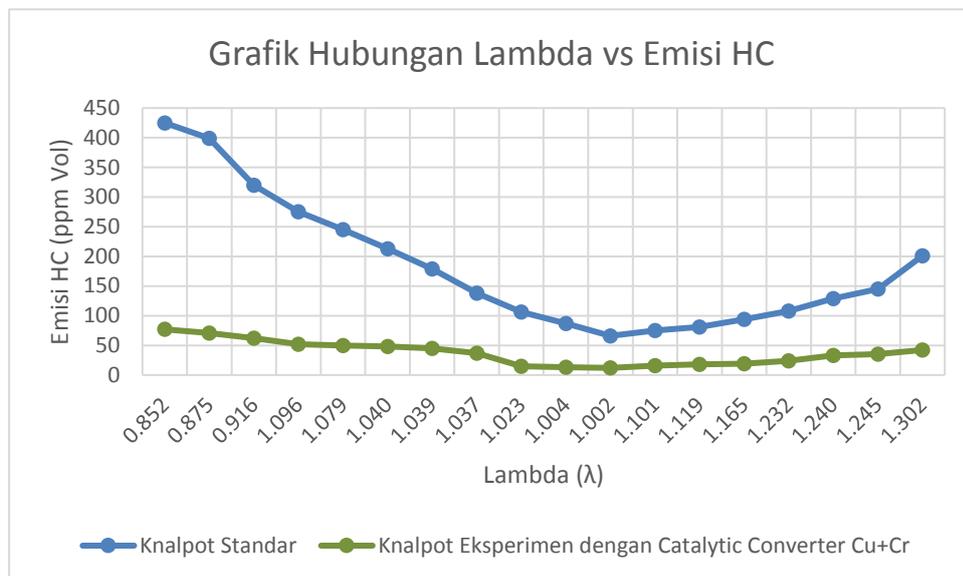
c. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom Terhadap Reduksi Emisi Hidrokarbon (HC)

Untuk mengetahui seberapa besar persentase reduksi emisi HC dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel 75 berikut ini.

Tabel 75. Reduksi Emisi HC Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K | | | Knalpot Eksperimen Dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) | | | Reduksi Emisi HC (%) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------|--------------|--|-----------------|--------------|----------------------|
| | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | HC (ppm Vol) | Lambda (λ) | Temperatur (°C) | HC (ppm Vol) | |
| 750 | 0,606 | 107 | 425 | 0,852 | 153 | 77 | 81,88 |
| 1000 | 0,775 | 119 | 399 | 0,875 | 165 | 71 | 82,21 |
| 1250 | 0,805 | 137 | 320 | 0,916 | 188 | 62 | 80,63 |
| 1500 | 0,872 | 155 | 275 | 1,096 | 206 | 52 | 81,09 |
| 1750 | 0,878 | 171 | 245 | 1,079 | 270 | 50 | 79,59 |
| 2000 | 0,890 | 198 | 213 | 1,040 | 336 | 48 | 77,46 |
| 2250 | 0,918 | 203 | 179 | 1,039 | 349 | 45 | 74,86 |
| 2500 | 0,928 | 218 | 138 | 1,037 | 372 | 37 | 73,19 |
| 2750 | 0,976 | 245 | 106 | 1,023 | 374 | 15 | 85,85 |
| 3000 | 0,981 | 257 | 87 | 1,004 | 375 | 13 | 85,06 |
| 3250 | 1,100 | 285 | 66 | 1,002 | 388 | 12 | 81,82 |
| 3500 | 1,372 | 297 | 75 | 1,101 | 390 | 16 | 78,67 |
| 3750 | 1,404 | 304 | 81 | 1,119 | 405 | 18 | 77,78 |
| 4000 | 1,410 | 309 | 94 | 1,165 | 419 | 19 | 79,79 |
| 4250 | 1,412 | 311 | 108 | 1,232 | 425 | 24 | 77,78 |
| 4500 | 1,424 | 317 | 129 | 1,240 | 450 | 33 | 74,42 |
| 4750 | 1,429 | 346 | 145 | 1,245 | 465 | 35 | 75,86 |
| 5000 | 1,449 | 354 | 201 | 1,302 | 472 | 42 | 79,10 |
| Rata-rata Reduksi Emisi HC | | | | | | | 79,28 |

Dari data pada tabel 75, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 140 berikut ini.



Gambar 140. Hubungan Lambda (λ) Terhadap Emisi HC Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr)

Secara umum, penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen dapat mereduksi kadar emisi hidrokarbon (HC) yang dihasilkan oleh mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik secara signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 75 dan gambar 140 di atas. Berdasarkan hasil eksperimen, trend grafik emisi HC yang dihasilkan sesuai dengan trend grafik emisi HC di kajian pustaka (lihat gambar 6).

Tingkat reduksi kadar emisi HC tergantung pada nilai lambda dan temperatur gas buang. Lambda dapat mempengaruhi kadar emisi HC karena nilai lambda menunjukkan kondisi campuran udara-bahan bakar yang sesungguhnya. Sedangkan temperatur menunjukkan suhu kerja katalis untuk dapat melakukan proses oksidasi emisi HC menjadi uap air (H_2O).

Pada putaran mesin 750-2000 rpm dan pada lambda kurang dari 1 ($\lambda < 1$), mengindikasikan campuran yang kelebihan bahan bakar (campuran kaya). Sehingga pada proses pembakaran akan kekurangan oksigen dan pembakaran menghasilkan emisi HC yang berlebihan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 75 dan gambar 140 di atas. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,606 – 0,890 dan temperatur gas buang 107°C – 198°C , dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 425 ppm Vol – 213 ppm Vol dan dihasilkan emisi O_2 mulai dari 4,5% Vol – 6,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga berlapis krom dengan lambda 0,852 – 1,040 dan temperatur gas buang 153°C – 336°C , dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 77 ppm Vol – 48 ppm Vol dan dihasilkan emisi O_2 mulai dari 2,7% Vol – 3,4% Vol. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih sedikit menghasilkan emisi HC karena adanya katalis tembaga berlapis krom didalamnya sehingga dapat memanfaatkan oksigen (O_2) yang terbuang bersama gas buang untuk proses oksidasi emisi HC menjadi uap air (H_2O).

Pada putaran mesin 2250-3250 rpm dan pada lambda sama dengan satu ($\lambda = 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang *stoichiometri*, artinya kebutuhan udara dan bahan bakar yang seimbang (ideal), sehingga setiap molekul udara (O_2) dapat terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar (C_8H_{18}). Dengan demikian, pada $\lambda = 1$ akan menghasilkan emisi HC yang lebih sedikit. Hal ini dapat dilihat pada tabel 75 dan gambar 140. Untuk knalpot standar dengan lambda 0,918 – 1,100

dan temperatur gas buang $203^{\circ}\text{C} - 285^{\circ}\text{C}$, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 179 ppm Vol – 66 ppm Vol dan dihasilkan emisi O_2 mulai dari 6,6% Vol – 7,1% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga berlapis krom dengan lambda 1,039 – 1,002 dan temperatur gas buang $349^{\circ}\text{C} - 388^{\circ}\text{C}$, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 45 ppm Vol – 12 ppm Vol dan dihasilkan emisi O_2 mulai dari 3,5% Vol – 3,9% Vol. Pada putaran mesin 3250 rpm, baik knalpot standar maupun knalpot eksperimen yang dilengkapi dengan katalis plat tembaga berlapis krom, dihasilkan emisi HC terendah karena lambda pada putaran tersebut telah mencapai angka 1. Artinya, campuran udara dan bahan bakar menjadi ideal (*stoichiometric*) sehingga pembakaran akan berlangsung sempurna yang akan menghasilkan kadar emisi HC terendah. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih sedikit menghasilkan emisi HC karena adanya katalis tembaga berlapis krom didalamnya dan telah mencapai suhu optimal katalis (388°C) untuk proses reaksi oksidasi HC menjadi uap air (H_2O).

Pada putaran mesin 3500-5.000 rpm dan pada lambda lebih dari satu ($\lambda > 1$), mengindikasikan campuran udara dan bahan bakar yang kelebihan udara, artinya suplai udara terlalu banyak, sehingga setiap molekul udara (O_2) terpakai semua untuk pembakaran bahan bakar (C_8H_{18}) bahkan lebih. Pada kondisi $\lambda > 1$ akan menyebabkan pembakaran yang kurang sempurna akibat semakin sedikitnya waktu pembakaran yang semakin cepat sehingga terjadi keterlambatan pengapian (*ignition delay*), akibatnya akan

menghasilkan emisi HC yang cenderung meningkat. Hal ini dapat dilihat pada tabel 75 dan gambar 140. Untuk knalpot standar dengan lambda 1,372 – 1,449 dan temperatur gas buang 297°C-354°C, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 75 ppm Vol – 201 ppm Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 7,2% Vol – 7,6% Vol. Sedangkan untuk knalpot eksperimen yang dipasang katalis plat tembaga berlapis krom dengan lambda 1,101 – 1,302 dan temperatur gas buang 390°C – 472°C, dihasilkan kadar emisi HC mulai dari 16 ppm Vol – 42 ppm Vol dan dihasilkan emisi O₂ mulai dari 3,9% Vol – 4,7% Vol. Pada putaran tinggi, emisi HC yang dihasilkan mesin cenderung meningkat sebagai akibat tidak sempurnanya proses pembakaran. Hal ini dapat dilihat dari nilai $\lambda > 1$. Dengan demikian dapat diketahui bahwa jika dibandingkan dengan knalpot standar, knalpot eksperimen lebih sedikit menghasilkan emisi HC karena adanya katalis tembaga berlapis krom didalamnya. Kadar emisi HC yang semakin naik pada lambda yang semakin besar menunjukkan bahwa semakin kurus campuran udara dan bahan bakar mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna dan terjadinya keterlambatan pengapian (*ignition delay*) pada putaran tinggi. Dengan demikian, kadar emisi HC semakin naik berbanding lurus dengan kenaikan nilai lambda. Meningkatnya kadar emisi HC pada putaran tinggi disebabkan karena: pembakaran yang kurang sempurna karena kekurangan oksigen sehingga ada sebagian bahan bakar yang belum terbakar dan keluar masih dalam bentuk hidrokarbon. Pada campuran kurus, konsentrasi HC akan naik disebabkan karena kurangnya pasokan bahan bakar sehingga menyebabkan

rambatan bunga api menjadi lambat dan bahan bakar akan segera keluar sebelum terbakar dengan sempurna. Pada kondisi kaya, konsentrasi HC akan naik dikarenakan pasokan udara tidak cukup untuk bereaksi dengan sempurna sehingga ada sebagian hidrokarbon yang keluar pada saat proses pembuangan.

Pada temperatur 388°C, mengindikasikan suhu optimal katalis tembaga berlapis krom untuk mengaktivasi proses reaksi kimia dari gas buang yang mengalir di permukaan katalis. Sehingga kadar emisi HC dapat menurun secara optimal karena tercapainya suhu aktivasi $2\text{HC} + 2\frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$, dimana suhu normal terbentuknya uap air (H_2O) pada fase tanpa katalis sekitar 600°C. Sedangkan dalam penelitian ini, oksidasi emisi HC menjadi uap air (H_2O) terjadi pada temperatur yang lebih rendah, yaitu 388°C.

Sebagai bukti bahwa teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) mampu mereduksi emisi HC menjadi uap air (H_2O) dapat dilihat pada kondisi gas probe yang telah dikeluarkan dari dalam knalpot berikut ini (gambar 141 dan 142).

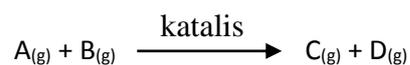


Gambar 141. Uap Air (H_2O) yang Terdapat Pada Gas Probe Tanpa Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* di Knalpot Standar



Gambar 142. Uap Air (H₂O) yang Terdapat Pada Gas Probe Setelah Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom di Knalpot Eksperimen

Perlu diketahui bahwa “sejumlah energi minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi kimia disebut sebagai energi aktivasi”. Katalis tersebut akan menurunkan energi aktivasi dari reaksi dengan menyediakan jalan baru. Secara garis besar dapat dijelaskan teori katalisis, yaitu: *the adsorption theory (heterogeneous)*, yaitu reaksi dua gas pada permukaan katalis padat (*solid catalyst*).



Untuk membandingkan knalpot standar dengan knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K yang telah dilengkapi dengan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) tersebut apakah memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama dapat dilihat pada tabel 76 berikut ini.

Tabel 76. Perbandingan Hasil Uji Emisi HC antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Berteknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom

| Kategori | Tahun Pembuatan | HC (ppm) | Metode Uji | Emisi HC Knalpot Standar Toyota Kijang tipe 7K (ppm Vol) | Keterangan | Emisi HC Knalpot Eksperimen Dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) (ppm Vol) | Keterangan |
|--|-----------------|----------|------------|--|-----------------|---|-----------------|
| Mobil berpengegarak motor bakar cetus api (bensin) | < 2007 | 1200 | Idle | 425 | Lulus Uji Emisi | 77 | Lulus Uji Emisi |

Dari tabel 76 dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat menurunkan kadar emisi HC secara signifikan di SMK Semen Gresik jika dibandingkan dengan knalpot standar. Bahkan, katalis plat tembaga berlapis krom dapat mereduksi kadar emisi HC jauh di bawah ambang batas emisi yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Namun, jika ditinjau dari peluang lulus uji emisi atau tidak, tentu knalpot standar tidak akan lulus uji emisi karena menghasilkan emisi CO di atas ambang batas walaupun emisi HC yang dihasilkan di bawah ambang batas. Sedangkan penggunaan knalpot eksperimen dengan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom dapat dikategorikan lulus uji emisi karena menghasilkan

emisi CO dan HC jauh di bawah ambang batas yang telah ditetapkan oleh pemerintah.

Dapat dikatakan bahwa penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat mendukung program langit biru (*blue sky program*) dan program sekolah adiwiyata (*green school program*) yang telah dicanangkan oleh pemerintah Indonesia. Teknologi ini sekaligus mendukung salah satu dari 17 tujuan pembangunan berkelanjutan (*sustainable development goals/SDGs*) yang ke-13, yaitu melaksanakan aksi nyata untuk mengatasi perubahan iklim dan dampaknya (*take urgent action to combate climate change and its impacts*) karena terbukti mampu mereduksi konsentrasi emisi HC secara sangat signifikan di sekolah.

Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa rata-rata reduksi emisi HC sebesar **79,28%**. *Metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom efektif sebagai katalisator pada reaksi $2\text{HC} + 2\frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$ pada lambda (λ) 1,002 dan temperatur 388°C dengan menghasilkan emisi HC terendah yaitu 12 ppm Vol.

Hasil penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Amin, Chavda & Gadhia (2013) yang hanya mampu mereduksi emisi HC rata-rata sebesar **66%** dengan menggunakan *catalytic converter* berbahan

dasar *wiremesh* yang dilapisi dengan tembaga (Cu), penelitian Warju & Muliatna (2015) yang hanya mampu mereduksi emisi HC rata-rata sebesar **18,38%-46,81%** dengan menggunakan *metallic catalytic converter* tembaga (Cu), penelitian Nisa et al. (2016) yang hanya mampu mereduksi emisi HC rata-rata sebesar **47,13%** dengan menggunakan *catalytic converter* pipa tembaga (Cu), penelitian Mahadeven & Sendilvelan (2017) yang hanya mampu mereduksi emisi HC rata-rata **57%** dengan menggunakan *dynamic catalytic converter system* (DCCS), dan penelitian Kumar, Singh, and Kaur (2017) yang hanya mampu mereduksi emisi HC rata-rata sebesar **66%** dengan menggunakan *catalytic converter* berbahan dasar *wiremesh* yang dilapisi dengan Zirconium Oxide (ZrO) dan Cobalt Oxide (CoO).

Sekedar diketahui bahwa pengujian emisi HC pada kendaraan bermotor tipe baru sudah menggunakan *Euro II Emission Standard* yang berpedoman pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 04 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru dengan standar emisi HC sebesar 0,5-0,6 gram/km dengan metode uji ECE R 83 – 04.

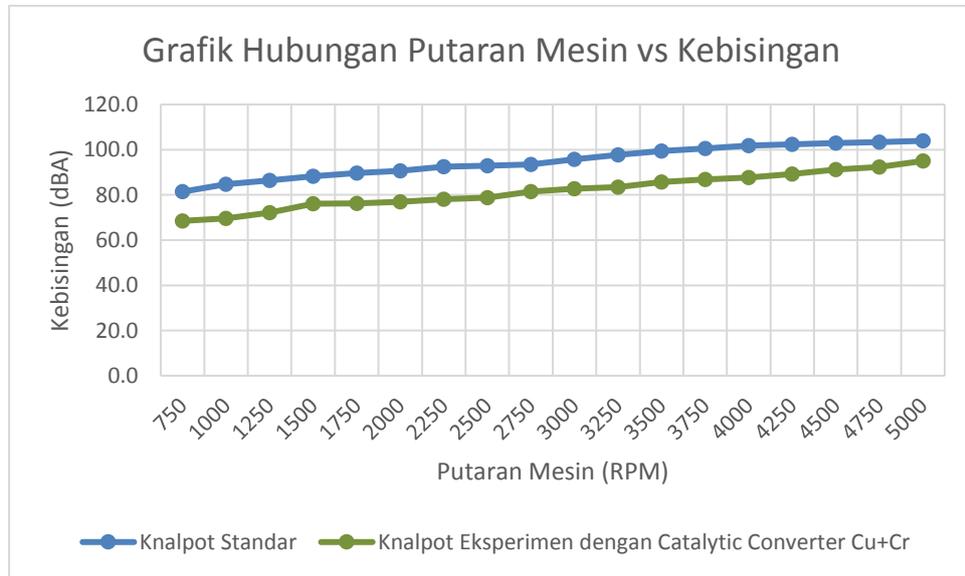
d. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom Terhadap Reduksi Kebisingan

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik terhadap kebisingan kendaraan, dapat dilihat pada tabel 77 berikut ini.

Tabel 77. Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 7K | | Knalpot Eksperimen Dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) | | Reduksi Kebisingan (%) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------|---|-----------|------------------------|
| | Tekanan (kPa) | SPL (dBA) | Tekanan (kPa) | SPL (dBA) | |
| 750 | 0,96 | 81,4 | 1,93 | 68,5 | 15,85 |
| 1000 | 1,62 | 84,7 | 2,87 | 69,6 | 17,83 |
| 1250 | 2,53 | 86,4 | 3,35 | 72,2 | 16,44 |
| 1500 | 3,13 | 88,2 | 4,93 | 76,1 | 13,72 |
| 1750 | 3,86 | 89,7 | 5,62 | 76,3 | 14,94 |
| 2000 | 4,77 | 90,6 | 7,82 | 76,9 | 15,12 |
| 2250 | 6,15 | 92,5 | 8,65 | 78,1 | 15,57 |
| 2500 | 7,67 | 92,9 | 10,67 | 78,8 | 15,18 |
| 2750 | 8,80 | 93,4 | 12,05 | 81,5 | 12,74 |
| 3000 | 9,65 | 95,8 | 13,36 | 82,8 | 13,57 |
| 3250 | 10,80 | 97,7 | 13,88 | 83,4 | 14,64 |
| 3500 | 11,62 | 99,4 | 14,36 | 85,7 | 13,78 |
| 3750 | 12,05 | 100,5 | 14,69 | 86,9 | 13,53 |
| 4000 | 13,23 | 101,8 | 15,78 | 87,7 | 13,85 |
| 4250 | 14,00 | 102,4 | 16,75 | 89,3 | 12,79 |
| 4500 | 14,78 | 102,9 | 17,89 | 91,2 | 11,37 |
| 4750 | 15,30 | 103,3 | 18,33 | 92,3 | 10,65 |
| 5000 | 17,78 | 103,9 | 20,41 | 95,0 | 8,57 |
| Rata-rata Reduksi Kebisingan | | | | | 13,90 |

Dari data pada tabel 77, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 143 berikut ini.



Gambar 143. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr)

Secara umum, penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen akan menurunkan kebisingan yang dihasilkan oleh mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik. Hal ini dapat dilihat pada tabel 77 dan gambar 143 di atas.

Pada putaran idle mesin (750 rpm), kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 81,4 dBA dengan tekanan balik sebesar 0,96 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat tembaga berlapis krom sebesar 68,5 dBA dengan tekanan balik sebesar 1,93 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 15,85%.

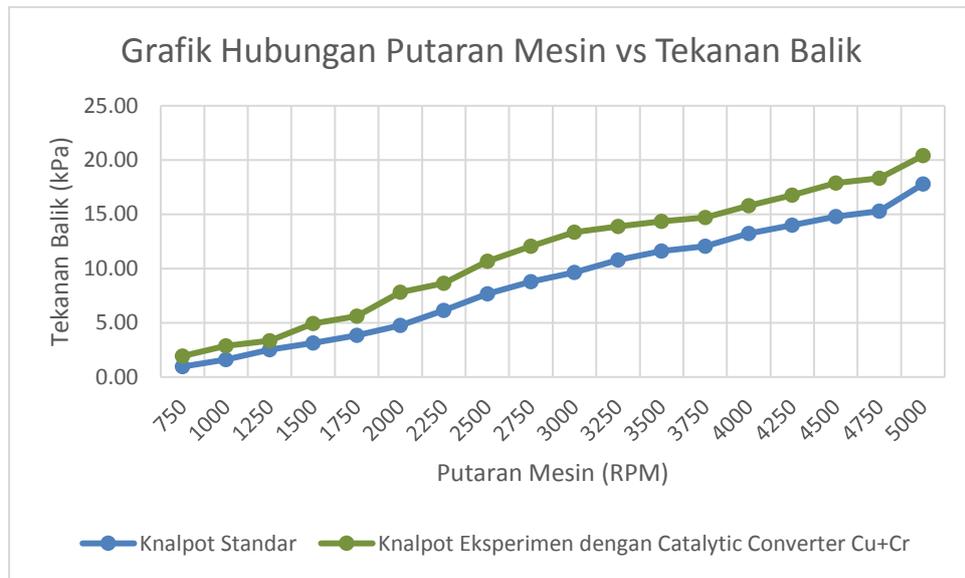
Pada putaran mesin 3500 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 99,4 dBA dengan tekanan balik sebesar 11,62 kPa.

Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat tembaga berlapis krom sebesar 85,7 dBA dengan tekanan balik sebesar 14,36 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 13,78%.

Pada putaran mesin 5000 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 103,9 dBA dengan tekanan balik sebesar 17,78 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat tembaga berlapis krom sebesar 95,0 dBA dengan tekanan balik sebesar 20,41 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 8,57%.

Reduksi kebisingan pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 7K disebabkan karena dengan pemasangan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) dapat meningkatkan tekanan gas buang di dalam knalpot saat melewati permukaan katalis sehingga mampu mereduksi kebisingan yang dihasilkan, selain katalis tersebut berfungsi untuk mereduksi emisi CO dan HC.

Peningkatan tekanan balik (*back pressure*) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) dapat dilihat pada gambar 144 berikut ini.



Gambar 144. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (*Back Pressure*) Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr)

Dari gambar 144 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K cenderung menghasilkan tekanan balik gas buang yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan knalpot standar secara signifikan. Akibatnya, kebisingan yang dihasilkan pada ujung knalpot eksperimen (*tail pipe*) cenderung jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan knalpot standar (lihat gambar 143).

Katalis plat tembaga berlapis krom selain difungsikan sebagai pereduksi emisi gas buang juga difungsikan sebagai peredam suara, sehingga semakin kecil diameter katalis yang dimasukkan ke dalam knalpot, maka kebisingan yang dihasilkan akan semakin rendah. Dalam penelitian ini, tinggi lekukan *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) yang digunakan adalah 2 mm.

Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) dapat disimpulkan bahwa pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi kebisingan rata-rata sebesar **13,90%**. Hasil ini lebih baik jika dibandingkan dengan hasil uji coba awal (*preliminary field testing*), dimana rata-rata reduksi tingkat kebisingan hanya mencapai sebesar 8,46% dan hasil uji coba lapangan utama (*main field testing*) hanya sebesar 11,71%.

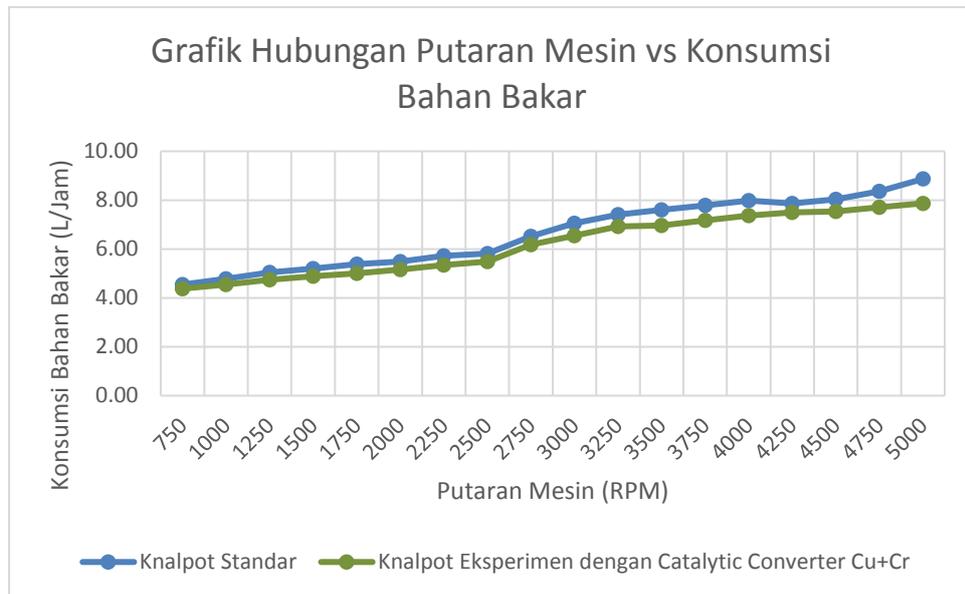
e. Kemampuan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom Terhadap Reduksi Konsumsi Bahan Bakar

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K terhadap konsumsi bahan bakar di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel 78 berikut ini.

Tabel 78. Reduksi Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Toyota Kijang Tipe 7K Dengan Penggunaan *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang 7K | | | Knalpot Eksperimen Dengan <i>Metallic Catalytic Converter</i> Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) | | | Reduksi Konsumsi Bahan Bakar (%) |
|---|----------------------------------|---------------------|------------------------------|--|---------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | Lambda (λ) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (L/Jam) | Lambda (λ) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (L/Jam) | |
| 750 | 0,606 | 0,96 | 4,55 | 0,852 | 1,93 | 4,38 | 3,75 |
| 1000 | 0,775 | 1,62 | 4,79 | 0,875 | 2,87 | 4,55 | 4,95 |
| 1250 | 0,805 | 2,53 | 5,04 | 0,916 | 3,35 | 4,75 | 5,75 |
| 1500 | 0,872 | 3,13 | 5,20 | 1,096 | 4,93 | 4,89 | 6,00 |
| 1750 | 0,878 | 3,86 | 5,38 | 1,079 | 5,62 | 5,01 | 6,93 |
| 2000 | 0,890 | 4,77 | 5,49 | 1,040 | 7,82 | 5,16 | 5,91 |
| 2250 | 0,918 | 6,15 | 5,72 | 1,039 | 8,65 | 5,34 | 6,65 |
| 2500 | 0,928 | 7,67 | 5,81 | 1,037 | 10,67 | 5,49 | 5,52 |
| 2750 | 0,976 | 8,80 | 6,51 | 1,023 | 12,05 | 6,18 | 5,15 |
| 3000 | 0,981 | 9,65 | 7,06 | 1,004 | 13,36 | 6,55 | 7,20 |
| 3250 | 1,100 | 10,80 | 7,41 | 1,002 | 13,88 | 6,92 | 6,61 |
| 3500 | 1,372 | 11,62 | 7,60 | 1,101 | 14,36 | 6,96 | 8,43 |
| 3750 | 1,404 | 12,05 | 7,79 | 1,119 | 14,69 | 7,17 | 7,85 |
| 4000 | 1,410 | 13,23 | 7,98 | 1,165 | 15,78 | 7,36 | 7,73 |
| 4250 | 1,412 | 14,00 | 7,87 | 1,232 | 16,75 | 7,50 | 4,75 |
| 4500 | 1,424 | 14,78 | 8,04 | 1,240 | 17,89 | 7,54 | 6,12 |
| 4750 | 1,429 | 15,30 | 8,36 | 1,245 | 18,33 | 7,71 | 7,80 |
| 5000 | 1,449 | 17,78 | 8,87 | 1,302 | 20,41 | 7,87 | 11,24 |
| Rata-rata Reduksi Konsumsi Bahan Bakar | | | | | | | 6,57 |

Dari data pada tabel 78, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 145 berikut ini.



Gambar 145. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dengan Penggunaan Teknologi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom

Secara umum, penggunaan *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K dapat menurunkan konsumsi bahan bakar di setiap putaran mesin walaupun tidak signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 78 dan gambar 145 di atas.

Pada putaran idle mesin (750 rpm), konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 4,55 L/Jam dengan lambda (λ) = 0,606 dan tekanan balik gas buang sebesar 0,96 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat tembaga berlapis krom sebesar 4,38 L/Jam dengan lambda (λ) = 0,852 dan tekanan balik gas buang sebesar 1,93 kPa. Reduksi konsumsi bahan bakar pada putaran ini hanya sebesar 3,75%.

Pada putaran mesin 3500 rpm, konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 7,60 L/Jam dengan lambda (λ) = 1,372 dan tekanan balik gas buang sebesar 11,62 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat tembaga berlapis krom sebesar 6,96 L/Jam dengan lambda (λ) = 1,101 dan tekanan balik gas buang sebesar 14,36 kPa. Reduksi konsumsi bahan bakar pada putaran ini sebesar 8,43%.

Pada putaran mesin 5000 rpm, konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 8,87 L/Jam dengan lambda (λ) = 1,449 dan tekanan balik gas buang sebesar 17,78 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan katalis plat tembaga berlapis krom sebesar 7,87 L/Jam dengan lambda (λ) = 1,302 dan tekanan balik gas buang sebesar 20,41 kPa. Reduksi konsumsi bahan bakar pada putaran ini sebesar 11,24%.

Konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin selama 1 (satu) jam. Besar kecilnya konsumsi bahan bakar tergantung pada sempurna atau tidak sempurnanya campuran udara dan bahan bakar yang terbakar dalam ruang bakar. Hal ini ditunjukkan oleh nilai lambda (λ). Nilai lambda (λ) = 1,000, menunjukkan campuran ideal (*stoichiometric*), artinya perbandingan antara jumlah udara-bahan bakar secara aktual (14,7:1) akan sama dengan jumlah udara-bahan bakar secara teori (14,7:1). Dengan nilai lambda (λ) = 1,000 atau mendekati 1, akan dihasilkan pembakaran yang sempurna. Semakin sempurna pembakaran,

maka akan menghasilkan torsi dan daya efektif yang lebih besar serta konsumsi bahan bakar yang lebih rendah (irit).

Dalam penelitian ini, lambda yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan penggunaan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom cenderung menghasilkan lambda yang mendekati lambda ideal jika dibandingkan dengan knalpot standar. Oleh karena itu, konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen relatif lebih rendah (irit) jika dibandingkan dengan knalpot standar. Faktor-faktor yang menentukan kesempurnaan pembakaran antara lain: homogenitas campuran udara dan bahan bakar, kaya/miskinnya campuran yang masuk ruang bakar, waktu yang tersedia untuk melakukan pembakaran, dan desain ruang bakar itu sendiri.

Dari tabel 78 dan gambar 145 ditunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar akan terus meningkat sebanding dengan putaran mesin. Hal ini disebabkan karena pada putaran rendah, turbulensi campuran sangat rendah, sebagai akibat kecilnya kecepatan aliran campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Seperti diketahui, turbulensi aliran sangatlah penting dalam menghasilkan campuran yang baik, sehingga bisa meningkatkan energi yang dihasilkan dari hasil pembakaran. Pada putaran menengah, dicapai campuran udara dan bahan bakar yang mendekati campuran *stoichiometric* sehingga proses pembakaran berlangsung sempurna sehingga torsi dan daya efektif yang dihasilkan mesin cenderung meningkat. Hal ini juga diimbangi oleh tercapainya turbulensi aliran

campuran udara dan bahan bakar. Pada putaran tinggi, meskipun turbulensi aliran bagus, akan tetapi kurangnya waktu yang tersedia untuk pembakaran mengakibatkan pembakaran menjadi kurang sempurna, ditambah lagi tingginya *losses* yang terjadi pada putaran tinggi, maka akan meningkatkan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin.

Selain itu, menurunnya konsumsi bahan bakar juga disebabkan oleh faktor temperatur dan tekanan balik (*back pressure*). Dari tabel 75 dan gambar 138 terlihat bahwa dengan menggunakan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K akan meningkatkan temperatur gas buang di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan knalpot standar. Panas yang tertahan di katalis tembaga berlapis krom akan menyebabkan temperatur di dalam ruang bakar mesin meningkat sebagai akibat meningkatnya tekanan balik (*back pressure*) yang terjadi (lihat tabel 78 dan gambar 144) sehingga efisiensi thermal mesin meningkat (>15%) jika dibandingkan dengan efisiensi thermal knalpot standar. Efisiensi thermal berhubungan dengan berapa banyak tenaga panas dari pembakaran yang dirubah menjadi tenaga untuk mendorong torak.

Efisiensi thermal ini besarnya hanya sekitar 15%. Hal ini disebabkan karena 35% hilang akibat pendinginan, baik oleh air pendingin maupun udara, 5% hilang karena gesekan, 10% hilang karena *power train*, dan 35% hilang terbawa gas buang pada waktu meninggalkan silinder (lihat gambar 93). Gas buang bertemperatur tinggi tersebut akibat adanya tekanan balik di

katalis akan dimanfaatkan untuk membilas ruang bakar sekaligus menjaga temperatur kerja ruang bakar sehingga terjadi peningkatan efisiensi thermal.

Meningkatnya efisiensi thermal mengakibatkan energi yang diberikan ke piston pada saat langkah kerja sangat besar, kemudian energi tersebut diteruskan ke batang torak (*connecting rod*) dan ke poros engkol (*crankshaft*), sehingga gaya tangensial menjadi lebih besar. Dengan gaya tangensial yang lebih besar, maka torsi dan daya efektif yang dihasilkan mesin akan semakin besar dan konsumsi bahan bakar akan menjadi lebih rendah (irit).

Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa katalis plat tembaga berlapis krom dapat mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar **6,57%**. Hasil ini lebih baik jika dibandingkan dengan hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) yang hanya sebesar 3,34% dan hasil uji lapangan utama (*main field testing*) yang hanya sebesar 4,21%.

Oleh karena itu, teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) di atas dapat diaplikasikan pada semua unit *engine stand*/mobil praktik di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik karena telah terbukti mampu mereduksi emisi CO dan HC rata-rata sebesar **95,35%** dan **79,28%**, mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar

13,90%, dan mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 6,57% untuk mendukung pengembangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.

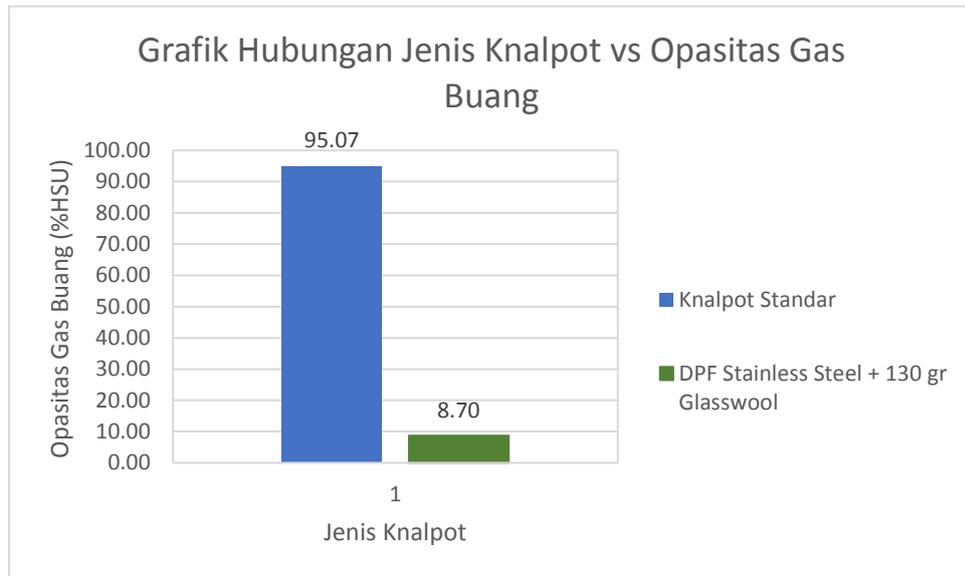
f. Kemampuan Teknologi *Diesel Particulate Filter* (DPF) Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 130 gr *Glasswool* Terhadap Reduksi Opasitas Gas Buang Mesin Diesel

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 terhadap reduksi opasitas/partikulat di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel 79 berikut ini.

Tabel 79. Reduksi Opasitas Gas Buang Mesin Isuzu C190 Dengan Menggunakan DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 130 gr *Glasswool* di SMK Semen Gresik

| Jenis Knalpot | Rata-rata Opasitas Gas Buang (%HSU) | Reduksi Opasitas Gas Buang (%) |
|--|--|---------------------------------------|
| Knalpot Standar | 95,07 | |
| Knalpot Eksperimen dengan Teknologi DPF Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> | 8,70 | 90,85 |

Dari data pada tabel 79, apabila ditampilkan dalam bentuk diagram batang tentang opasitas gas buang, seperti terlihat pada gambar 146 berikut ini.



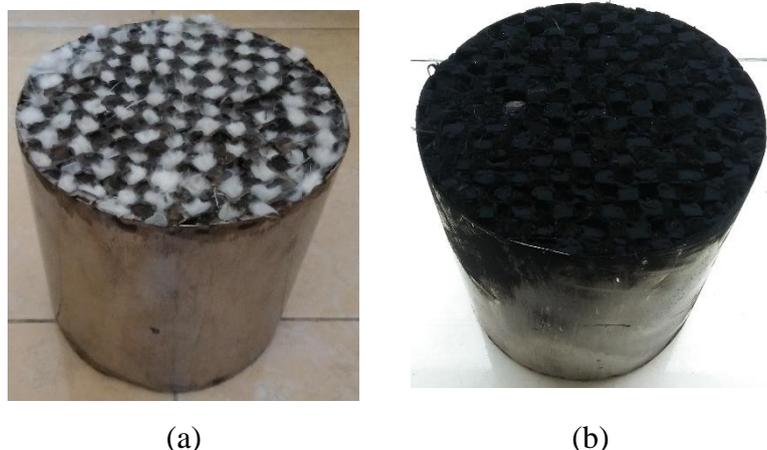
Gambar 146. Perbandingan Hasil Pengujian Opasitas Gas Buang Dengan Menggunakan DPF Plat *Stainless Steel* dan 130 gr *Glasswool*

Secara umum, dapat disimpulkan bahwa penggunaan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* (Fe+Cr) dan 130 gr *glasswool* dapat menurunkan opasitas gas buang mesin Isuzu C190 secara sangat signifikan di SMK Semen Gresik.

Rata-rata opasitas gas buang yang dihasilkan oleh knalpot standar mesin Isuzu C190 sebesar 95,07 %HSU. Sedangkan rata-rata opasitas gas buang yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 berteknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* sebesar 8,70 %HSU. Dengan teknologi DPF ini mampu mereduksi opasitas gas buang sebesar 90,85%.

Pada knalpot standar, aliran gas buang yang keluar dari ruang bakar menuju ke atmosfer tidak tersaring/terjebak oleh material apapun, sehingga gas buang tersebut keluar begitu saja tanpa adanya penyaringan/penjebakan. Dampaknya opasitas gas buang cenderung lebih tinggi. Sedangkan reduksi opasitas gas buang pada knalpot eksperimen disebabkan karena emisi partikulat yang keluar dari ruang bakar mengalir ke knalpot menuju DPF terlebih dahulu. Di dalam DPF, emisi partikulat tersebut akan melewati material *glasswool* yang dipasang diujung pemasukan DPF. Di *glasswool* ini, emisi partikulat tersebut akan diserap dan disaring. Selanjutnya gas buang yang telah disaring/*di-filter* tersebut akan mengalir melalui lubang-lubang (*perforated*) yang terdapat pada plat *stainless steel* ke sisi pengeluaran DPF menuju *muffler* dan atmosfer.

Sebagai bukti bahwa telah terjadi reduksi opasitas gas buang (partikulat) dengan menggunakan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* dapat dilihat pada gambar 147 berikut ini.



(a) (b)
Gambar 147. DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 130 gr *Glasswool*: (a) Sebelum Pengujian, (b) Setelah Pengujian

Berapa gram emisi partikulat (PM) yang bisa diserap oleh DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* tersebut? Untuk menghitungnya, sebelum melakukan pengujian, DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* ditimbang terlebih dahulu menggunakan timbangan digital untuk mengetahui berat DPF tersebut. Berat DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* sebelum dilakukan pengujian, yaitu 4.620 gr. Setelah dilakukan pengujian, berat DPF bertambah menjadi 4,710 gr (lihat gambar 148). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat 90 gr emisi partikulat (PM) yang tersaring oleh DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* tersebut.



(a)



(b)

Gambar 148. Berat DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 130 gr *Glasswool*: (a) Sebelum Pengujian 4.620 gr, (b) Setelah Pengujian 4.710 gr

Untuk mengetahui apakah dengan menggunakan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada mesin Isuzu C190 tersebut memenuhi ambang batas opasitas gas buang sesuai dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 tahun 2006 tentang Ambang

Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama, maka perlu dilakukan perbandingan antara penggunaan knalpot standar dan knalpot eksperimen berteknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* yang dapat dilihat pada Tabel 80 berikut ini.

Tabel 80. Perbandingan Hasil Uji Opasitas Gas Buang Mesin Isuzu C190 Dengan Menggunakan DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 130 gr *Glasswool*

| Kategori | Tahun Pembuatan | Ambang Batas Opasitas Gas Buang (% HSU) | Metode Uji | Opasitas Gas Buang Knalpot Standar (% HSU) | Keterangan | Opasitas Gas Buang Dengan DPF <i>Stainless Steel</i> + 130 gr <i>Glasswool</i> (% HSU) | Keterangan |
|--|-----------------|---|------------------|--|-----------------------|--|-----------------|
| Berpenggerak motor bakar penyalaan kompresi (mesin diesel) | <2010 | 70 | Percepatan bebas | 95,07 | Tidak lulus uji emisi | 8,70 | Lulus uji emisi |

Dari tabel 80 di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 dapat mereduksi opasitas gas buang secara sangat signifikan dibandingkan dengan knalpot standar. Bahkan penggunaan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* tersebut mampu mereduksi opasitas gas buang jauh di bawah ambang batas opasitas yang telah ditetapkan oleh pemerintah. Dapat dikatakan bahwa penggunaan teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 dapat mendukung program langit biru (*blue sky program*) dan program sekolah adiwiyata (*green school program*) yang telah dicanangkan oleh pemerintah Indonesia.

Selain itu, teknologi DPF ini juga akan mendukung salah satu dari 17 tujuan pembangunan berkelanjutan (*the seventeen sustainable development goals*), yaitu tujuan global ke-13: melaksanakan aksi nyata untuk mengatasi perubahan iklim dan dampaknya (*take urgent action to combat climate change and its impacts*) karena teknologi ini terbukti mampu mereduksi opasitas gas buang (emisi PM) secara sangat signifikan di sekolah.

Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* dapat mereduksi opasitas gas buang rata-rata sebesar **90,85%**.

Hasil penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Setiawan & Warju (2009) yang hanya mampu mereduksi opasitas gas buang rata-rata sebesar **65,6-85,7%** dengan menggunakan DPT berbahan dasar serabut kuningan (Cu+Zn), penelitian Sulistyono & Warju (2009) yang hanya mampu mereduksi opasitas gas buang rata-rata sebesar **82,92-88,5%** dengan menggunakan DPT berbahan dasar serabut tembaga (Cu), penelitian Vasanthan (2013) yang hanya mampu mereduksi opasitas gas buang sebesar **60-70%** dengan menggunakan DPF berbahan dasar oksida tembaga (*copper oxide*), penelitian Warju & Marsudi (2015) yang hanya mampu mereduksi opasitas gas buang sebesar **70-89%** dengan menggunakan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 100 gr *glasswool*, dan penelitian Ariyanto &

Warju (2016) yang hanya mampu mereduksi opasitas gas buang sebesar **75-88%** dengan menggunakan DPF berbahan dasar plat tembaga dan 100 gr *glasswool*.

Sekedar diketahui bahwa pengujian opasitas gas buang pada kendaraan bermotor tipe baru sudah menggunakan *Euro II Emission Standard* yang berpedoman pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 04 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru dengan standar opasitas gas buang sebesar 0,08-0,17 gram/km dengan metode uji ECE R 83 – 04.

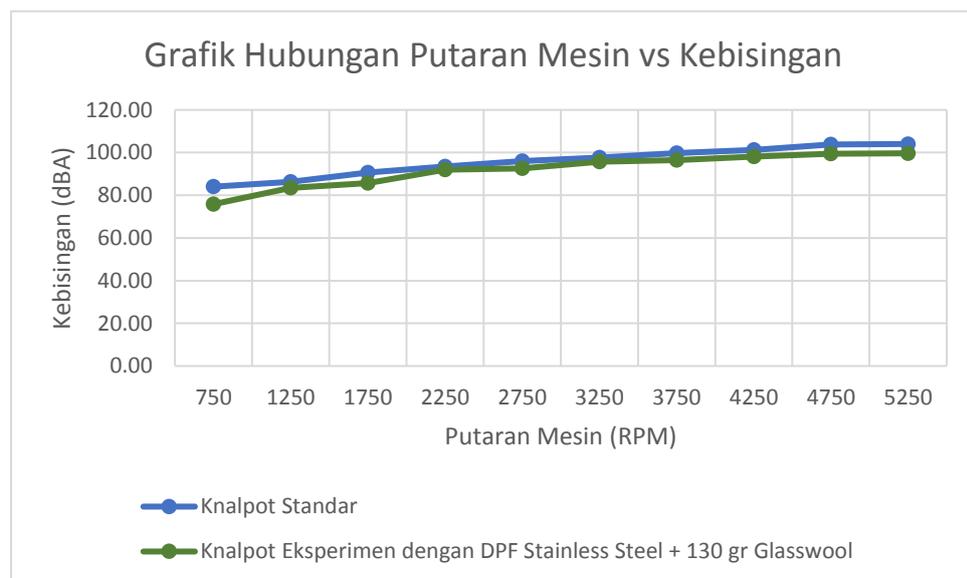
g. Kemampuan Teknologi *Diesel Particulate Filter (DPF)* Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 130 gr *Glasswool* Terhadap Kebisingan Kendaraan

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *diesel particulate filter (DPF)* berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik terhadap kebisingan kendaraan, dapat dilihat pada tabel 81 berikut ini.

Tabel 81. Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Isuzu C190 Dengan Penggunaan DPF Berbahan Dasar Plat *Stainless Steel* dan 130 gr *Glasswool* di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Isuzu C190 | | Knalpot Eksperimen Dengan DPF <i>Stainless Steel</i> + 130 gr <i>Glasswool</i> | | Reduksi Kebisingan (%) |
|-------------------------------------|----------------------------|-----------|--|-----------|------------------------|
| | Tekanan Balik (kPa) | SPL (dBA) | Tekanan Balik (kPa) | SPL (dBA) | |
| 750 | 2,09 | 84,03 | 2,39 | 75,83 | 9,76 |
| 1250 | 3,98 | 86,27 | 4,17 | 83,40 | 3,33 |
| 1750 | 6,98 | 90,70 | 7,47 | 85,70 | 5,51 |
| 2250 | 9,67 | 93,43 | 10,87 | 92,00 | 1,53 |
| 2750 | 10,68 | 96,03 | 11,92 | 92,60 | 3,57 |
| 3250 | 12,74 | 97,73 | 13,85 | 95,70 | 2,08 |
| 3750 | 15,83 | 99,80 | 17,02 | 96,50 | 3,31 |
| 4250 | 16,86 | 101,27 | 18,30 | 98,07 | 3,16 |
| 4750 | 17,95 | 103,77 | 18,88 | 99,43 | 4,18 |
| 5250 | 20,90 | 104,03 | 21,92 | 99,67 | 4,19 |
| Rata-rata Reduksi Kebisingan | | | | | 4,06 |

Dari data pada tabel 81, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 149 berikut ini.



Gambar 149. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi DPF *Stainless Steel* dan 130 gr *Glasswool*

Secara umum, penggunaan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen akan menurunkan kebisingan yang dihasilkan oleh mesin Isuzu C190 namun tidak signifikan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 81 dan gambar 149 di atas.

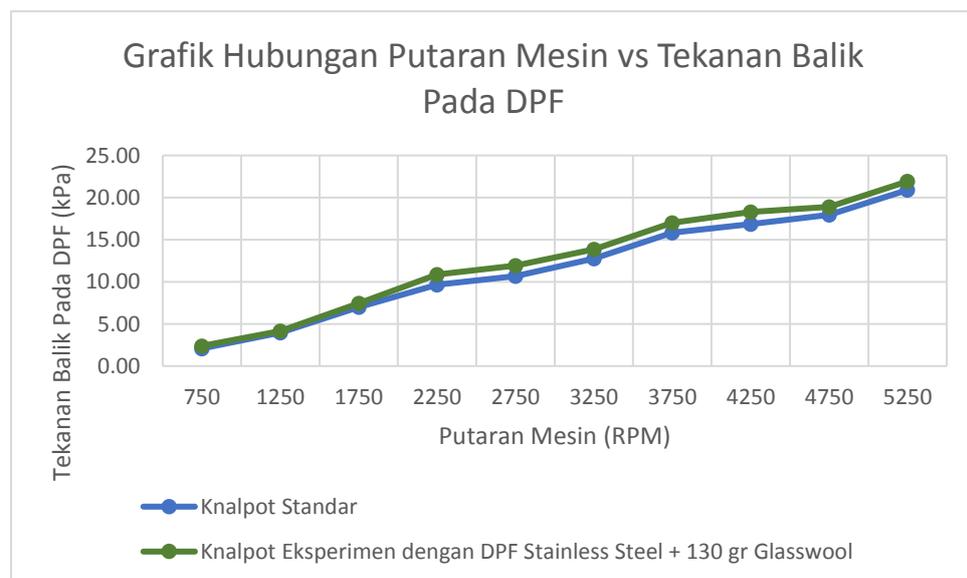
Pada putaran idle mesin (750 rpm), kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 84,03 dBA dengan tekanan balik sebesar 2,09 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* sebesar 75,83 dBA dengan tekanan balik sebesar 2,39 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 9,76%.

Pada putaran mesin 2750 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 96,03 dBA dengan tekanan balik sebesar 10,68 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* sebesar 92,60 dBA dengan tekanan balik sebesar 11,92 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 3,57%.

Pada putaran mesin 5250 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 104,03 dBA dengan tekanan balik sebesar 20,90 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* sebesar 99,67 dBA dengan tekanan balik sebesar 21,92 kPa, sehingga terjadi reduksi kebisingan sebesar 4,19%.

Reduksi kebisingan yang terjadi pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 disebabkan karena dengan pemasangan teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* tersebut dapat meningkatkan tekanan balik (*back pressure*) di dalam knalpot saat melewati permukaan DPF sehingga mampu mereduksi kebisingan yang dihasilkan, selain DPF tersebut berfungsi untuk mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat).

Peningkatan tekanan balik (*back pressure*) pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 dengan menggunakan teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* dapat dilihat pada gambar 150 berikut ini.



Gambar 150 Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (*Back Pressure*) Dengan Penggunaan Teknologi DPF *Stainless Steel* dan 130 gr *Glasswool*

Dari gambar 150 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 cenderung menghasilkan tekanan balik gas

buang yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan knalpot standar. Akibatnya, kebisingan yang dihasilkan pada ujung knalpot eksperimen (*tail pipe*) cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan knalpot standar (lihat gambar 149). Namun, meningkatnya tekanan balik (*back pressure*) sebesar 7,76% ini masih menguntungkan bagi ruang bakar mesin untuk menaikkan efisiensi thermal. Sebagaimana diketahui bahwa efisiensi thermal mesin hilang terbuang bersama gas buang sebesar 35%. Dengan adanya tekanan balik ini, temperatur ruang bakar akan terjaga untuk memaksimalkan pembakaran udara dan bahan bakar (solar). Hal ini cenderung menguntungkan mesin karena berdampak pada efisiensi konsumsi bahan bakar (lebih irit).

DPF selain difungsikan sebagai pereduksi emisi partikulat (opasitas) juga difungsikan sebagai peredam suara, sehingga semakin kecil diameter cell DPF dan semakin banyak jumlah *glasswool* yang dimasukkan ke dalam DPF dalam jumlah tertentu, maka kebisingan yang dihasilkan akan semakin rendah. Dalam penelitian ini, diameter cell DPF berbahan dasar plat *stainless steel* yang digunakan adalah 10 mm.

Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* dapat mereduksi kebisingan rata-rata sebesar **4,06%**.

Hasil penelitian ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Warju & Marsudi (2015) yang hanya mampu mereduksi kebisingan sebesar 1,7-5% dengan menggunakan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 100 gr *glasswool*.

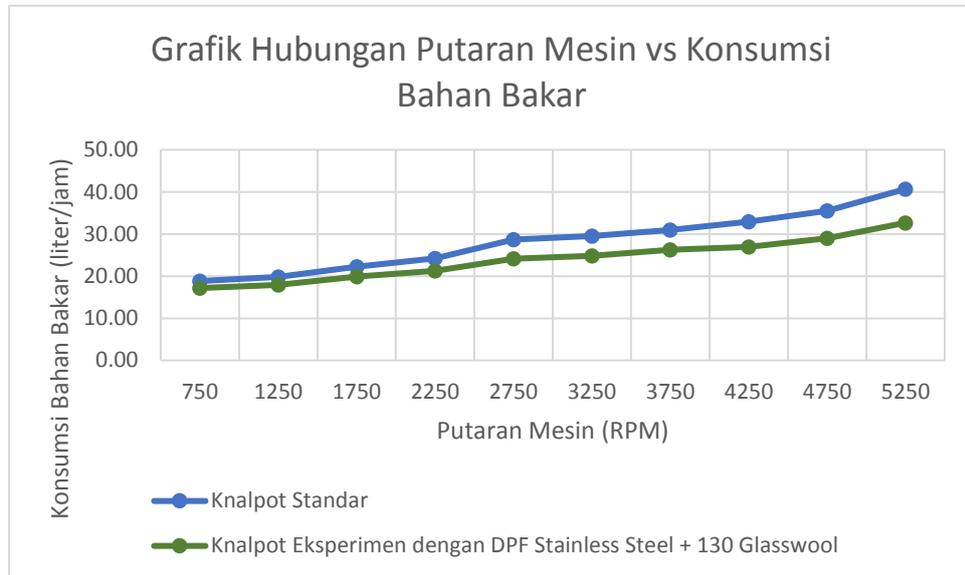
h. Kemampuan Teknologi Diesel Particulate Filter (DPF) Berbahan Dasar Plat Stainless Steel dan 130 gr Glasswool Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 terhadap konsumsi bahan bakar di SMK Semen Gresik, dapat dilihat pada tabel 82 berikut ini.

Tabel 82. Reduksi Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Isuzu C190 Dengan Penggunaan DPF Berbahan Dasar Plat Stainless Steel dan 130 gr Glasswool di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Mesin Isuzu C190 | | | Knalpot Eksperimen Dengan DPT Plat <i>Stainless Steel</i> dan 130 gr <i>Glasswool</i> | | | Reduksi Konsumsi Bahan Bakar (%) |
|---|----------------------------------|---------------------|------------------------------|---|---------------------|------------------------------|----------------------------------|
| | Temperatur (°C) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (L/Jam) | Temperatur (°C) | Tekanan Balik (kPa) | Konsumsi Bahan Bakar (L/Jam) | |
| 750 | 72,41 | 2,09 | 18,84 | 174,80 | 2,39 | 17,18 | 8,81 |
| 1250 | 77,80 | 3,98 | 19,85 | 186,21 | 4,17 | 17,90 | 9,82 |
| 1750 | 90,52 | 6,98 | 22,27 | 186,60 | 7,47 | 19,87 | 10,78 |
| 2250 | 97,60 | 9,67 | 24,26 | 205,09 | 10,87 | 21,24 | 12,45 |
| 2750 | 101,54 | 10,68 | 28,72 | 240,00 | 11,92 | 24,15 | 15,91 |
| 3250 | 103,81 | 12,74 | 29,56 | 251,31 | 13,85 | 24,80 | 16,10 |
| 3750 | 111,54 | 15,83 | 30,93 | 274,60 | 17,02 | 26,24 | 15,16 |
| 4250 | 123,93 | 16,86 | 32,97 | 320,81 | 18,30 | 26,97 | 18,20 |
| 4750 | 146,14 | 17,95 | 35,50 | 404,20 | 18,88 | 29,02 | 18,25 |
| 5250 | 150,51 | 20,90 | 40,69 | 486,67 | 21,92 | 32,67 | 19,71 |
| Rata-rata Reduksi Konsumsi Bahan Bakar | | | | | | | 14,52 |

Dari data pada tabel 82, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 151 berikut ini.



Gambar 151. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dengan Penggunaan Teknologi DPF *Stainless Steel* dan 130 gr *Glasswool*

Secara umum, penggunaan *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 dapat menurunkan konsumsi bahan bakar secara cukup signifikan di setiap putaran mesin. Hal ini dapat dilihat pada tabel 82 dan gambar 151 di atas.

Pada putaran idle mesin (750 rpm), konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 18,84 L/Jam dengan temperatur gas buang = 72,41°C dan tekanan balik gas buang sebesar 2,09 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* sebesar 17,18 L/Jam dengan temperatur gas buang = 174,80°C dan tekanan balik gas

buang sebesar 2,39 kPa. Reduksi konsumsi bahan bakar pada putaran ini sebesar 8,81%.

Pada putaran idle mesin (2750 rpm), konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 28,72 L/Jam dengan temperatur gas buang = 101,54°C dan tekanan balik gas buang sebesar 10,68 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* sebesar 27,45 L/Jam dengan temperatur gas buang = 240°C dan tekanan balik gas buang sebesar 11,92 kPa. Reduksi konsumsi bahan bakar pada putaran ini sebesar 15,91%.

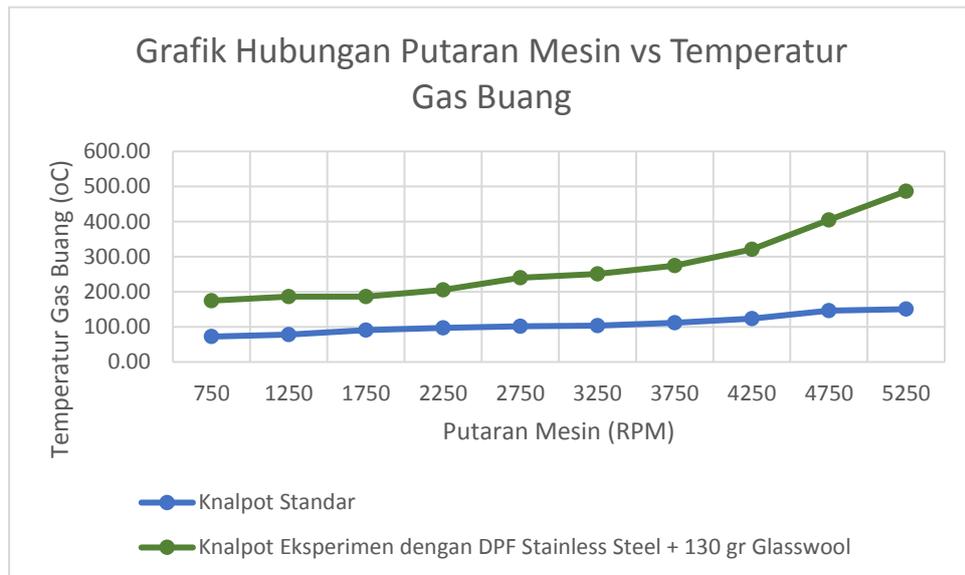
Pada putaran idle mesin (5250 rpm), konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 40,69 L/Jam dengan temperatur gas buang = 150,51°C dan tekanan balik gas buang sebesar 20,90 kPa. Sedangkan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* sebesar 32,67 L/Jam dengan temperatur gas buang = 486,67°C dan tekanan balik gas buang sebesar 21,92 kPa. Reduksi konsumsi bahan bakar pada putaran ini sebesar 19,71%.

Konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin selama 1 (satu) jam. Besar kecilnya konsumsi bahan bakar tergantung pada sempurna atau tidak sempurnanya campuran udara dan bahan bakar yang terbakar dalam ruang bakar. Semakin sempurna pembakaran, maka akan menghasilkan torsi dan daya efektif yang lebih

besar serta konsumsi bahan bakar yang lebih rendah (irit). Faktor-faktor yang menentukan kesempurnaan pembakaran antara lain: homogenitas campuran udara dan bahan bakar, kaya/miskinnya campuran yang masuk ruang bakar, waktu yang tersedia untuk melakukan pembakaran, dan desain ruang bakar itu sendiri.

Dari tabel 82 dan gambar 151 di atas ditunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar akan terus meningkat sebanding dengan putaran mesin. Hal ini disebabkan karena pada putaran mesin rendah, turbulensi campuran sangat rendah, sebagai akibat kecilnya kecepatan aliran campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Seperti diketahui, turbulensi aliran sangatlah penting dalam menghasilkan campuran yang baik, sehingga bisa meningkatkan energi yang dihasilkan dari hasil pembakaran. Pada putaran mesin menengah, dicapai campuran udara dan bahan bakar yang mendekati campuran *stoichiometric* sehingga proses pembakaran berlangsung sempurna sehingga torsi dan daya efektif yang dihasilkan mesin cenderung meningkat. Hal ini juga diimbangi oleh tercapainya turbulensi aliran campuran udara dan bahan bakar. Pada putaran mesin tinggi, meskipun turbulensi aliran bagus, akan tetapi kurangnya waktu yang tersedia untuk pembakaran mengakibatkan pembakaran menjadi kurang sempurna, ditambah lagi tingginya kerugian (*losses*) yang terjadi pada putaran mesin tinggi, maka akan menaikkan konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin.

Peningkatan temperatur gas buang dengan menggunakan knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 berteknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* dapat dilihat pada gambar 152 berikut ini.



Gambar 152. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Dengan Penggunaan Teknologi DPF *Stainless Steel* dan 130 gr *Glasswool*

Menurunnya konsumsi bahan bakar dengan penggunaan DPF ini juga disebabkan oleh faktor temperatur dan tekanan balik (*back pressure*). Dari tabel 82 dan gambar 152 terlihat bahwa dengan menggunakan teknologi DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 akan meningkatkan temperatur gas buang akibat peningkatan tekanan balik di setiap putaran mesin jika dibandingkan dengan knalpot standar. Panas yang tertahan di DPT berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* akan menyebabkan temperatur di knalpot mesin meningkat (mencapai 486,67°C) sebagai akibat meningkatnya tekanan balik (*back pressure*) yang terjadi (lihat tabel 82 dan

gambar 150). Apalagi *casings* DPT juga diberi pembungkus knalpot (*exhaust wrap*) yang akan menahan panas keluar knalpot sehingga efisiensi thermal mesin akan meningkat (>15%) jika dibandingkan dengan efisiensi thermal knalpot standar. Efisiensi thermal berhubungan dengan berapa banyak tenaga panas dari pembakaran yang dirubah menjadi tenaga untuk mendorong torak.

Efisiensi thermal ini besarnya sekitar 15%. Hal ini disebabkan adanya pendinginan silinder, baik oleh air ataupun udara, terbawa oli, dan terbawa gas buang (35%) pada waktu meninggalkan silinder. Gas bekas pembakaran ini masih cukup mempunyai panas (lihat gambar 93).

Meningkatnya efisiensi thermal mengakibatkan energi yang diberikan ke piston pada saat langkah kerja sangat besar, kemudian energi tersebut diteruskan ke batang torak (*connecting rod*) dan ke poros engkol (*crankshaft*), sehingga gaya tangensial menjadi lebih besar. Dengan gaya tangensial yang lebih besar, maka torsi dan daya efektif yang dihasilkan mesin akan semakin besar dan konsumsi bahan bakar akan menjadi lebih rendah (irit bahan bakar) jika dibandingkan dengan penggunaan knalpot standar.

Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa DPF berbahan dasar

plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* dapat mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar **14,52%**.

Hasil penelitian ini jauh lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Berdasarkan penelitian Warju & Marsudi (2015) disimpulkan bahwa penggunaan DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 100 gr *glasswool* hanya dapat mereduksi konsumsi bahan bakar sebesar **3,1-7,9%**. Sedangkan penelitian Vasanthan (2013) hanya mampu mereduksi konsumsi bahan bakar hingga mencapai **12%** dengan menggunakan DPF berbahan dasar oksida tembaga (*copper oxide*). Namun, efisiensi thermal mesin mengalami penurunan hingga 12-16%.

Oleh karena itu, teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* di atas dapat diaplikasikan pada semua unit *engine stand*/mobil praktik di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik karena telah terbukti mampu mereduksi opasitas gas buang rata-rata sebesar **90,85%**, mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar **4,06%**, dan mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar **14,52%** untuk mendukung pengembangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.

i. Kemampuan Teknologi *Off-Set Tube Type Muffler* Terhadap Reduksi Kebisingan Kendaraan

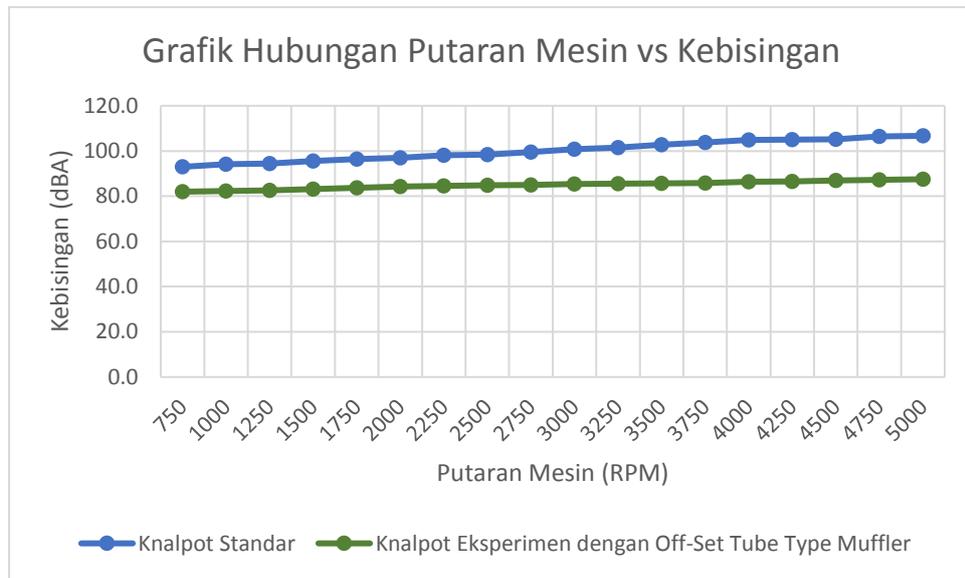
Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan teknologi *off-set tube type muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K

di SMK Semen Gresik terhadap reduksi kebisingan kendaraan, dapat dilihat pada tabel 83 berikut ini.

Tabel 83. Reduksi Kebisingan Pada Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Penggunaan *Off-Set Tube Type Muffler* di SMK Semen Gresik

| Putaran Mesin (RPM) | Knalpot Standar Toyota Kijang Tipe 5K | | | Knalpot Eksperimen Dengan <i>Off-Set Tube Type Muffler</i> | | | Reduksi Kebisingan (%) |
|-------------------------------------|--|-----------------|-----------|--|-----------------|-----------|------------------------|
| | Tekanan Balik (kPa) | Temperatur (°C) | SPL (dBA) | Tekanan Balik (kPa) | Temperatur (°C) | SPL (dBA) | |
| | 750 | 1,88 | 139,6 | 93,0 | 0,91 | 100,6 | |
| 1000 | 2,82 | 167,2 | 94,1 | 1,57 | 101,2 | 82,3 | 12,54 |
| 1250 | 3,30 | 179,2 | 94,4 | 2,48 | 103,9 | 82,6 | 12,50 |
| 1500 | 4,88 | 194,4 | 95,6 | 3,08 | 111,3 | 83,2 | 12,97 |
| 1750 | 5,57 | 200,1 | 96,4 | 3,81 | 113,5 | 83,7 | 13,17 |
| 2000 | 7,78 | 202,8 | 97,0 | 4,72 | 125,4 | 84,3 | 13,09 |
| 2250 | 8,60 | 207,1 | 98,1 | 6,10 | 137,7 | 84,6 | 13,76 |
| 2500 | 10,62 | 210,0 | 98,4 | 7,62 | 145,8 | 84,9 | 13,72 |
| 2750 | 12,00 | 223,1 | 99,6 | 8,75 | 149,3 | 85,0 | 14,26 |
| 3000 | 13,31 | 225,0 | 100,8 | 9,60 | 153,0 | 85,4 | 14,98 |
| 3250 | 13,83 | 225,1 | 101,5 | 10,75 | 155,9 | 85,5 | 15,37 |
| 3500 | 14,31 | 234,0 | 102,8 | 11,57 | 158,6 | 85,7 | 17,32 |
| 3750 | 14,64 | 234,2 | 103,8 | 12,00 | 167,8 | 85,9 | 17,63 |
| 4000 | 15,73 | 242,1 | 104,9 | 13,18 | 179,3 | 86,4 | 17,64 |
| 4250 | 16,70 | 263,1 | 105,0 | 13,50 | 182,7 | 86,6 | 17,52 |
| 4500 | 17,84 | 276,0 | 105,2 | 14,73 | 188,1 | 87,0 | 17,30 |
| 4750 | 18,28 | 276,5 | 106,5 | 15,25 | 192,9 | 87,2 | 18,12 |
| 5000 | 20,36 | 282,0 | 106,7 | 17,78 | 193,9 | 87,5 | 17,99 |
| Rata-rata Reduksi Kebisingan | | | | | | | 15,10 |

Dari data pada tabel 83, apabila dibuat dalam bentuk grafik akan nampak seperti pada gambar 153 berikut ini.



Gambar 153. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Kebisingan Dengan Penggunaan Teknologi *Off-Set Tube Type Muffler*

Secara umum, penggunaan teknologi *off-set tube type muffler* pada knalpot eksperimen akan menurunkan kebisingan yang dihasilkan oleh mesin Toyota Kijang tipe 5K secara cukup signifikan di setiap putaran mesin. Hal ini dapat dilihat pada tabel 83 dan gambar 153 di atas.

Pada putaran idle mesin (750 rpm), kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 93,0 dBA dengan tekanan balik sebesar 1,88 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan teknologi *off-set tube type muffler* sebesar 82,0 dBA dengan tekanan balik sebesar 0,91 kPa, sehingga pada putaran ini terjadi reduksi kebisingan sebesar 11,83%.

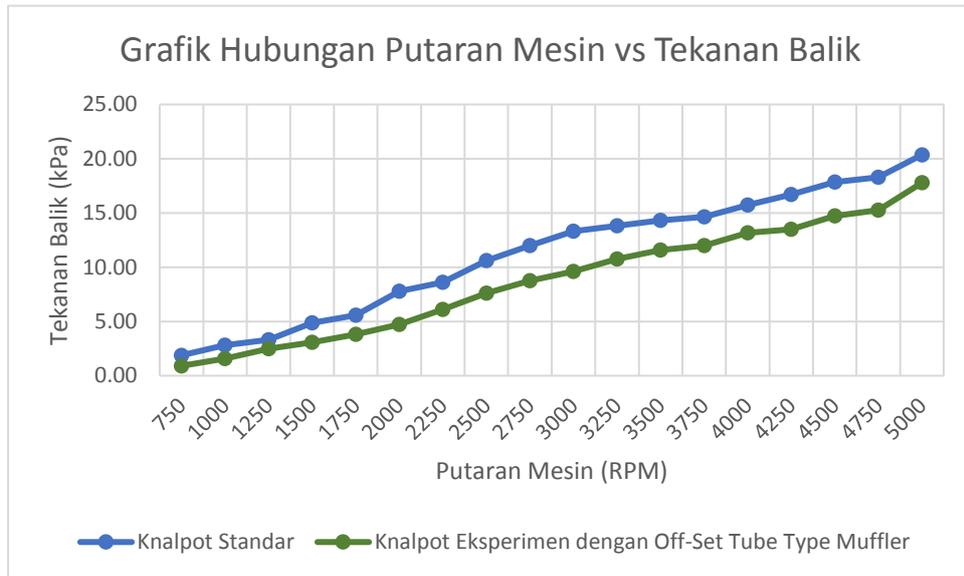
Pada putaran mesin 3000 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 100,8 dBA dengan tekanan balik sebesar 13,31 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan

teknologi *off-set tube type muffler* sebesar 85,4 dBA dengan tekanan balik sebesar 9,60 kPa, sehingga pada putaran ini terjadi reduksi kebisingan sebesar 14,98%.

Pada putaran mesin 5000 rpm, kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot standar sebesar 106,7 dBA dengan tekanan balik sebesar 20,36 kPa. Sedangkan kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot eksperimen dengan teknologi *off-set tube type muffler* sebesar 87,5 dBA dengan tekanan balik sebesar 17,78 kPa, sehingga pada putaran ini terjadi reduksi kebisingan sebesar 17,99%.

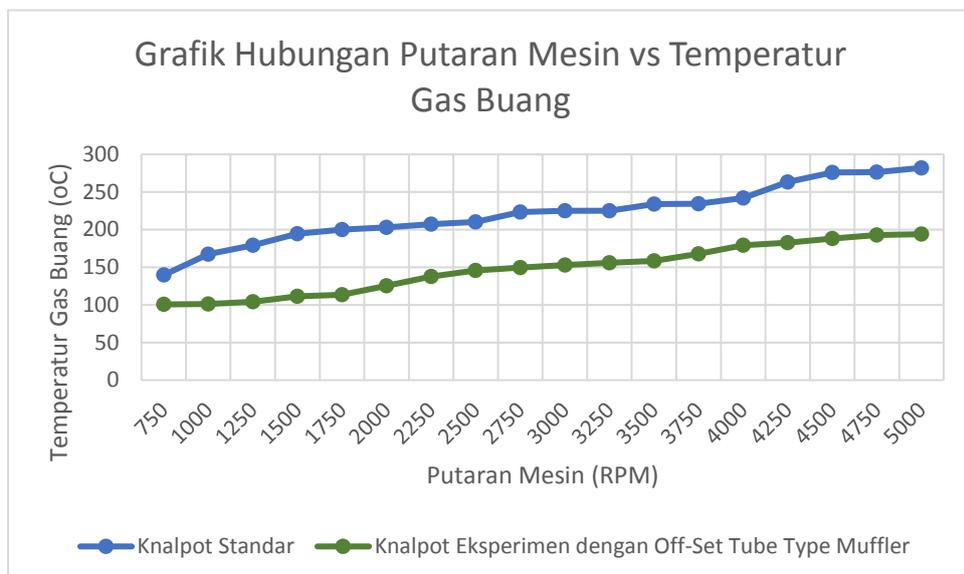
Reduksi kebisingan yang terjadi pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 5K disebabkan karena pemasangan teknologi *off-set tube type muffler* dapat menurunkan tekanan balik dan temperatur gas buang di dalam knalpot karena gas buang dipantul-pantulkan melalui sekat yang ada di dalam *muffler* lalu dialirkan ke ruang-ruang *muffler* berikutnya yang akhirnya dialirkan menuju pipa ekor (*tail pipe*) sehingga dampaknya mampu mereduksi kebisingan yang dihasilkan oleh kendaraan.

Penurunan tekanan balik (*back pressure*) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K dengan menggunakan teknologi *off-set tube type muffler* dapat dilihat pada gambar 154 berikut ini.



Gambar 154. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Tekanan Balik (*Back Pressure*) Dengan Penggunaan Teknologi *Off-Set Tube Type Muffler*

Sedangkan penurunan temperatur gas buang pada knalpot eksperimen Toyota Kijang tipe 5K dengan menggunakan teknologi *off-set tube type muffler* dapat dilihat pada gambar 155 berikut ini.



Gambar 155. Hubungan Putaran Mesin Terhadap Temperatur Gas Buang Dengan Penggunaan Teknologi *Off-Set Tube Type Muffler*

Dari gambar 154 dan 155 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan teknologi *off-set tube type muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K cenderung menghasilkan tekanan balik dan temperatur gas buang yang lebih rendah jika dibandingkan dengan knalpot standar secara cukup signifikan. Akibatnya, kebisingan yang dihasilkan pada ujung knalpot eksperimen (*tail pipe*) cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan knalpot standar (lihat gambar 153).

Untuk membandingkan penggunaan knalpot standar dan knalpot eksperimen yang dilengkapi dengan teknologi *off-set tube type muffler* tersebut apakah memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 tahun 2009 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru dapat dilihat pada tabel 84 berikut ini.

Tabel 84. Perbandingan Hasil Uji Kebisingan antara Knalpot Standar dan Knalpot Eksperimen Mesin Toyota Kijang Tipe 5K Dengan Teknologi *Off-Set Tube Type Muffler*

| Kategori | Ambang Batas (Baku Mutu) Kebisingan (dBA) | Putaran Mesin | Kebisingan Knalpot Standar Toyota Kijang tipe 5K (dBA) | Keterangan | Kebisingan Knalpot Eksperimen Dengan Teknologi <i>Off-Set Tube Type Muffler</i> (dBA) | Keterangan |
|---|---|---------------|--|----------------------------|---|----------------------|
| Kendaraan dengan rata-rata putaran mesin $5.000 < S < 7500$ rpm | 93 | 3750 rpm | 103,8 | Tidak Lulus Uji Kebisingan | 85,9 | Lulus Uji Kebisingan |

Dari tabel 84 di atas dapat dilihat bahwa penggunaan knalpot standar Toyota Kijang tipe 5K tidak lulus uji kebisingan karena menghasilkan

kebisingan di atas ambang batas kebisingan yang telah ditetapkan, yaitu 103,8 dBA padahal ambang batas (baku mutu) kebisingannya adalah 93 dBA. Dalam penelitian ini, knalpot standar mesin Toyota Kijang tipe 5K menggunakan *muffler* tipe aliran balik (*reverse flow muffler*). Sedangkan penggunaan knalpot eksperimen dengan teknologi *off-set tube type muffler* pada mesin Toyota Kijang tipe 5K dapat memenuhi ambang batas kebisingan (lulus uji kebisingan) karena menghasilkan kebisingan di bawah baku mutu kebisingan, yaitu 85,9 dBA. Bahkan pada putaran mesin tinggi (5000 rpm), kebisingan yang dihasilkan hanya mencapai 87,5 dBA.

Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *off-set tube type muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa *off-set tube type muffler* dapat mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar **15,10%** atau dapat menurunkan kebisingan antara **11-19,3 dBA** atau **rata-rata 15,22 dBA**.

Hasil reduksi tingkat kebisingan ini lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian Warju, Muliatna, & Dewanto (2009) yang hanya mampu mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar **8,43%** dengan menggunakan *eco-muffler* jenis *off-set tube type muffler*, penelitian Pal, Golan, Kumar, Jain, Ramdas, & Sharma (2014) yang hanya mampu menurunkan kebisingan antara **10-16,5 dBA** dengan menggunakan *muffler* yang dilengkapi dengan resonator menyerupai piston yang dapat diatur posisinya, penelitian Allam (2014) yang hanya mampu menurunkan

kebisingan maksimal **6 dBA** dengan menggunakan *dissipative muffler*, penelitian Singh & Shrivastava (2015) yang hanya mampu menurunkan kebisingan mesin rata-rata **10-15 dBA** dengan menggunakan *reflective muffler*, dan penelitian Reddy & Prakash (2016) yang hanya mampu menurunkan kebisingan antara **10,7-16,2 dBA** dengan menggunakan *reactive muffler*.

Sedangkan hasil survey tingkat kebisingan di bengkel otomotif (*automotive workshop*) SMK Semen Gresik berkisar antara 81,4-106,7 dBA dengan rata-rata kebisingan sebesar 86,7 dBA dengan menggunakan alat ukur *sound level meter* (SLM). Dengan tingkat kebisingan sebesar 81,4-106,7 dBA tersebut, maka bengkel otomotif SMK Semen Gresik dalam kategori tingkat kebisingan sangat bising sampai menulikan dengan waktu kontak yang diijinkan hanya < 1/3-8 jam (Wardhana, 2001: 64). Dampaknya, warga sekolah SMK Semen Gresik dapat menderita gangguan pendengaran atau bahkan kerusakan pendengaran akibat kebisingan yang terjadi di bengkel otomotif. Oleh karena itu, *The Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) mencanangkan 90 dBA untuk 8 jam kerja per hari. Sedangkan *The Environmental Protection Agency* (EPA) merekomendasikan 85 dBA sebagai nilai maksimum yang boleh diterima manusia di lingkungan kerjanya untuk 8 jam kerja per hari. Di Indonesia, juga telah dikeluarkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor PER.13/MEN/XI/2011, yang menetapkan nilai ambang batas kebisingan di tempat kerja adalah 85 dBA untuk waktu kerja 8 jam sehari

atau 40 jam seminggu. Sedangkan untuk waktu kerja 4 jam sehari, nilai ambang batas kebisingan yang ditetapkan adalah 88 dBA.

Oleh karena itu, teknologi *eco-muffler* jenis *off-set tube type muffler* di atas dapat diaplikasikan pada semua unit *engine stand*/mobil praktik di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik karena telah terbukti mampu mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar **15,10%** atau dapat menurunkan kebisingan antara **11-19,3 dBA** atau rata-rata **15,22 dBA** untuk mendukung pengembangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.

j. Kemampuan Teknologi *Oil Filter Cleaner* Terhadap Reduksi Limbah Oli

Untuk mengetahui sejauh mana efektivitas penggunaan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik terhadap reduksi limbah oli yang dihasilkan dari saringan oli bekas (*used oil filter*), dapat dilihat pada tabel 85 berikut ini.

Tabel 85. Reduksi Limbah Oli Dengan Penggunaan *Oil Filter Cleaner* Pada Temperatur 85°C di SMK Semen Gresik

| Waktu Pembersihan <i>Oil Filter</i> Bekas (menit) | Temperatur Air (°C) | Tekanan Air (kg/cm ²) | Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter) | Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter/jam) | Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter/hari) | Estimasi Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter/bulan) | Estimasi Jumlah Limbah Oli yang Dihasilkan dari <i>Oil Filter</i> Bekas (liter/tahun) |
|---|---------------------|-----------------------------------|--|--|---|---|---|
| 5 | 85 | 0,7 | 0,20 | 9,60 | 76,8 | 1.536 | 28.032 |
| 10 | 85 | 0,7 | 0,50 | 12 | 96 | 1.920 | 35.040 |
| 15 | 85 | 0,7 | 0,50 | 8 | 64 | 1.280 | 23.360 |
| 20 | 85 | 0,7 | 0,50 | 6 | 48 | 960 | 17.520 |

Catatan: Waktu operasi *oil filter cleaner* 8 jam/hari, 5 hari kerja, 365 hari/tahun

Dari tabel 85 di atas dapat dilihat bahwa secara umum dengan menggunakan teknologi *oil filter cleaner* dapat mereduksi limbah oli dari saringan oli bekas (*used oil filter*) yang dihasilkan di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik secara signifikan.

Pertama-tama air panas di bak penampungan air dengan temperatur 85°C yang telah dipanaskan oleh *heater* dipompa dengan tekanan 0,7 kg/cm² menuju *nozzle*. Air panas bertekanan dari *nozzle* tersebut dialirkan menuju ke bagian dalam dari elemen saringan oli bekas. Kemudian air panas tersebut mengalir ke bagian samping dari saringan oli bekas setelah melewati elemen penyaring yang biasanya terbuat dari kertas atau plat-plat aluminium. Air panas tersebut akan menekan dan bercampur dengan oli bekas yang menempel di permukaan elemen saringan oli dan mengalir keluar dari bagian samping saringan oli bekas menuju ke bak penampungan oli. Di bak penampungan, limbah oli dan air tersebut akan terpisah akibat perbedaan berat jenis, dimana limbah oli akan berada di atas air karena berat

jenisnya lebih rendah daripada air. Untuk mengeluarkan limbah oli di bak penampungan, kita tinggal membuka kran pembuangan untuk mengukur volume limbah oli yang dihasilkan dengan menggunakan gelas ukur.

Dari tabel 85 juga dapat dilihat bahwa waktu pembersihan terbaik saringan oli bekas (*used oil filter*) adalah 10 menit dengan temperatur air 85°C dan tekanan air 0,7 kg/cm². Di dalam *oil filter cleaner*, terdapat 4 (empat) buah *nozzle* yang dapat membersihkan 4 buah *oil filter* bekas sekaligus sekali operasi. Dalam sekali operasi, setiap *nozzle* akan menyemprotkan air panas (85°C) dengan tekanan 0,7 kg/cm² ke dalam *oil filter* bekas yang akan menghasilkan 500 ml (0,50 liter) limbah oli. Artinya dalam satu jam operasi dengan durasi pembersihan *oil filter* bekas selama 10 menit, akan dihasilkan limbah oli sebesar 0,50 liter x 6 x 4 *nozzle* = 12 liter/jam. Dengan waktu pembersihan saringan oli bekas selama 10 menit akan dihasilkan limbah oli sebesar 12 liter/jam, 96 liter/hari, estimasi 1.920 liter/bulan, dan estimasi 35.040 liter/tahun.

Dengan waktu pembersihan saringan oli bekas (*used oil filter*) selama 10 menit, akan didapatkan kondisi saringan oli bekas yang lebih bersih (lihat gambar 156) sehingga bisa meminimalisir pencemaran tanah dan air karena *oil filter* bekas biasanya dibuang begitu saja ke tempat sampah tanpa ada perlakuan (*treatment*) di sekolah.



(a)

(b)

Gambar 156. Kondisi Saringan Oli Mesin Bekas (*Used Oil Filter*): (a) Sebelum Pembersihan, (b) Setelah Pembersihan Dengan Menggunakan *Oil Filter Cleaner* Selama 10 Menit Dengan Temperatur Air 85°C dan Tekanan Air 0,7 kg/cm²

Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa *oil filter cleaner* dapat mereduksi limbah oli rata-rata sebesar 12 liter/jam, 96 liter/hari, estimasi 1.920 liter/bulan, dan estimasi 35.040 liter/tahun dengan waktu pembersihan selama 10 menit dengan temperatur air 85°C dan tekanan air 0,7 kg/cm².

Sedangkan hasil survey potensi limbah saringan oli mesin bekas di SMK Semen Gresik dihasilkan total limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) sebanyak 32 buah/tahun. Rata-rata dalam 1 (satu) buah saringan oli mesin bekas tersebut masih mengandung 0,5 liter limbah oli, maka potensi limbah oli yang dihasilkan sebesar 16 liter limbah oli/tahun yang akan mencemari tanah dan air.

Oleh karena itu, dengan telah diciptakannya teknologi *oil filter cleaner* tersebut, maka upaya untuk mereduksi limbah oli di Bengkel

Otomotif SMK Semen Gresik dapat dilakukan secara cepat, tepat, dan berkelanjutan untuk mendukung pengembangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.

C. Revisi Produk Akhir (*Final Product Revision*)

1. *Metallic Catalytic Converter*

Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa *metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom mampu mereduksi emisi CO dan HC rata-rata sebesar 95,35% dan 79,28%, dapat mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 13,90%, dan dapat mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 6,57%. Hasil ini jauh lebih baik (lebih efektif) jika dibandingkan dengan *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan (hasil uji coba awal) dan plat tembaga (hasil uji lapangan utama).

Metallic catalytic converter berbahan dasar plat tembaga berlapis krom ini juga mampu memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama.

Untuk mencegah korosi, maka *metallic catalytic converter casing* dan *muffler* mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik perlu dilakukan

pengecatan menggunakan cat anti bakar (*high temperature spray*) dengan kombinasi warna hitam dan silver (lihat gambar 157 dan gambar 158).



Gambar 157. *Metallic Catalytic Converter Casing* dan *Muffler* Mesin Toyota Kijang Tipe 7K di SMK Semen Gresik Sebelum Pengecatan



Gambar 158. *Metallic Catalytic Converter Casing* dan *Muffler* Mesin Toyota Kijang Tipe 7K di SMK Semen Gresik Setelah Pengecatan

2. Diesel Particulate Filter (DPF)

Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* dapat mereduksi opasitas gas buang rata-rata sebesar 90,85%, dapat mereduksi kebisingan kendaraan sebesar 4,06%, dan dapat mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 14,52%. Hasil ini jauh lebih baik (lebih efektif) jika dibandingkan dengan DPF dengan bahan yang sama dengan 110 gr *glasswool* (hasil uji coba awal) dan 150 gr *glasswool* (hasil uji lapangan utama).

DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* ini juga mampu memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama.

Untuk mencegah korosi, maka DPF *casing* dan *muffler* mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik perlu dilakukan pengecatan menggunakan cat anti bakar (*high temperature spray*) dengan kombinasi warna hitam dan silver (lihat gambar 159 dan gambar 160).



Gambar 159. DPF *Casing* dan *Muffler* Mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik Sebelum Pengecatan



Gambar 160. DPF *Casing* dan *Muffler* Mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik Setelah Pengecatan

3. *Eco-Muffler*

Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *off-set tube type muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa *off-set tube type muffler* dapat mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar **15,10%**.

Eco-muffler jenis *off-set tube type muffler* ini juga mampu memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 07 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru.

Untuk mencegah korosi, maka *off-set tube type muffler* dan *muffler* standar mesin Toyota Kijang Tipe 5K di SMK Semen Gresik perlu dilakukan pengecatan menggunakan cat anti bakar (*high temperature spray*) dengan kombinasi warna hitam dan silver (lihat gambar 161 dan gambar 162).



Gambar 161. *Off-set Tube Type Muffler* dan *Muffler* Standar Mesin Toyota Kijang Tipe 5K di SMK Semen Gresik Sebelum Pengecatan



Gambar 162. *Off-set Tube Type Muffler* dan *Muffler* Standar Mesin Toyota Kijang Tipe 5K di SMK Semen Gresik Setelah Pengecatan

4. *Oil Filter Cleaner*

Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik dapat disimpulkan bahwa *oil filter cleaner* dapat mereduksi limbah oli rata-rata sebesar 12 liter/jam, 96 liter/hari, estimasi 1.920 liter/bulan, dan estimasi 35.040 liter/tahun dengan waktu pembersihan selama 10 menit dengan temperatur air 85°C dan tekanan air 0,7 kg/cm².

Teknologi *oil filter cleaner* ini sudah terbukti layak pakai di bengkel otomotif SMK Semen Gresik untuk mereduksi limbah oli yang dihasilkan. Namun dalam pemakaian jangka panjang, bak penampung air yang terbuat dari plastik tersebut akan menjadi mengembang akibat panas yang dihasilkan oleh *heater* dengan daya 500 Watt.

Oleh karena itu, revisi produk final terhadap *oil filter cleaner* dilakukan dengan cara mengganti bak penampung air yang terbuat dari box plastik tersebut (gambar 163) dengan plat besi dengan tebal 2 mm (gambar 164). Langkah terakhir adalah memberikan warna biru pada bak penampung air tersebut.



Gambar 163. Bak Plastik Penampung Air Pada *Oil Filter Cleaner*



Gambar 164. Produk Final *Oil Filter Cleaner*

D. Kajian Produk Akhir

1. Model Kajian Lingkungan Sekolah (KLS) yang Tepat di SMK

Model kajian lingkungan sekolah (KLS) yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK harus merujuk pada ISO 14000 atau 14001 tentang Standar Manajemen Lingkungan dan OHSAS 18001:2007 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3). KLS disusun melalui survei tentang konsumsi bahan bakar, baik premium maupun solar yang digunakan oleh siswa dan guru dalam proses pembelajaran di laboratorium/bengkel otomotif dan konsumsi bahan bakar untuk transportasi dari rumah ke sekolah dan sebaliknya. Hasil survei tentang konsumsi bahan bakar/tahun di sekolah digunakan sebagai dasar untuk mengestimasi potensi total beban emisi yang disumbangkan oleh sekolah ke atmosfer.

Berdasarkan hasil kajian lingkungan sekolah disimpulkan bahwa SMK Semen Gresik menghasilkan estimasi total beban emisi CO sebesar 14,1 ton/tahun, emisi HC sebesar 4,4 ton/tahun, dan emisi NOx 0,8 ton/tahun. Selain itu, SMK Semen Gresik juga menghasilkan estimasi total beban emisi partikulat (PM₁₀) sebesar 0,2 ton/tahun dan estimasi total beban emisi CO₂ sebesar 133 ton/tahun. Besarnya emisi yang dihasilkan dari aktivitas pembelajaran dan lainnya di sekolah memberikan peluang terhadap gangguan kesehatan bagi guru, siswa, tenaga kependidikan, dan petugas layanan khusus sekolah serta masyarakat di sekitarnya akibat paparan emisi tersebut terhadap kesehatan.

Selain itu, diperlukan juga survey tentang tingkat kebisingan di bengkel otomotif sekolah. Hasil survey tingkat kebisingan di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik berkisar antara 81,4-106,7 dBA dengan rata-rata kebisingan sebesar 86,7 dBA dengan menggunakan alat ukur *sound level meter* (SLM). Dengan tingkat kebisingan sebesar 81,4-106,7 dBA tersebut, maka bengkel otomotif SMK Semen Gresik dalam kategori tingkat kebisingan sangat bising sampai menulikan dengan waktu kontak yang diijinkan hanya < 1/3-8 jam (Wardhana, 2001: 64).

Selanjutnya, diperlukan juga survei dan observasi tentang limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) yang dihasilkan oleh sekolah. Hasil survei tentang limbah saringan oli mesin bekas digunakan sebagai dasar untuk mengestimasi limbah oli yang dibuang oleh sekolah ke tempat sampah. Padahal limbah saringan oli mesin bekas ini jika dibuang begitu saja ke tempat sampah

tanpa adanya perlakuan (*treatment*) terlebih dahulu akan menyebabkan pencemaran tanah dan air.

Berdasarkan hasil survei dan pengamatan disimpulkan bahwa SMK Semen Gresik menghasilkan total limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) sebanyak 32 buah/tahun. Dalam 1 (satu) buah saringan oli mesin bekas tersebut rata-rata masih mengandung 0,5 liter limbah oli, maka potensi limbah oli yang dihasilkan sebesar 16 liter limbah oli/tahun yang akan mencemari tanah dan air.

Hasil kajian potensi total beban emisi gas buang (CO, HC, NO_x, PM₁₀, dan CO₂), tingkat kebisingan, dan limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) di bengkel otomotif sekolah tersebut digunakan sebagai dasar penyusunan kajian lingkungan sekolah (KLS) yang tepat pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK yang memerlukan kebijakan lingkungan untuk mengatasinya.

2. *Metallic Catalytic Converter*

Dari hasil penelitian dan pengembangan tentang teknologi *metallic catalytic converter* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K (1800 cc) di SMK Semen Gresik terbukti bahwa diantara sejumlah logam transisi, plat tembaga berlapis chrom (Cu+Cr) merupakan katalis terbaik dalam mereduksi emisi CO dan HC dibandingkan penggunaan plat tembaga (Cu), dan plat kuningan (CuZn). Hal ini sesuai dengan pendapat Obert (1973: 381) yang menyatakan bahwa sejumlah bahan katalis yang diketahui sangat efektif untuk reaksi oksidasi adalah platinum, plutonium, palladium (logam-logam mulia);

tembaga, vanadium, besi, cobalt, nikel, mangan, **chrom** dan oksidanya. Selain itu, Dowden (1970) dalam bukunya “*Catalytic Hand Book*” juga menyatakan bahwa beberapa logam yang diketahui efektif sebagai katalis oksidasi dan reduksi dari yang besar sampai yang kecil adalah Pt, Pd, Ru > Mn, **Cu** > Ni > Fe > **Cr** > **Zn** dan oksida dari logam-logam tersebut.

Metallic catalytic converter plat tembaga berlapis krom dapat mereduksi emisi CO dan HC rata-rata sebesar 95,35% dan 79,28%, dapat mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 13,90%, dan dapat mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 6,57%. Bahkan, *metallic catalytic converter* ini mampu memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama (lulus uji emisi gas buang).

Di sisi lain, manajemen sarana dan prasarana pendidikan tidak hanya merupakan pengaturan beban belajar, fasilitas fisik, dan rutinitas saja, tetapi menyiapkan kondisi kelas, bengkel/laboratorium, dan lingkungan sekolah agar tercipta kenyamanan dan suasana belajar yang efektif (Arifin, 2016: 1756). Hal ini juga didukung oleh teori Prosser ke-1 yang menyatakan bahwa “*Vocational education will be efficient in proportion as the environment in which the learner is trained is a replica of the environment in which he must subsequently work* (Prosser & Quigley, 1950: 217)”. Pendidikan kejuruan akan efisien jika lingkungan dimana siswa dilatih merupakan replika lingkungan dimana nanti ia akan bekerja. Oleh karena itu, sekolah, kelas, dan bengkel/laboratorium perlu dikelola secara baik untuk menciptakan iklim belajar yang menunjang. Arifin

juga menyatakan bahwa salah satu permasalahan dalam pengelolaan fasilitas praktik di sekolah adalah pengelolaan emisi yang dihasilkan oleh gas buang fasilitas praktik (Arifin, 2016: 1746). Oleh karena itu, teknologi otomotif *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) dapat dijadikan model dan diterapkan di semua unit motor bensin (mobil dan sepeda motor) yang ada di bengkel otomotif sekolah dan semua unit sepeda motor dan mobil yang digunakan oleh para guru, tenaga kependidikan, petugas layanan khusus dan siswa karena telah terbukti mampu mereduksi emisi CO dan HC secara sangat signifikan untuk mengembangkan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.

3. Diesel Particulate Filter (DPF)

Dari hasil penelitian dan pengembangan tentang teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 (1900 cc) di SMK Semen Gresik terbukti bahwa DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* merupakan DPF terbaik dalam mereduksi opasitas gas buang, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar kendaraan jika dibandingkan dengan pemakaian 110 gr *glasswool* dan 150 gr *glasswool*.

DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* dapat mereduksi opasitas gas buang rata-rata sebesar 90,85%, dapat mereduksi kebisingan kendaraan sebesar 4,06%, dan dapat mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 14,52%. Bahkan, DPF ini mampu memenuhi Peraturan

Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama (lulus uji opasitas gas buang).

Oleh karena itu, teknologi otomotif *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* tersebut dapat dijadikan model dan diterapkan di semua unit *engine stand*/motor diesel yang ada di bengkel otomotif sekolah dan semua unit mobil diesel yang digunakan oleh para guru, tenaga kependidikan, dan petugas layanan khusus sekolah untuk mengembangkan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK. Hal ini juga didukung oleh teori Prosser ke-2 yang menyatakan bahwa "*Effective vocational training can only be given where the training jobs are carried on in the same way with the same operations, the same tools and the same machines as in the occupation itself* (Prosser & Quigley, 1950: 218)". Pendidikan kejuruan yang efektif hanya dapat diberikan dimana tugas-tugas latihan dilakukan dengan cara, alat, dan mesin yang sama seperti yang diterapkan di tempat kerja. Saat ini, teknologi mesin diesel terbaru telah dilengkapi dengan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) sehingga siswa SMK harus dibekali dengan kemampuan tentang pengujian opasitas gas buang (emisi partikulat) dengan menggunakan *smoke opacity meter*.

4. *Eco-Muffler*

Dari hasil penelitian dan pengembangan tentang teknologi *eco-muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K (1500 cc) di SMK

Semen Gresik terbukti bahwa *off-set tube type muffler* merupakan jenis *eco-muffler* terbaik dalam mereduksi kebisingan kendaraan hingga mencapai 15,10% jika dibandingkan dengan *straight-through type muffler* dan *three pass tube type muffler* yang hanya mampu mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 12,57% dan 13,43%. Bahkan, *eco-muffler* jenis *off-set tube type muffler* ini mampu memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru (lulus uji kebisingan).

Oleh karena itu, teknologi otomotif *off-set tube type muffler* tersebut dapat dijadikan model dan diterapkan di semua unit *engine stand*/mesin bensin/mesin diesel yang ada di bengkel otomotif sekolah dan semua unit mobil bensin/mobil diesel yang digunakan oleh para guru, siswa, tenaga kependidikan, dan petugas layanan khusus sekolah untuk mengembangkan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK. Pengembangan teknologi ini dapat mereduksi tingkat kebisingan khususnya di bengkel otomotif sekolah sehingga memenuhi nilai ambang batas (NAB) kebisingan di lingkungan tempat kerja/praktek, yaitu 85 dBA. Hal ini juga didukung oleh teori Prosser ke-1 yang menyatakan bahwa "*Vocational education will be efficient in proportion as the environment in which the learner is trained is a replica of the environment in which he must subsequently work* (Prosser & Quigley, 1950: 217)". Pendidikan kejuruan akan efisien jika lingkungan dimana siswa dilatih merupakan replika lingkungan dimana nanti ia akan bekerja. Siswa SMK Bidang Keahlian Teknik Otomotif Kompetensi Keahlian Teknik Kendaraan

Ringan nantinya akan bekerja di bengkel otomotif yang berhubungan dengan teknologi *eco-muffler* ini dari berbagai merek kendaraan bermotor.

5. Oil Filter Cleaner

Dari hasil penelitian dan pengembangan tentang teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik terbukti bahwa teknologi *oil filter cleaner* mampu mereduksi limbah oli yang dihasilkan oleh saringan oli bekas (*used oil filter*). Waktu pembersihan saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) terbaik dalam mereduksi limbah oli adalah 10 menit dengan temperatur air 85°C dan tekanan air 0,7 kg/cm² yang akan menghasilkan limbah oli sebesar 12 liter/jam, 96 liter/hari, 1.920 liter/bulan, dan estimasi 35.040 liter/tahun.

Oleh karena itu, teknologi *oil filter cleaner* tersebut dapat dijadikan model dan diterapkan di bengkel otomotif/*automotive workshop* untuk mereduksi limbah oli dari saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) dalam rangka pengembangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK. Hal ini juga didukung oleh teori Prosser ke-2 yang menyatakan bahwa "*Effective vocational training can only be given where the training jobs are carried on in the same way with the same operations, the same tools and the same machines as in the occupation itself* (Prosser & Quigley, 1950: 218)". Pendidikan kejuruan yang efektif hanya dapat diberikan dimana tugas-tugas latihan dilakukan dengan cara, alat, dan mesin yang sama seperti yang diterapkan di tempat kerja. Saat ini, teknologi *oil filter cleaner* tersebut sudah diterapkan dan digunakan di sejumlah bengkel ATPM atau DU/DI seperti

di bengkel Auto 2000 (Toyota) dan bengkel Astra Daihatsu sehingga siswa SMK harus dibekali dengan kemampuan tentang bagaimana menggunakan teknologi *oil filter cleaner* tersebut untuk mereduksi limbah oli dari saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) agar nantinya mereka siap kerja di DU/DI bukan lagi siap latih.

6. Model Ideal Sekolah Hijau (*Green School*) Pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK

Berdasarkan data hasil penelitian, analisis data, dan pembahasan yang telah dilakukan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa model ideal sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK adalah sekolah melaksanakan 7 (tujuh) langkah pengembangan sekolah hijau (*green school*), yaitu:

a. Merujuk Pada Isu-isu Lingkungan

Model ideal sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK harus merujuk pada isu-isu lingkungan, baik isu global (SDGs, pemanasan global, perubahan iklim, pencemaran lingkungan, dan lain-lain), isu nasional (pelestarian fungsi lingkungan hidup, pengendalian kerusakan lingkungan hidup, dan pengendalian pencemaran lingkungan hidup), maupun isu lokal (kespesifikan lokal).

Setidaknya isu pemanasan global, perubahan iklim, dan pencemaran lingkungan, baik pencemaran udara, pencemaran air, maupun pencemaran

tanah merupakan isu-isu yang berkaitan dengan pengembangan sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.

Terdapat 4 (empat) dari 17 tujuan pembangunan berkelanjutan (*the seventeen sustainable development goals/SDGs*) yang berkaitan dengan pengembangan model ideal sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK, yaitu:

- 1) Tujuan SDGs ke-3, yaitu menjamin kehidupan yang sehat dan mempromosikan kesejahteraan bagi semua pada segala usia (*ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages*). Hal ini dilakukan dengan memberikan situasi dan kondisi lingkungan pembelajaran yang sehat, aman, dan terhindar dari bahaya kebisingan baik di ruang kelas maupun di bengkel otomotif/*automotive workshop* sehingga harus bebas polusi, baik polusi udara, air, dan tanah serta terhindar dari kebisingan. Selain itu, dengan menyediakan kantin sehat di sekolah yang menjual makanan/minuman bebas 5P.
- 2) Tujuan SDGs ke-6, yaitu memastikan ketersediaan dan pengelolaan air yang berkelanjutan serta sanitasi untuk semua (*ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all*). Hal ini dilakukan dengan cara mendaur ulang limbah air dengan instalasi pengolahan air limbah (IPAL), membuat biopori, dan sumur resapan untuk menghindari pencemaran air dan tanah sekaligus mencegah terjadinya banjir. Selain itu, diperlukan teknologi *oil filter cleaner* untuk

mereduksi limbah oli dari saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) yang akan mengurangi pencemaran tanah dan air.

- 3) Tujuan SDGs k-13, yaitu mengambil tindakan yang mendesak untuk menanggulangi perubahan iklim dan dampaknya (*take urgent action to combat climate change and its impacts*). Usaha untuk mengatasi perubahan iklim, mengurangi pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor, dan mengurangi dampak dari emisi gas buang tersebut merupakan kegiatan yang mutlak harus dilakukan oleh Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK Adiwiyata (*green school*). Hal ini dilakukan dengan cara mengembangkan teknologi otomotif ramah lingkungan seperti *metallic catalytic converter*, *diesel particulate filter* (DPF), dan *eco-muffler*.
- 4) Tujuan SDGs ke-15, yaitu melindungi, memulihkan, dan mempromosikan pemanfaatan ekosistem darat yang berkelanjutan, mengelola hutan secara lestari, memerangi penggurunan, membalikkan degradasi lahan dan menghentikan hilangnya keanekaragaman hayati (*protect, restore and promote sustainable use of terrestrial ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, and halt and reverse land degradation and halt biodiversity loss*). Hal ini dapat dilakukan dengan membuat hutan sekolah (*school forest*), taman sekolah, taman toga sebagai ruang terbuka hijau (RTH).

b. Menyusun Kajian Lingkungan Sekolah (KLS) yang Tepat di Sekolah

Untuk menyusun KLS yang tepat di sekolah khususnya pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK harus merujuk pada ISO 14000 atau ISO 14001 tentang Standar Manajemen Lingkungan dan OHSAS 18001: 2007 tentang SMK3. Oleh karena itu, dalam penyusunan KLS diperlukan survei tentang konsumsi bahan bakar, baik premium maupun solar yang digunakan oleh siswa dan guru dalam proses pembelajaran di laboratorium/bengkel otomotif dan konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor warga sekolah untuk transportasi dari rumah ke sekolah dan sebaliknya. Hasil survei tentang konsumsi bahan bakar/tahun di SMK Semen Gresik digunakan sebagai dasar untuk mengestimasi potensi total beban emisi yang disumbangkan ke atmosfer oleh sekolah, baik emisi CO, HC, SO_x, NO_x, PM₁₀, dan CO₂.

Selain itu, diperlukan juga survey tentang tingkat kebisingan yang terjadi di bengkel otomotif sekolah. Hasil survei tingkat kebisingan di bengkel otomotif sekolah dilakukan untuk mengetahui apakah memenuhi ambang batas kebisingan yang diijinkan oleh pemerintah. Selanjutnya, diperlukan survei dan observasi tentang limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) yang dihasilkan oleh sekolah. Hasil survei tentang limbah saringan oli mesin bekas digunakan sebagai dasar untuk mengestimasi limbah oli yang dibuang oleh sekolah ke tempat sampah. Padahal limbah oli ini akan mencemari tanah dan air.

c. Melakukan Analisis Kebutuhan (*Needs Assessment*)

Langkah ketiga untuk mengembangkan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK adalah melakukan survei tentang teknologi otomotif ramah lingkungan di sejumlah DU/DI seperti Agen Tunggal Pemegang Merek (ATPM) kendaraan bermotor dan bengkel otomotif (khususnya di *Department of Health, Safety, and Environment/HSE*) serta di sekolah sebagai bagian dari analisis kebutuhan (*needs assessment*). Analisis kebutuhan harus merujuk pada UU No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH), Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata, dan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2008 tentang Standar Sarana dan Prasarana Sekolah Menengah Kejuruan.

Hasil dari analisis kebutuhan (*needs assessment*) yang telah dilakukan dan skala prioritas di SMK Semen Gresik adalah diperlukan pengembangan teknologi otomotif ramah lingkungan di sekolah, yaitu teknologi *metallic catalytic converter*, teknologi *diesel particulate filter* (DPF), teknologi *eco-muffler*, dan teknologi *oil filter cleaner*.

d. Mengembangkan Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan

Berdasarkan hasil survei di sejumlah ATPM dan bengkel otomotif serta SMK Semen Gresik, maka untuk mengembangkan model ideal sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di

SMK diperlukan teknologi otomotif ramah lingkungan di sekolah. Hal ini berdasarkan analisis kebutuhan (*needs assessment*) yang telah dilakukan. Teknologi otomotif ramah lingkungan yang dikembangkan di sekolah bertujuan untuk mereduksi emisi gas buang yang ditimbulkan, opasitas gas buang yang dihasilkan, tingkat kebisingan bengkel otomotif, tingginya konsumsi bahan bakar, dan limbah oli yang dihasilkan di bengkel otomotif sekolah. Hal ini juga sekaligus untuk memberikan situasi dan kondisi lingkungan pembelajaran yang nyaman dan menyehatkan khususnya di bengkel/laboratorium otomotif sekolah.

Adapun kebutuhan teknologi otomotif ramah lingkungan yang dikembangkan di SMK Semen Gresik berdasarkan skala prioritas kebutuhan sekolah untuk mengembangkan model ideal sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK adalah:

- 1) Teknologi *metallic catalytic converter* untuk mereduksi emisi gas buang CO dan HC, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar kendaraan berbahan bakar bensin.
- 2) Teknologi *diesel particulate filter* (DPF) untuk mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat), kebisingan, dan konsumsi bahan bakar kendaraan berbahan bakar solar.
- 3) Teknologi *eco-muffler* untuk mereduksi kebisingan kendaraan berbahan bakar bensin/solar.
- 4) Teknologi *oil filter cleaner* untuk mereduksi limbah oli dari saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) di bengkel otomotif.

e. Melakukan Uji Coba Terhadap Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan yang Telah Dikembangkan

1) Hasil Uji Coba Awal (*Preliminary Field Testing*)

- a) Pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi emisi CO dan HC rata-rata sebesar 82,55% dan 57,22%, mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 8,46%, dan mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 3,34%.
- b) Pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat) rata-rata sebesar 82,01%, mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 2,33%, dan mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 4,52%.
- c) Pengembangan teknologi *eco-muffler* dengan jenis *straight-through type muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 12,57%.
- d) Pengembangan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik dapat mereduksi limbah oli dari saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) rata-rata sebesar 12 liter/jam, 96 liter/hari, estimasi 1.920 liter/bulan, dan estimasi 35.040 liter/tahun

dengan waktu pembersihan selama 10 menit dengan temperatur air 90°C dan tekanan air 0,7 kg/cm².

2) Hasil Uji Lapangan Utama (*Main Field Testing*)

- a) Pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi emisi CO dan HC rata-rata sebesar 94,46% dan 57,22%, mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 11,71%, dan mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 4,21%.
- b) Pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat) rata-rata sebesar 86,01%, mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 4,98%, dan meningkatkan konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 17,17%.
- c) Pengembangan teknologi *eco-muffler* dengan jenis *three pass tube type muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 13,43%.
- d) Pengembangan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik dapat mereduksi limbah oli dari saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) rata-rata sebesar 9,60 liter/jam, 76,8 liter/hari,

estimasi 1.536 liter/bulan, dan estimasi 28.032 liter/tahun dengan waktu pembersihan selama 10 menit dengan temperatur air 80°C dan tekanan air 0,7 kg/cm².

3) Hasil Uji Lapangan Operasional (*Operational Field Testing*)

- a) Pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi emisi CO dan HC rata-rata sebesar 95,35% dan 79,28%, mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 13,90%, dan mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 6,57%.
- b) Pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat) rata-rata sebesar 90,85%, mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 4,06%, dan mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 14,52%.
- c) Pengembangan teknologi *eco-muffler* dengan jenis *off-set tube type muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 15,10%.

d) Pengembangan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik dapat mereduksi limbah oli dari saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) rata-rata sebesar 12 liter/jam, 96 liter/hari, estimasi 1.920 liter/bulan, dan estimasi 35.040 liter/tahun dengan waktu pembersihan selama 10 menit dengan temperatur air 85°C dan tekanan air 0,7 kg/cm².

f. Mengukur Efektivitas dan Efisiensi Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan yang Telah Dikembangkan

Berdasarkan hasil uji coba awal (*preliminary field testing*), uji lapangan utama (*main field testing*), dan uji lapangan operasional (*operational field testing*) terhadap teknologi otomotif ramah lingkungan yang telah dikembangkan dapat diketahui efektivitas dan efisiensi teknologi tersebut sebagai berikut:

1) Pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik merupakan teknologi yang paling efektif untuk mereduksi emisi gas buang CO dan HC, kebisingan kendaraan, dan konsumsi bahan bakar mesin bensin jika dibandingkan dengan *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat kuningan dan plat tembaga. Pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) telah terbukti mampu mereduksi emisi CO dan HC rata-rata sebesar 95,35%

dan 79,28%, mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 13,90%, dan mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 6,57% sehingga memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama. *Metallic catalytic converter* ini relatif murah dalam pembuatannya (lebih efisien), yaitu Rp. 2.500.000,-/unit jika dibandingkan dengan *catalytic converter* standar pabrikan yang mencapai Rp. 14.850.000,-/unit dengan bahan ceramic berlapis platinum (Pt) dan Rhodium (Rh).

- 2) Pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik merupakan teknologi yang paling efektif untuk mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat), kebisingan kendaran dan konsumsi bahan bakar mesin diesel jika dibandingkan dengan DPF dengan bahan yang sama namun menggunakan 110 gr *glasswool* dan 150 gr *glasswool*. DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* telah terbukti mampu mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat) rata-rata sebesar 90,85%, mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 4,06%, dan mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 14,52% sehingga memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama. DPF ini relatif murah dalam pembuatannya (lebih

efisien), yaitu Rp. 2.350.000,-/unit jika dibandingkan dengan DPF standar pabrikan yang mencapai Rp. 14.850.000,-/unit dengan bahan alumina-silica berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh).

- 3) Pengembangan teknologi *eco-muffler* dengan jenis *off-set tube type muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K di SMK Semen Gresik merupakan teknologi *muffler* ramah lingkungan (*eco-muffler*) yang paling efektif dalam mereduksi kebisingan kendaraan jika dibandingkan dengan penggunaan *straight-through type muffler* dan *three pass tube type muffler*. Teknologi *off-set tube type muffler* telah terbukti mampu mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 15,10% sehingga memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru. Teknologi *off-set tube type muffler* ini relatif murah dalam pembuatannya (lebih efisien), yaitu Rp. 1.500.000,-/unit jika dibandingkan dengan *muffler* standar pabrikan yang mencapai Rp. 1.750.000 – Rp. 2.500.000,-/unit dengan bahan plat galvanis atau plat *stainless steel*.
- 4) Pengembangan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik merupakan teknologi yang efektif untuk mereduksi limbah oli dari saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) yang biasanya saringan oli bekas tersebut dibuang begitu saja ke tempat sampah tanpa adanya perlakuan (*treatment*) terlebih dahulu. Waktu pembersihan saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) dengan teknologi *oil filter cleaner* yang

paling optimal adalah selama 10 menit dengan temperatur air 85°C dan tekanan air 0,7 kg/cm² yang akan mereduksi limbah oli rata-rata sebesar 12 liter/jam, 96 liter/hari, estimasi 1.920 liter/bulan, dan estimasi 35.040 liter/tahun. *Oil filter cleaner* ini relatif murah dalam pembuatannya (lebih efisien), yaitu Rp. 6.000.000,-/unit jika dibandingkan dengan *oil filter cleaner* buatan pabrikan yang mencapai Rp. 10.000.000,- /unit yang menggunakan *acrylic* sebagai media penampung air dan limbah oli.

g. Membuat Kebijakan Berbasis Lingkungan untuk Memanfaatkan Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan yang Telah Dikembangkan Bagi Seluruh Warga Sekolah

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan, kepala sekolah SMK Semen Gresik perlu membuat kebijakan berbasis lingkungan dengan cara:

1. Mengalokasikan anggaran minimal sebesar 20% dari Rencana Kerja dan Anggaran Sekolah (RKAS) dan dialokasikan secara proporsional untuk kegiatan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH), seperti: (a) kesiswaan, (b) kurikulum dan kegiatan pembelajaran, (c) peningkatan kapasitas pendidik dan tenaga kependidikan, (d) budaya dan lingkungan sekolah, (e) peran masyarakat dan kemitraan, (f) peningkatan dan pengembangan mutu, (g) sarana dan prasarana khususnya untuk pengembangan teknologi otomotif ramah lingkungan di sekolah. Teknologi otomotif ramah lingkungan, seperti: *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr), *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130

gr *glasswool*, dan *eco-muffler* dengan jenis *off-set tube type muffler* perlu diadopsi dan diterapkan ke semua fasilitas praktik baik mobil/*engine stand* maupun sepeda motor yang ada di bengkel otomotif sekolah sehingga potensi beban emisi (CO, HC, NO_x, SO_x, PM₁₀, dan CO₂), tingkat kebisingan, dan konsumsi bahan bakar dapat direduksi secara berkala dan berkelanjutan.

2. Mewajibkan semua guru, siswa, tenaga kependidikan, dan petugas layanan khusus sekolah untuk menggunakan teknologi otomotif ramah lingkungan khususnya teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) dengan cara memodifikasi knalpot sepeda motor atau mobilnya sehingga dapat mereduksi potensi beban emisi (CO, HC, NO_x, dan CO₂), tingkat kebisingan, dan konsumsi bahan bakar di sekolah secara massive, berkala dan berkelanjutan. Kegiatan ini juga sebagai bentuk kesadaran lingkungan yang merupakan aktivitas lingkungan berbasis partisipatif (komponen ketiga adiwiyata).
3. Melakukan pengujian secara berkala terhadap *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr), *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool*, *eco-muffler* dengan jenis *off-set tube type muffler*, dan *oil filter cleaner* untuk mengetahui apakah teknologi tersebut masih dapat bekerja sebagaimana fungsinya.

4. Melakukan perawatan (*maintenance*) secara berkala terhadap teknologi otomotif ramah lingkungan yang telah dikembangkan, seperti teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr), teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool*, teknologi *eco-muffler* dengan jenis *off-set tube type muffler*, dan teknologi *oil filter cleaner* akibat pengaruh debu, panas, korosi, timbunan karbon, minyak (oli), dan penurunan fungsi dari teknologi tersebut.
5. Melakukan monitoring dan evaluasi sebagai bagian dari audit lingkungan (*environment audit*) setiap tahun untuk mengetahui potensi reduksi emisi gas buang (CO, HC, NO_x, SO_x, PM₁₀, dan CO₂) dalam satuan ton/tahun, tingkat kebisingan bengkel dalam satuan decibel (dBA), konsumsi bahan bakar dalam satuan liter/tahun, dan limbah oli dalam satuan liter/tahun yang dihasilkan oleh bengkel otomotif sekolah secara berkala dan berkelanjutan.

Berbicara tentang model ideal sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK juga tidak bisa lepas dari Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) atau dikenal dengan istilah OHSAS 18001: 2007. Aspek K3 berkembang luas meliputi berbagai bidang seperti keselamatan bahan kimia (*chemical safety*), keselamatan di sekolah (*school safety*), keselamatan di tempat kerja (*occupational safety*), dan lainnya. Oleh karena itu, setidaknya ada 4 hal yang harus dilakukan di sekolah untuk menerapkan SMK3. **Pertama**, salah satu aspek penting dalam SMK3 adalah

komunikasi tentang aspek lingkungan dan keselamatan kerja (*environment and safety talk*) (Ramli, 2013). Banyak kecelakaan kerja terjadi akibat kurang baiknya komunikasi sehingga mempengaruhi kinerja K3 di sekolah. Sebagai contoh, kebijakan K3 yang ditetapkan oleh SMK Semen Gresik harus dipahami dan dimengerti oleh seluruh warga sekolah dan pemangku kepentingan yang terkait dengan kegiatan. Untuk itu, kebijakan K3 harus dikomunikasikan sehingga diketahui, dimengerti, dihayati, dan dijalankan oleh semua pihak terkait di sekolah.

Komunikasi keselamatan kerja (*safety talk*) adalah proses penyampaian pesan dari pengirim (*sender*) ke penerima (*receiver*) dengan tujuan untuk mencapai salah satu sasaran, yaitu: (1) untuk **bertindak** (*action*) mengenai sesuatu hal, misalnya menghentikan/mematikan mesin atau memadamkan kebakaran; (2) untuk **menyampaikan informasi**, misalnya tentang kebijakan K3 di SMK Semen Gresik, sumber bahaya di bengkel otomotif, prosedur kerja, dan lainnya; (3) untuk **memastikan** tentang sesuatu yang seharusnya dilakukan atau dijalankan, misalnya cara melakukan pembersihan limbah oli dari saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) menggunakan *oil filter cleaner* dimana limbah oli ini merupakan bahan berbahaya dan beracun (B3); dan (4) untuk **menyenangkan** seseorang, misalnya pujian kepada siswa yang berperilaku aman dalam bekerja/praktik di sekolah (Ramli, 2013).

Ada 3 jenis komunikasi keselamatan kerja (*safety talk*) yang bisa dilakukan di SMK Semen Gresik. *Pertama*, komunikasi manusia dengan manusia secara langsung. Misalnya, komunikasi antara guru praktik dengan

siswanya. Komunikasi ini sering juga disebut komunikasi personal (*personnal communication*) atau komunikasi kelompok (*group communication*). Dalam K3, kedua jenis komunikasi ini banyak dilakukan misalnya melalui kontak individu melalui proses observasi, *safety talk*, penyuluhan K3, dan pelatihan K3 di sekolah. *Kedua*, komunikasi manusia dengan manusia melalui alat/media komunikasi. Alat/media komunikasi yang digunakan untuk kegiatan *safety talk* seperti telepon, bulletin, poster, spanduk, situs internet, *safety letter*, tanda (*sign*), dan lainnya. Komunikasi ini banyak digunakan di bengkel otomotif sekolah misalnya komunikasi antara ketua program studi, kepala bengkel, teknisi dan laboran dengan siswanya. *Ketiga*, komunikasi manusia dengan peralatan kerja. Peralatan seperti mesin, unit proses, dan peralatan laboratorium adalah benda mati yang dioperasikan oleh guru, teknisi, laboran, dan siswa. Dalam proses operasi tersebut terjadi komunikasi antara manusia dengan alat kerja tersebut melalui tanda (*sign*) yang terpasang pada peralatan kerja tersebut. Seluruh bentuk komunikasi tersebut sangat berperan terhadap keselamatan kerja di bengkel otomotif sekolah. Oleh karena itu, *Occupational Health and Safety Assessment Series* (OHSAS) 18001: 2007 mensyaratkan agar arus komunikasi baik internal maupun eksternal dipelihara dan didokumentasikan secara baik dan berkelanjutan.

Kedua, patrol lingkungan dan keselamatan kerja (*environment and safety patrol*). Inti dari kegiatan patrol lingkungan dan keselamatan kerja adalah melaksanakan sistem manajemen K3 yang telah disepakati dan harus dilaksanakan di SMK Semen Gresik. Persyaratan keselamatan kerja menurut

UU No. 1 tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja yang dapat diadopsi di sekolah adalah: (1) mencegah dan mengurangi kecelakaan; (2) mencegah, mengurangi dan memadamkan kebakaran; (3) mencegah dan mengurangi bahaya kebakaran; (4) memberi kesempatan atau jalan menyelamatkan diri dalam kejadian kebakaran atau kejadian lainnya; (5) memberikan pertolongan dalam kecelakaan; (6) memberikan alat pelindung diri bagi warga sekolah; (7) mencegah dan mengendalikan timbulnya atau menyebar luasnya suhu, kelembapan, debu, kotoran, asap, uap, gas, hembusan angin, cuaca, sinar atau radiasi, suara atau getaran; (8) mencegah dan mengendalikan timbulnya penyakit akibat kerja baik fisik, maupun psikis, peracunan, infeksi, dan penularan; (9) memperoleh penerangan yang cukup dan sesuai; (10) menyelenggarakan suhu dan kelembapan udara yang baik; (11) menyelenggarakan penyegaran udara yang baik; (12) memelihara kebersihan, kesehatan, dan ketertiban; (13) memperoleh keserasian antara tenaga kerja, alat kerja, lingkungan, cara dan proses kerja; (14) mengamankan dan memelihara segala jenis bangunan; (15) mencegah terkena aliran listrik yang berbahaya; dan (16) menyesuaikan dan menyempurnakan pengamanan pada pekerjaan yang bahayanya menjadi bertambah tinggi.

Jika terjadi kebakaran di area sekolah (*public area*), maka penggunaan pemadam air (*water extinguisher*) atau selang kebakaran (*fire hose*) atau penyembur air otomatis (*automatic fire sprinkle*) menjadi sebuah kebutuhan. Namun jika kebakaran terjadi pada peralatan elektrik atau pada kabel-kabel di mesin/*engine stand* praktik, maka penggunaan *carbondioxide* (CO_2)

extinguisher atau *powder extinguisher* atau *foam extinguisher* menjadi sebuah kebutuhan. Sedangkan jika kebakaran terjadi di lantai sekolah/bengkel sekolah, maka penggunaan pemadam selimut, busa atau bubuk menjadi sebuah kebutuhan untuk memadamkannya (Bagyono, 2005).

Selain itu, warga sekolah juga harus menggunakan alat pelindung diri (APD) agar dampak negatif dari aktivitas di bengkel/laboratorium dapat dikendalikan dan diminimalisir seperti penggunaan sarung tangan, pelindung pernafasan (respirator atau masker), pelindung kepala, pelindung mata (kacamata), pelindung tubuh (baju praktik), dan pelindung kaki. Dalam konsep K3, penggunaan APD merupakan pilihan terakhir atau *last resort* dalam pencegahan kecelakaan kerja. Hal ini disebabkan karena APD bukan untuk mencegah kecelakaan (*reduce likelihooh*) namun hanya sekadar mengurangi efek atau keparahan kecelakaan (*reduce consequences*).

Alat keselamatan ada berbagai jenis dan fungsi yang dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Alat pelindung kepala untuk melindungi bagian kepala dari benda yang jatuh atau benturan, misalnya topi keselamatan baik dari plastik, aluminium, maupun fiber.
2. Alat pelindung muka untuk melindungi percikan benda cair, benda padat, atau radiasi sinar dan panas, misalnya pelindung muka (*face shield*), dan topeng las.
3. Alat pelindung mata untuk melindungi percikan benda, bahan cair dan radiasi panas, misalnya kaca mata keselamatan, *google*, dan kaca mata las.

4. Alat pelindung pernafasan untuk melindungi dari bahan kimia, debu uap, gas buang, dan asap yang berbahaya dan beracun. Alat pelindung pernafasan sangat beragam seperti masker debu, masker kimia, respirator, dan *breathing apparatus* (BA).
5. Alat pelindung pendengaran untuk melindungi organ pendengaran dari suara bising, misalnya sumbat telinga (*ear plug*), katup telinga (*ear muff*).
6. Alat pelindung badan untuk melindungi bagian tubuh khususnya dada dari percikan benda cair, padat, radiasi sinar dan panas, misalnya apron dari kulit, plastik, dan asbes.
7. Alat pelindung tangan untuk melindungi bagian jari dan lengan dari bahan kimia, panas atau benda tajam, misalnya sarung tangan kulit, PVC, asbes, dan metal.
8. Alat pelindung kaki untuk melindungi bagian telapak kaki, tumit atau betis dari benda panas, cair, kejatuhan benda, tertusuk benda tajam dan lainnya, misalnya sepatu karet, sepatu kulit, sepatu asbes, pelindung kaki dan betis. Untuk melindungi dari kejatuhan benda, sepatu keselamatan dilengkapi dengan pelindung logam dibagian ujungnya (*steel to cap*).

Dalam Undang-Undang Keselamatan Kerja Nomor 1 Tahun 1970 pasal 14 c disebutkan bahwa pengusaha wajib menyediakan alat keselamatan secara cuma-cuma sesuai dengan sifat bahayanya. Oleh karena itu, sekolah juga harus menyediakan alat keselamatan bagi semua warga sekolah. Pemilihan alat keselamatan harus dilakukan secara hati-hati dengan mempertimbangkan jenis bahaya serta diperlakukan sebagai pilihan terakhir.

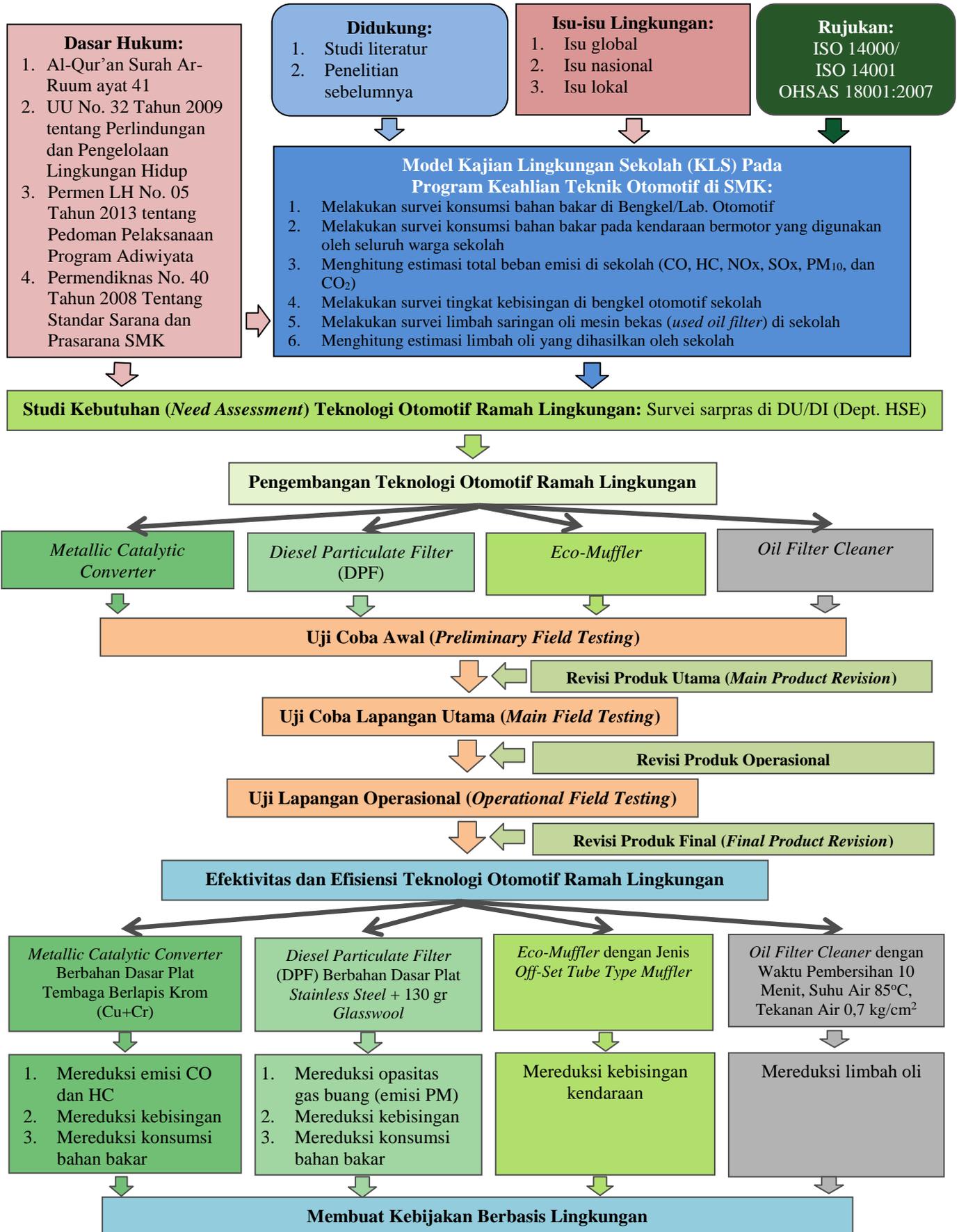
Ketiga, komunikasi bahaya (*hazard communication*) perlu dilakukan di sekolah. Seperti kita ketahui bahwa emisi gas buang, tingkat kebisingan, dan limbah oli sangat berbahaya bagi kesehatan manusia dan akan menimbulkan berbagai penyakit dan gangguan bahkan dapat menyebabkan kematian. Oleh karena itu, komunikasi bahaya dapat dilakukan melalui sejumlah tanda (*sign*) yang berlaku secara internasional (lihat gambar 165).



Gambar 165. Beberapa Tanda Pengaman Internasional
Sumber: Silalahi & Silalahi (1995: 130)

Keempat, melakukan audit lingkungan (*environment audit*). Sekolah perlu melakukan audit lingkungan secara berkala dan berkelanjutan agar potensi bahaya dapat dikenali, dikendalikan, dicegah, dan diminimalisir.

Dari penjelasan di atas dapat digambarkan model ideal sekolah hijau (*green school*) Pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK seperti ditunjukkan pada gambar 166 berikut ini.



Gambar 166. Model Ideal Sekolah Hijau (*Green School*) Pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK

7. Panduan Penggunaan Model Sekolah Hijau (*Green School*) Pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK

Panduan penggunaan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK dapat dilihat pada buku panduan yang dibuat secara terpisah dari disertasi ini. Buku panduan tersebut akan menguraikan secara detail prosedur operasional standar (POS) bagaimana sekolah dapat mengimplementasikan model ideal sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.

E. Keterbatasan Penelitian

Pada penelitian ini terdapat sejumlah keterbatasan dalam mengembangkan model ideal sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK, yaitu:

1. Pengembangan model lebih ditekankan pada pengembangan sarana pendukung ramah lingkungan pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK dan belum mengembangkan kebijakan sekolah berwawasan lingkungan, melaksanakan kurikulum berbasis lingkungan, dan mengembangkan aktivitas lingkungan berbasis partisipatif. Hal ini disebabkan karena pengembangan sarana ramah lingkungan di bidang otomotif sebagai dasar untuk melaksanakan ketiga komponen sekolah adiwiyata (*green school*) yang lain tersebut.
2. Model kajian lingkungan sekolah (KLS) yang dikembangkan di sekolah dalam penelitian ini belum menghitung potensi limbah air pendingin radiator (*radiator coolant*), limbah air accu (*battery electrolyte*), limbah stempet (*grease*), limbah minyak rem (*brake fluid*), limbah bahan bakar (*fuel*) hasil kegiatan *overhaul*

mesin, dan limbah-limbah lainnya dari proses kegiatan belajar dan mengajar di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik yang diperlukan penanganan secara serius, tepat, dan berkelanjutan karena data-data yang dibutuhkan tersebut tidak tersedia di sekolah.

3. Teknologi *metallic catalytic converter* yang dikembangkan dalam penelitian ini hanya menggunakan logam kuningan, tembaga, dan tembaga berlapis krom sebagai katalis serta belum menggunakan logam transisi yang lain, seperti: Mangan (Mn), Vanadium (V), Cobalt (Co), Nikel (Ni), dan oksidanya. Padahal logam-logam tersebut juga berpotensi dapat mereduksi emisi gas buang CO dan HC mobil bensin dan sepeda motor untuk mendukung sekolah hijau (*green school*) di SMK.
4. Teknologi *diesel particulate filter* (DPF) yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah DPF berbahan dasar plat *stainless steel* dan *glasswool* yang dibentuk menjadi sarang lebah logam (*metallic honeycomb*) serta belum menggunakan desain yang lain, seperti *wiremesh particulate filter* berbahan dasar *wiremesh stainless steel*. Padahal jenis DPF ini juga berpotensi dapat mereduksi opasitas gas buang mesin diesel untuk mendukung sekolah hijau (*green school*) di SMK.
5. Teknologi *eco-muffler* yang dikembangkan dalam penelitian ini ada 3 jenis, yaitu *straight-through type muffler*, *three pass tube type muffler*, dan *off-set tube type muffler* serta belum menggunakan jenis *muffler* yang lain, seperti: *baffle type muffler* dan *louvre type muffler*. Padahal kedua jenis *muffler* tersebut juga berpotensi dapat mereduksi kebisingan kendaraan bermotor untuk mendukung sekolah hijau (*green school*) di SMK.

6. Jumlah limbah oli terbanyak dan kondisi saringan oli bekas terbersih yang dihasilkan dari penggunaan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik sangat tergantung pada temperatur air, tekanan air, dan waktu pembersihan saringan oli bekas (*used oil filter*). Dalam penelitian ini, waktu pembersihan saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) dengan teknologi *oil filter cleaner* yang paling optimal adalah selama 10 menit dengan temperatur air 85°C dan tekanan air 0,7 kg/cm² yang akan mereduksi limbah oli rata-rata sebesar 12 liter/jam, 96 liter/hari, estimasi 1.920 liter/bulan, dan estimasi 35.040 liter/tahun. Namun dalam penelitian ini belum dilakukan pengujian pada suhu di atas 90°C dan waktu pembersihan kurang dari 5 menit yang mungkin akan dihasilkan limbah oli yang lebih banyak dan kondisi saringan oli mesin bekas yang lebih bersih.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan tentang Produk

Berdasarkan data hasil penelitian, analisis data, dan pembahasan yang telah dilakukan tentang pengembangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Model kajian lingkungan sekolah (KLS) yang tepat pada Program keahlian Teknik Otomotif di SMK harus merujuk pada ISO 14000 atau ISO 14001 tentang Standar Manajemen Lingkungan (SML) dan OHSAS 18001: 2007 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) serta disusun melalui survei tentang konsumsi bahan bakar, baik premium maupun solar yang digunakan oleh siswa dan guru dalam proses pembelajaran di laboratorium/bengkel otomotif dan konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor warga sekolah untuk transportasi dari rumah ke sekolah dan sebaliknya. Hasil survei tentang konsumsi bahan bakar/tahun di sekolah digunakan sebagai dasar untuk mengestimasi total beban emisi yang disumbangkan sekolah ke atmosfer. SMK Semen Gresik menghasilkan estimasi total beban emisi CO sebesar 14,1 ton/tahun, emisi HC sebesar 4,4 ton/tahun, emisi NO_x sebesar 0,8 ton/tahun, emisi PM₁₀ sebesar 0,2 ton/tahun, dan emisi CO₂ sebesar 133 ton/tahun. Selain itu, diperlukan juga survei tentang tingkat kebisingan di bengkel otomotif sekolah apakah memenuhi ambang batas kebisingan yang telah ditetapkan oleh pemerintah, yaitu 85 dBA. Hasil survey

tingkat kebisingan di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik berkisar antara 81,4-106,7 dBA dengan rata-rata kebisingan sebesar 86,7 dBA dengan menggunakan alat ukur *sound level meter* (SLM). Dengan tingkat kebisingan sebesar 81,4-106,7 dBA tersebut, maka bengkel otomotif SMK Semen Gresik dalam kategori tingkat kebisingan sangat bising sampai menulikan dengan waktu kontak yang diijinkan hanya < 1/3-8 jam. Selanjutnya, dilakukan survei dan observasi tentang limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) yang dihasilkan oleh sekolah. Hasil survei tentang limbah saringan oli mesin bekas digunakan sebagai dasar untuk mengestimasi limbah oli yang dibuang oleh sekolah ke tempat sampah. Padahal limbah saringan oli mesin bekas ini jika dibuang begitu saja ke tempat sampah tanpa adanya perlakuan (*treatment*) terlebih dahulu akan menyebabkan pencemaran tanah dan air. SMK Semen Gresik menghasilkan total limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) sebanyak 32 buah/tahun. Dalam 1 (satu) buah saringan oli mesin bekas tersebut rata-rata masih mengandung 0,5 liter limbah oli, maka potensi limbah oli yang dihasilkan sebesar 16 liter limbah oli/tahun yang akan mencemari tanah dan air.

2. Pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* yang dapat mereduksi emisi gas buang, kebisingan kendaraan, dan konsumsi bahan bakar di SMK adalah:
 - a. Dari hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) tentang pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi emisi CO dan HC rata-rata sebesar 82,55% dan 57,22%,

mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 8,46%, dan mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 3,34%. *Metallic catalytic converter* plat kuningan (Cu+Zn) efektif sebagai katalisator pada reaksi oksidasi CO ($\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$) pada lambda (λ) 1,251 dengan temperatur 318°C dengan reduksi emisi CO tertinggi sebesar 88,39% dan efektif sebagai katalisator pada reaksi oksidasi $2\text{HC} + 2\frac{1}{2}\text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$ pada lambda (λ) 1,059 dengan temperatur 301°C yang menghasilkan emisi HC terendah yaitu 32 ppm Vol. *Metallic catalytic converter* ini mampu memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama.

- b. Dari hasil uji lapangan utama (*main field testing*) tentang pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga (Cu) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi emisi CO dan HC rata-rata sebesar 94,46% dan 57,22%, mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 11,71%, dan mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 4,21%. *Metallic catalytic converter* plat tembaga efektif sebagai katalisator pada reaksi oksidasi emisi CO ($\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$) pada lambda (λ) 0,999 dengan temperatur 282°C dengan reduksi emisi CO tertinggi sebesar 96,13% dan efektif sebagai katalisator pada reaksi $2\text{HC} + 2\frac{1}{2}\text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$ pada lambda (λ) 1,047 dan temperatur 305°C dengan menghasilkan emisi HC terendah yaitu 17 ppm Vol. *Metallic catalytic converter* ini mampu memenuhi Peraturan

Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama.

- c. Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 7K di SMK Semen dapat mereduksi emisi CO dan HC rata-rata sebesar 95,35% dan 79,28%, mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 13,90%, dan mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 6,57%. *Metallic catalytic converter* plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) efektif sebagai katalisator pada reaksi oksidasi CO ($\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$) pada lambda (λ) 1,023 dan temperatur 374°C dengan reduksi emisi CO tertinggi sebesar 96,48% dan efektif sebagai katalisator pada reaksi $2\text{HC} + 2\frac{1}{2}\text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$ pada lambda (λ) 1,002 dan temperatur 388°C dengan menghasilkan emisi HC terendah yaitu 12 ppm Vol. *Metallic catalytic converter* ini juga mampu memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama.
3. Pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) yang dapat mereduksi opasitas gas buang, kebisingan kendaraan, dan konsumsi bahan bakar di SMK adalah:
 - a. Dari hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) tentang pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 110 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK

Semen Gresik dapat mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat) rata-rata sebesar 82,01%, mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 2,33%, dan mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 4,52%. DPF ini mampu memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama.

- b. Dari hasil uji lapangan utama (*main field testing*) tentang pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 150 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat) rata-rata sebesar 86,01%, mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 4,98%, dan meningkatkan konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 17,17%. DPF ini mampu memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama.
- c. Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless steel* dan 130 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik dapat mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat) rata-rata sebesar 90,85%, mereduksi kebisingan kendaraan rata-rata sebesar 4,06%, dan mereduksi konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 14,52%. DPF ini juga mampu memenuhi Peraturan Menteri Negara

Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama.

4. Pengembangan teknologi *eco-muffler* yang dapat mereduksi kebisingan kendaraan di SMK adalah:
 - a. Dari hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) tentang pengembangan teknologi *eco-muffler* jenis *straight-through type muffler* yang dikombinasikan dengan 1000 gr *glasswool* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar 12,57%. Kebisingan yang dihasilkan oleh teknologi *straight-through type muffler* telah memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru.
 - b. Dari hasil uji lapangan utama (*main field testing*) tentang pengembangan teknologi *eco-muffler* jenis *three pass tube type muffler* pada knalpot eksperimen mesin Toyota Kijang tipe 5K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar 13,43%. Kebisingan yang dihasilkan oleh teknologi *three pass tube type muffler* telah memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru.
 - c. Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *eco-muffler* jenis *off-set tube type muffler* pada knalpot mesin eksperimen Toyota Kijang tipe 5K di SMK Semen Gresik dapat mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar 15,10%. Kebisingan

yang dihasilkan oleh teknologi *off-set tube type muffler* juga telah memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 07 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru.

5. Pengembangan teknologi *oil filter cleaner* yang dapat mereduksi limbah oli di SMK adalah:
 - a. Dari hasil uji coba awal (*preliminary field testing*) tentang pengembangan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik dapat mereduksi limbah oli rata-rata sebesar 12 liter/jam, 96 liter/hari, estimasi 1.920 liter/bulan, dan estimasi 35.040 liter/tahun dengan waktu pembersihan selama 10 menit dengan temperatur air 90°C dan tekanan air 0,7 kg/cm².
 - b. Dari hasil uji lapangan utama (*main field testing*) tentang pengembangan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik dapat mereduksi limbah oli rata-rata sebesar 9,60 liter/jam, 76,8 liter/hari, estimasi 1.536 liter/bulan, dan estimasi 28.032 liter/tahun dengan waktu pembersihan selama 10 menit dengan temperatur air 80°C dan tekanan air 0,7 kg/cm².
 - c. Dari hasil uji lapangan operasional (*operational field testing*) tentang pengembangan teknologi *oil filter cleaner* di SMK Semen Gresik dapat mereduksi limbah oli rata-rata sebesar 12 liter/jam, 96 liter/hari, estimasi 1.920 liter/bulan, dan estimasi 35.040 liter/tahun dengan waktu pembersihan selama 10 menit dengan temperatur air 85°C dan tekanan air 0,7 kg/cm².

6. Model ideal sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK yaitu sekolah melakukan 7 (tujuh) langkah pengembangan sekolah hijau (*green school*), yaitu:
- a. Merujuk pada isu-isu lingkungan, baik isu global (SDGs, pemanasan global, perubahan iklim, pencemaran lingkungan, dan lain-lain), isu nasional, maupun isu lokal (khususnya lokal).
 - b. Menyusun kajian lingkungan sekolah (KLS) untuk menghitung potensi total beban emisi di sekolah, seperti emisi CO, HC, NO_x, SO_x, PM, dan CO₂, tingkat kebisingan di bengkel otomotif, serta limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) sebagai dasar untuk menghitung potensi limbah oli yang dihasilkan setiap tahun.
 - c. Melakukan analisis kebutuhan (*needs assessment*) tentang kebutuhan sarana ramah lingkungan yang ada di sekolah berdasarkan hasil survei di DU/DI (khususnya di *Department of Health, Safety and Environment/HSE*) dan survei di sekolah yang mengacu pada Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (PPLH), Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata, dan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2008 tentang Standar Sarana dan Prasarana Sekolah Menengah Kejuruan.
 - d. Mengembangkan teknologi otomotif ramah lingkungan untuk mereduksi emisi gas buang, opasitas gas buang, kebisingan, konsumsi bahan bakar,

dan limbah saringan oli mesin bekas, seperti teknologi *metallic catalytic converter*, *diesel particulate filter* (DPF), *eco-muffler*, dan *oil filter cleaner*.

- e. Melakukan uji coba terhadap teknologi otomotif ramah lingkungan yang dikembangkan, seperti teknologi *metallic catalytic converter*, *diesel particulate filter* (DPF), *eco-muffler*, dan *oil filter cleaner* mulai dari uji coba awal (*preliminary field testing*), uji lapangan utama (*main field testing*), maupun uji lapangan operasional (*operasional field testing*) disertai dengan revisi produk di setiap akhir pengujian agar didapatkan produk yang efektif dan *applicable*.
- f. Mengukur efektivitas dan efisiensi terhadap teknologi otomotif ramah lingkungan yang telah dikembangkan sebagai dasar pengembangan model ideal sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK.
- g. Membuat kebijakan berbasis lingkungan untuk memanfaatkan teknologi otomotif ramah lingkungan yang telah dikembangkan bagi seluruh warga sekolah.

B. Saran Pemanfaatan Produk

Berdasarkan simpulan hasil penelitian dan pengembangan di atas dapat diberikan saran sebagai berikut:

1. Bagi Sekolah:

- a. Kepala sekolah setiap tahun harus terus melakukan survey tentang konsumsi bahan bakar yang digunakan siswa dan guru dalam proses pembelajaran praktik di bengkel otomotif sekolah dan survei konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor seluruh warga sekolah untuk keperluan pergi dan pulang dari sekolah sebagai dasar untuk menghitung potensi total beban emisi yang disumbangkan sekolah ke atmosfer dalam rangka penyusunan KLS dengan cara: (1) melibatkan peran tim adiwiyata sekolah untuk penyebaran, pengumpulan, dan analisis kuesioner konsumsi bahan bakar; (2) memaksimalkan peran ekstrakurikuler yang ada di sekolah seperti Pramuka, Pecinta Alam, dan Sahabat Lingkungan untuk mendukung program adiwiyata di sekolah; dan (3) mendokumentasikan seluruh dokumen adiwiyata di Pusat Penjaminan Mutu sekolah.
- b. Kepala sekolah dapat menjadikan teknologi otomotif ramah lingkungan yang telah dikembangkan dalam penelitian ini sebagai model untuk diadopsi dalam rangka pengembangan Bengkel Otomotif pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK Semen Gresik agar ramah lingkungan dengan cara: (1) teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom dapat dijadikan model teknologi otomotif dan diadopsi untuk mereduksi emisi CO, HC, kebisingan, dan konsumsi bahan bakar pada semua unit *engine stand*/mobil praktik/sepeda motor praktik di bengkel otomotif sekolah dan kendaraan bermotor seluruh warga sekolah; (2) teknologi *diesel particulate filter* (DPF) berbahan dasar plat *stainless*

steel dan 130 gr *glasswool* dapat dijadikan model teknologi otomotif dan diadopsi untuk mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat), kebisingan dan konsumsi bahan bakar pada semua unit *engine stand*/mobil diesel praktik di bengkel otomotif sekolah dan kendaraan bermotor seluruh warga sekolah; (3) teknologi *eco-muffler* dengan jenis *off-set tube type muffler* dapat dijadikan model teknologi otomotif dan diadopsi untuk mereduksi kebisingan pada semua unit *engine stand*/mobil praktik di bengkel otomotif sekolah dan kendaraan bermotor seluruh warga sekolah; dan (4) teknologi *oil filter cleaner* dapat digunakan untuk mereduksi limbah oli dari saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) sehingga dapat meminimalisir limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) di bengkel otomotif sekolah.

- c. Kepala sekolah perlu membuat kebijakan sekolah berwawasan lingkungan pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK yang dapat dilakukan dengan cara: (1) menyusun visi, misi, dan tujuan sekolah agar mencakup 3 fungsi PPLH, yaitu pelestarian fungsi lingkungan hidup, pencegahan kerusakan lingkungan hidup, dan pencegahan pencemaran lingkungan hidup; (2) menggunakan dokumen kajian lingkungan sekolah (KLS) untuk perencanaan kebijakan lingkungan; (3) menyusun kebijakan sekolah dalam mengintegrasikan pendidikan lingkungan hidup (PLH) pada semua mata pelajaran, baik normatif, adaptif maupun produktif; (4) membuat kebijakan peningkatan sumber daya manusia; (5) membuat kebijakan sekolah yang mendukung lingkungan sekolah yang bersih dan sehat; (6) menyusun kebijakan sekolah untuk pengalokasian dan penggunaan dana RKAS untuk

pengembangan teknologi otomotif ramah lingkungan; (7) pengembangan kurikulum berbasis lingkungan hidup; dan (8) menyusun Kriteria Kekuntasan Minimal (KKM) untuk seluruh mata pelajaran terintegrasi PLH di sekolah.

- d. Kepala sekolah perlu mengimplementasikan kurikulum berbasis lingkungan pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK, yang dapat dilakukan dengan cara: (1) mengembangkan silabus dan RPP mata pelajaran produktif yang terintegrasi PLH, (2) mengembangkan model pembelajaran lintas mata pelajaran, (3) mengembangkan materi dan mengendalikan persoalan lingkungan hidup yang ada di masyarakat sekitar, (4) mengembangkan metode belajar berbasis lingkungan hidup dan budaya, dan (5) mengembangkan kegiatan ekstrakurikuler untuk peningkatan pengetahuan dan kesadaran siswa tentang lingkungan hidup.
- e. Kepala sekolah perlu mengembangkan kegiatan lingkungan berbasis partisipatif pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK, yang dapat dilakukan dengan cara: (1) menciptakan kegiatan ekstrakurikuler di bidang lingkungan hidup yang bersifat partisipatif di sekolah, (2) mengikuti kegiatan aksi lingkungan hidup oleh pihak luar, (3) membangun dan memprakarsai kegiatan kemitraan dalam pengembangan lingkungan hidup di sekolah, dan (4) mengintegrasikan tugas sekolah untuk menyelesaikan permasalahan lingkungan hidup yang ada di sekolah/bengkel/laboratorium yang bersifat partisipatif dan lintas disiplin ilmu.

- f. Kepala sekolah perlu mengembangkan dan mengelola sarana dan prasarana ramah lingkungan pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK, yang dapat dilakukan dengan cara: (1) mengembangkan sistem pengelolaan sampah, seperti: komposter, takakura, dan biopori; (2) mengembangkan teknologi pengelolaan limbah cair, seperti: Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dan *oil filter cleaner*; (3) mengembangkan teknologi reduksi emisi gas buang kendaraan bermotor, seperti: *catalytic converter*, *diesel particulate filter* (DPF), dan *thermal reactor*; (4) mengembangkan teknologi pengendalian kebisingan, seperti: *muffler* ramah lingkungan (*eco-muffler*); (5) mengembangkan fungsi sarana pendukung sekolah yang ada untuk pendidikan lingkungan hidup, (6) meningkatkan kualitas lingkungan hidup di dalam dan di luar kawasan sekolah, (7) melakukan penghematan sumber daya alam (energi, listrik, air, ATK), dan (8) meningkatkan kualitas pelayanan makanan sehat di kantin sekolah.
2. Bagi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan Kementerian Pendidikan dan kebudayaan:
 - a. Mengadopsi model ini sebagai standar pengembangan sekolah adiwiyata (*green school*) di SMK khususnya pada Program Keahlian Teknik Otomotif untuk lebih mewujudkan warga sekolah yang peduli dan berwawasan lingkungan.
 - b. Membuat kebijakan agar pendidikan lingkungan hidup (PLH) di SMK adiwiyata (*green school*) agar diintegrasikan ke seluruh mata pelajaran, baik mata pelajaran normatif, adaptif, maupun produktif sehingga materi

pelajaran produktif tidak hanya mengajarkan konten materi pelajaran kejuruan saja, namun juga diintegrasikan dengan topik-topik lingkungan yang terkait agar lulusan SMK memiliki sikap peduli dan berbudaya lingkungan.

3. Bagi Direktorat Pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan:
 - a. Menjadikan SMK Semen Gresik sebagai model sekolah hijau (*green school*) tingkat nasional yang dapat dijadikan rujukan bagi SMK-SMK lainnya di Indonesia untuk lebih mewujudkan warga sekolah yang peduli dan berwawasan lingkungan.
 - b. Membuat kebijakan agar lulusan dari sekolah adiwiyata (*green school*) tidak hanya diukur dari segi kompetensinya saja, namun juga diukur dari segi perilaku peduli terhadap lingkungan sehingga lulusan tidak hanya memiliki sikap, pengetahuan, dan keterampilan sesuai dengan bidang keahliannya saja, namun juga berwawasan lingkungan.
4. Bagi Peneliti Sekolah Adiwiyata (*Green School*):
 - a. Melakukan penelitian dan pengembangan untuk membuat model ideal *green/smart laboratory* yang dapat mengacu pada *US Green Building Council* (USGBC) dan *The Environmental Protection Agency* (EPA).
 - b. Melakukan penelitian dan pengembangan tentang sarana dan prasarana ramah lingkungan untuk mendukung sekolah hijau (*green schhol*) di Indonesia.

- c. Melakukan penelitian dan pengembangan untuk membuat perangkat pembelajaran yang terintegrasi dengan pendidikan lingkungan hidup pada seluruh mata pelajaran di SMK.
- d. Melakukan penelitian dan pengembangan untuk membuat model sekolah hijau (*green school*) pada program keahlian yang lain di SMK.

C. Diseminasi dan Pengembangan Produk Lebih Lanjut

Tahap terakhir pada model penelitian dan pengembangan adalah diseminasi dan implementasi produk hasil pengembangan. Tahap ini bertujuan agar produk yang dikembangkan bisa dipakai oleh masyarakat luas. Inti kegiatan pada tahap ini adalah melakukan sosialisasi produk hasil pengembangan. Hal ini dilaksanakan dengan 3 (tiga) cara, yaitu:

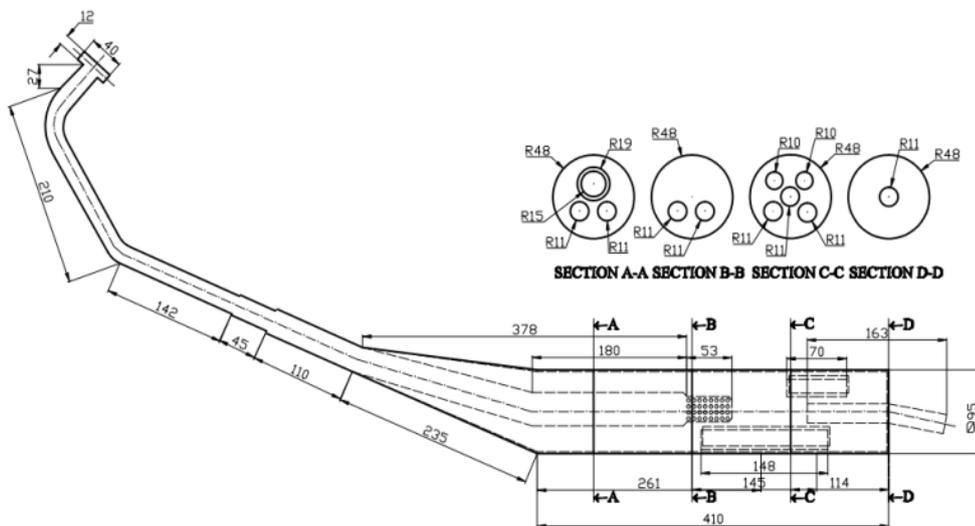
1. Mempublikasikan hasil penelitian pada jurnal internasional bereputasi dengan artikel ilmiah berjudul "*Evaluating the Implementation of Green School (Adiwiyata) Program: Evidence from Indonesia*" yang telah dimuat dalam *International Journal of Environmental & Science Education (IJESE)*, Turkey, 12(6), 1483-1501 (Agustus 2017), Q3, terindeks Scopus, AERA, Asian Education Index, Cabell's Directory Index, EBSCO, EdNA Online Database, ERIC, ICAAP, Index Copernicus, ProQuest, PsycINFO, ULAKBIM, dan SCImago Journal (www.ijese.net).
2. Mempublikasikan hasil penelitian pada konferensi internasional terindeks Scopus dengan artikel ilmiah berjudul "*The performance of chrome-coated copper as metallic catalytic converter to reduce exhaust gas emissions from*

spark-ignition engine” dalam kegiatan *The 2nd Annual Applied Science and Engineering Conference (AASEC)* tanggal 24 Agustus 2017 di Hotel Grand Tjokro Bandung. Artikel ilmiah telah dimuat dalam *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 288 (2017) 012151, doi:10.1088/1757-899X/288/1/012151; dan

2. Mendiseminasikan hasil penelitian melalui workshop di sekolah-sekolah adiwiyata, khususnya di SMK Semen Gresik.

Langkah selanjutnya adalah pengembangan produk lebih lanjut. Pengembangan produk lebih lanjut dilakukan dengan cara mengembangkan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) yang dipasang pada knalpot sepeda motor Yamaha Jupiter MX 135 cc di SMK Semen Gresik. Sepeda motor tersebut merupakan salah satu fasilitas praktik yang ada di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik.

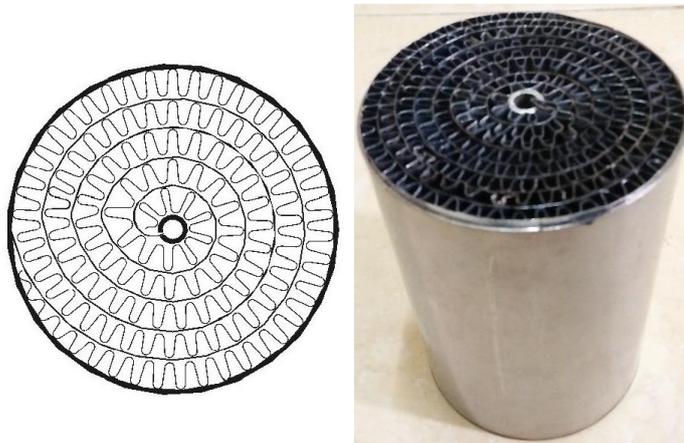
Dimensi knalpot standar sepeda motor Yamaha Jupiter MX 135 cc di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik dapat dilihat pada Gambar 167.



Gambar 167. Dimensi Knalpot Standar Sepeda Motor Yamaha Jupiter MX 135 cc

Pengembangan teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) yang dipasang pada knalpot sepeda motor Yamaha Jupiter MX 135 cc di SMK Semen Gresik dibuat dengan bahan dan cara yang sama seperti pada proses pembuatan *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) yang telah dipasang pada knalpot mesin Toyota Kijang tipe 7K seperti yang telah diuraikan di Bab III disertasi ini. Namun, *metallic catalytic converter* yang dibuat menggunakan dimensi yang lebih kecil yaitu panjang 100 mm dan diameter 70 mm dengan tetap menggunakan tinggi lekukan plat sebesar 2 mm.

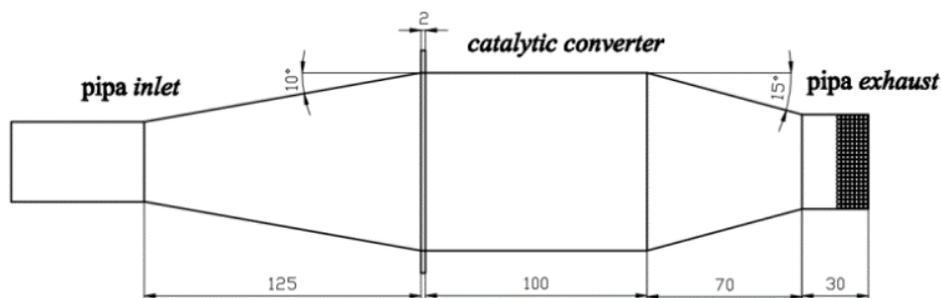
Teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) yang dipasang pada knalpot sepeda motor Yamaha Jupiter MX 135 cc di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik seperti pada Gambar 168.



Gambar 168. *Metallic Catalytic Converter* Berbahan Dasar Plat Tembaga Berlapis Krom (Cu+Cr) yang Dipasang Pada Knalpot Sepeda Motor Yamaha Jupiter MX

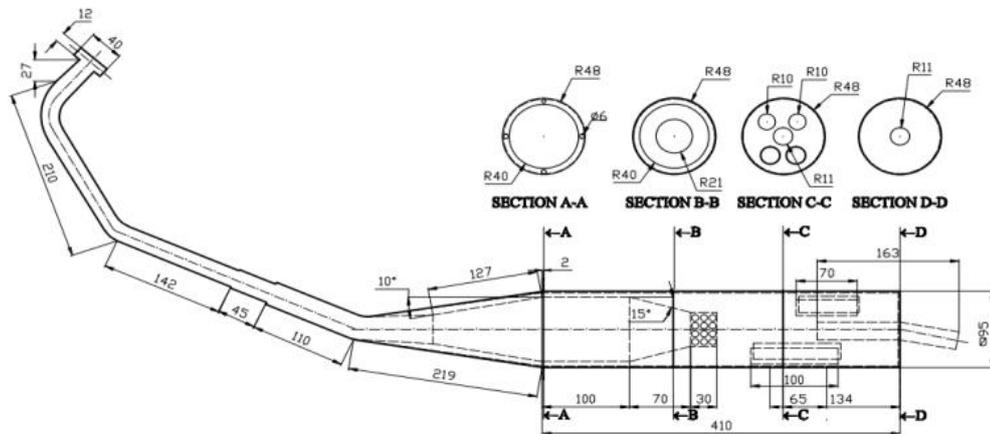
Sedangkan pembuatan *metallic catalytic converter casing* pada knalpot eksperimen sepeda motor Yamaha Jupiter MX 135 cc, mengacu pada desain yang

telah dibuat oleh A. Graham Bell (1998: 299). Besarnya sudut kemiringan pada *diffuser* depan dengan *entry taper* sebesar 10° dan sudut kemiringan pada *diffuser* belakang dengan *exit taper* sebesar 15° . Desain seperti ini dimaksudkan untuk meminimalisir turbulensi aliran gas buang sehingga dapat menurunkan tekanan balik (*back pressure*) yang cenderung merugikan mesin. Di bagian belakang *metallic catalytic converter casing* juga ditambahkan *resonator* untuk menurunkan tekanan gas buang sehingga tingkat kebisingan (*noise level*) bisa direduksi. *Metallic catalytic converter casing* pada knalpot eksperimen sepeda motor Yamaha Jupiter MX 135 cc dapat dilihat pada Gambar 169.



Gambar 169. Modifikasi *Metallic Catalytic Converter Casing* Untuk Memaksimalkan Aliran Gas Buang
Sumber: Bell (1998: 299)

Dari perhitungan yang telah dilakukan dapat digambarkan desain knalpot eksperimen sepeda motor Yamaha Jupiter MX 135 cc sebagai berikut.



Gambar 170. Desain Knalpot Eksperimen Sepeda Motor Yamaha Jupiter MX 135

Sedangkan knalpot eksperimen sepeda motor Yamaha Jupiter MX 135 cc yang telah dikembangkan di SMK Semen Gresik seperti pada Gambar 171.



Gambar 171. Knalpot Eksperimen Sepeda Motor Yamaha Jupiter MX 135

Dari hasil pengujian disimpulkan bahwa teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) yang dipasang pada knalpot eksperimen sepeda motor Yamaha Jupiter MX 135 cc di SMK Semen Gresik dapat mereduksi emisi CO dan HC masing-masing sebesar 60,76% dan 61,08%. Selain itu, teknologi ini juga mampu mereduksi tingkat kebisingan rata-rata sebesar 3,80%.

Oleh karena itu, teknologi *metallic catalytic converter* berbahan dasar plat tembaga berlapis krom (Cu+Cr) ini dapat diaplikasikan pada semua unit sepeda motor praktik yang ada di bengkel otomotif sekolah (6 unit sepeda motor) dan semua sepeda motor yang digunakan oleh siswa, guru, tenaga kependidikan, dan petugas layanan khusus (356 unit sepeda motor) di SMK Semen Gresik sehingga memunculkan kesadaran, kepedulian, dan perilaku peduli lingkungan hidup untuk ikut serta mencegah terjadinya pencemaran udara dan tingkat kebisingan kendaraan secara lokal yang berdampak global (*think globally, act locally*).

Jika gerakan penggunaan teknologi otomotif ramah lingkungan di SMK Semen Gresik ini sudah membudaya di semua warga sekolah, maka potensi beban emisi CO, HC, NO_x, SO_x, PM₁₀, dan CO₂ dapat direduksi secara berkala dan berkelanjutan sehingga akan dihasilkan lingkungan belajar yang kondusif, nyaman, aman, dan menyehatkan (*indoor air quality*).

Langkah selanjutnya adalah mendaftarkan paten teknologi otomotif ramah lingkungan yang telah dikembangkan tersebut ke Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual, Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia dan mengurus perijinan produk ke Badan Standardisasi Nasional (BSN) untuk memperoleh sertifikat SNI (Standard Nasional Indonesia) agar produk hasil pengembangan ini bisa dipasarkan ke masyarakat yang lebih luas.

Adapun judul usulan paten yang telah dan yang akan didaftarkan ke Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual, Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia adalah:

1. Penjebak Partikulat Diesel Dengan Bentuk Sarang Lebah Logam (*Metallic Honeycomb Diesel Particulate Trap*) dengan nomor permohonan paten P0020170519 tanggal 29 Desember 2017.
2. Knalpot Mobil Bensin Ramah Lingkungan Berteknologi *Metallic Catalytic Converter* Tembaga Berlapis Krom.
3. *Muffler* Tipe Tabung *Off-Set* (*Off-Set Tube Type Muffler*).
4. Pembersih Saringan Oli (*Oil Filter Cleaner*).

Sedangkan implementasi produk hasil pengembangan juga akan dilakukan di SMK Negeri 1 Bendo, Kabupaten Magetan, Propinsi Jawa Timur, dimana SMK ini telah berstatus sebagai sekolah adiwiyata nasional pada tahun 2013 dan saat ini sedang mempersiapkan diri untuk menuju sekolah adiwiyata mandiri.

DAFTAR PUSTAKA

- Allam, S. (2014). Numerical assessment and shape optimization of dissipative muffler and its effect on IC engine acoustic performance. *American Journal of Vehicle Design*, 2(1), 22-31. <http://doi.org/10.12691/ajvd-2-1-4>.
- Amin, C. M., Chavda, K., & Gadhia, U. (2017). Exhaust analysis of four stroke single cylinder diesel engine using copper based catalytic converter. *International Journal for Scientific Research & Development (IJSRD)*, 3(1), 493-497. Retrieved from <http://www.ijssrd.com/articles/IJSRDV1I3022.pdf>
- Annandale, D., & Bailey, J. (1999). *Strategic environmental assessment project* (Contract No. ADM/99-247). Manila: Asian Development Bank.
- Asdak, C. (2014). *Kajian lingkungan hidup strategis: Jalan menuju pembangunan berkelanjutan*. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press.
- Arisma. (2010). *Aplikasi reheater pada knalpot sepeda motor 4 langkah untuk mereduksi emisi CO & HC*. Skripsi, sarjana, tidak diterbitkan, Universitas Udayana, Bali.
- Arifin, Z. (2016). Identifikasi potensi pencemaran udara fasilitas bengkel praktik SMK bidang keahlian teknik otomotif di Kota Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional "Peranan Pendidikan Teknologi dan Kejuruan dalam Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA)"*, Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan: Asosiasi Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Indonesia (APTEKINDO), (1): 1746-1756.
- Ariyanto, S. R., & Warju. (2016). Unjuk kemampuan diesel particulate trap berbahan tembaga dan glasswool terhadap reduksi opasitas gas buang. *Jurnal Otopro*, 11(2): 187-195.
- BPS. (2015). *Indikator perilaku peduli lingkungan hidup 2014 (hasil survei sosial ekonomi nasional 2014, modul ketahanan nasional)*. Jakarta: Badan Pusat Statistik (BPS).
- Bagyono. (2005). *Kesehatan, Keselamatan dan Keamanan Kerja Bidang Perhotelan*. Bandung: Penerbit Alfabeta.
- Bakar, A. A.. (2007). *Al-muyassar Al-Qur'an dan terjemahnya*. Bandung: Sinar Baru Algensindo.
- Baxa, D. E. (1982). *Noise control in internal combustion engine*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

- Bell, A. G. (2006). *Four-stroke performance tuning (3rd ed.)*. California: Haynes Publishing.
- Billet, S. (2011). *Vocational education purposes, traditions and prospects*. London: Springer Science+Business Media.
- Borg, W. R., & Gall, M. D. (1983). *Educational research: An introduction*. New York: Longman.
- Borg, W. R., Gall, J. P., & Gall, M.D. (2003). *Educational research: An introduction (7th ed.)*. Boston: Pearson Education, Inc.
- Brown, L. R. (1981). *Building a sustainable society*. Worldwatch Institute: W. W. Norton & Co Inc. Retrieved from http://sustainability.psu.edu/fieldguide/wp-content/uploads/2015/08/brown_building-a-sustainable-society.pdf
- Brundtland Commission Report. (1987). *Our common future* (Report of the World Commission on Environment and Development, 20 March 1987). Oslo: Gro Harlem Brundtland. Retrieved from <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- Chin, J. (2004). *Bay area environmental education: How do we know we're making a difference?* San Francisco. Retrieved from http://www.peecworks.org/PEEC/PEEC_Gen/01795C68-001D0211.5/
- Clark, C. M., & Yinger, R. J. (1987). *Teacher planning: In talks to teachers*. New York: Random House.
- Collaborative for High Performance Schools (CHPS) (2004). *Best practices manual. Volumes 1-4*. Retrieved from <http://www.chps.net>
- Creswell, J. W. (2009). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (3rd ed.)*. California: SAGE Publications.
- Crouse, W. H., & Anglin, D. L. (1997). *Automotive mechanics (9th ed.)*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- DEAT. (2004). *Strategic environmental assessment, integrated environmental management information series*. Pretoria: Department of Environmental Affairs and Tourism. Retrieved from https://www.environment.gov.za/sites/default/files/docs/series10_strategic_environmental_assessment.pdf
- Diep, P. C., & Hartmann, M. (2016). Green skills in vocational teacher education – a model of pedagogical competence for a world of sustainable development. *The Online Journal for Technical and Vocational Education and Training in*

Asia, (6), 1–19. Retrieved from http://www.tvet-online.asia/issue6/diep_hartmann_tvset6.pdf

Direktur Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah. (2016). *Keputusan Direktur Jenderal Pendidikan Dasar dan Menengah Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI Nomor: 4678/D/KEP/MK/2016, Tahun 2016, tentang Spektrum Keahlian Pendidikan Menengah Kejuruan.*

Direktorat Pembinaan SMK. (2005). *Rencana strategis Departemen Pendidikan Nasional 2005-2009: Tentang menuju pembangunan pendidikan nasional jangka panjang 2025.* Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.

Djojonegoro, W. (1998). *Pengembangan sumber daya manusia melalui Sekolah Menengah Kejuruan (SMK).* Jakarta: PT. Jayakarta Agung Offset.

Dowden, D.A. (1970). *Catalytic handbook.* New York: Verlag, Inc.

EEA. (2002). *EMEP/CORINAIR emission inventory guidebook (3rd ed.)* (EEA Technical Report No 30). Copenhagen: European Environment Agency (EEA).

EEA. (2005). *EMEP/CORINAIR emission inventory guidebook-2005* (EEA Technical Report No 30). Copenhagen: European Environment Agency (EEA). Retrieved from <http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en>

EEA. (2013). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013: Technical guidance to prepare national emission inventories* (EEA Technical Report No. 12/2013). Copenhagen: European Environment Agency (EEA).

Freiberg, H. J., & Driscoll, A. (1996). *Universal teaching strategies (2nd ed.).* Boston: Allyn & Bacon.

Ghufron, A., Purbani, W., & Sumardiningsih, S. (2007). *Panduan penelitian dan pengembangan bidang pendidikan dan pembelajaran.* Yogyakarta: Lembaga Penelitian Universitas Negeri Yogyakarta.

Gleissner, Kai. (2013). *Greening TVET for sustainable development* (Report of the UNESCO-UNEVOC Online Conference, 22 October to 2 November 2012). Bonn: UNESCO-UNEVOC International Centre for Technical and Vocational Education and Training.

Goetsch, D. L. (2015). *Occupational safety and health: For technologists, engineers, and managers (8th ed.).* London: Pearson Education.

- Gordon, D. E. (2010). *Green schools as high performance learning facilities*. Washington, D.C.: National Clearinghouse for Educational Facilities. Retrieved from <http://www.ncef.org/pubs/greenschools.pdf>
- Hartmann, M. D. (2016). *Theory and method of reflection levels – Its use in vocational education and training*. In VET Development Symposium “Current Situation and Development of Further Education and Research in Vocational Education and Training in Subsahara Africa”, 23th-25th August 2016 (pp. 1–9). Windhoek (Namibia): The Namibia University of Science and Technology and the University of Rostock.
- Heisler, H. (1995). *Advanced engine technology*. London: Edward Arnold.
- Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Hidayah, U., & Warju. (2012). *Kadar emisi gas buang sepeda motor empat langkah dengan menggunakan thermal reactor*. Skripsi, tidak diterbitkan, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- <http://www.google.co.id/imgres?q=exhaust+gas+recirculation>. Retrieved on 19 April 2012.
- Ibrahim, O. M., Alotaibi, S., & Wenghoefer, H. (2016). Active diesel particulate filters and nitrogen dioxide emission limits. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 6(4), 107-116. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Osama_Ibrahim20/publication/309159367_Active_Diesel_Partuculate_Filters_and_Nitrogen_Dioxide_Emission_Limits/links/5801c9be08ae6c2449f2c5fb/Active-Diesel-Partuculate-Filters-and-Nitrogen-Dioxide-Emission-Limits.pdf
- ILO (*International Labour Organization*). (2001). *Guideline on OHS Management System, ILO-OSH 2001*.
- IPCC. (2006a). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse inventory. Chapter 2: Stationary combustion*. Paris: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- IPCC. (2006b). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse inventory. Chapter 3: Mobile combustion*. Paris: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- ISO 14000: *Environmental Management Standards: Engineering and Financial Aspects*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. Retrieved from http://www.untag-smd.ac.id/files/Perpustakaan_Digital_1/ENVIRONMENTAL%20MANAG

EMENT%20ISO%2014000%20environmental%20management%20standards%20engineering%20and%20financial%20a.pdf

ISO 14001 (2015): *Environmental Management Standards*. Northwood: NSAI Certification Department. Retrieved from <https://www.nsai.ie/getattachment/Our-Services/Certification/Management-Systems/ISO-14001-Environmental-Management/MD-09-03-Rev-5-ISO-14001-Environmental-Management.pdf.aspx>

ISO/FDIS 5130:2006(E). *Acoustics-Measurements of sound pressure level emitted by stationary road vehicles*. Geneva: International Organization for Standardization (ISO). Retrieved from <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2007/wp29grb/ECE-TRANS-WP29-GRB-45-inf01e.pdf>

IUCN. (1980). *World Conservation Strategy Living Resource Conservation for Sustainable Development*. Report from International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN) with the advice, cooperation, and financial assistance of the United Nations Environment Programme (UNEP) and the World Wildlife Fund (WWF). Retrieved from <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/wcs-004.pdf>

Jenbacher. (1996). *Spark ignition engine design vol 3*. Germany: Jenbacher Energy System.

Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Redzuan, M., Mahlia, T. M. I., Fuad, M. A., Mohibah, M., Halim, K. H., Ishak, A., Khair, M., Shahrir, A., & Yusoff, A. (2009). Development and test of a new catalytic converter for natural gas fuelled engine. *Sadhana*, 34(3): 467–481. Retrieved from <http://www.ias.ac.in/article/fulltext/sadh/034/03/0467-0481>

Kats, G. (2006). *Greening America's schools: Costs and benefits*. U.S.A.: A Capital E Report. Retrieved from <http://www.usgbc.org>

Kats, G., Perlman, J., & Jamadagni, S. (2005). *National review of green schools: Costs, benefits, and implications for Massachusetts* (A Capital E Report). U.S.A.: A Report for the Massachusetts Technology Collaborative. Retrieved from <http://www.usgbc.org>

Karthikeyan, D., Saravanan, C. G., & Gunasekaran, E. J. (2016). Performance analysis of catalytic converters in spark ignition engine emission reduction. *International Journal of Advances in Engineering & Technology (IJAET)*, 9(1), 135-143. Retrieved from www.e-ijaet.org/media/15I31-IJAET0931952-v9-iss1-pp135-143.pdf

- Kelly, S., & Price, H. (2009). Vocational education: A clean slate for disengaged student? *Social Science Research*, 38/4, 810-825.
- Keraf, S. (2014). *Filsafat lingkungan hidup, Alam sebagai sebuah sistem kehidupan*. Yogyakarta: PT. Kanisius.
- Kumar, R., Singh, S., & Kaur, M. (2017). Emission testing of catalytic converter using zirconium oxide (ZrO) and cobalt oxide (CoO) as catalyst. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 7(3), 333-342. Retrieved from www.tjprc.org/publishpapers/2-67-1497518989-ABS-33.IJMPERDJUN201733.pdf
- Kusumatuti, L., Krisnawati, L., & Nugroho, S. (2014). *Pedoman teknis penilaian program adiwiyata nasional*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Kutanegara, P. M., Pitoyo, A. J., Kiswanto, E., Sumini, & Nugraha, Y. P. (2014). *Membangun masyarakat Indonesia peduli lingkungan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Lee, N., & Walsh, F. (1992). Strategic environmental assessment: An overview. *Project Appraisal*, (7): 126-136.
- Mahadeven, G., & Sendilvelan, S. (2017). Temperature analysis of dynamic catalytic convertor system with pre-catalyst in a multi cylinder spark ignition engine to reduce light-off time. *International Journal of Heat and Technology*, 35(1), 97-102. <http://doi.org/10.18280/ijht.350113>
- Maryono. (2015). The Implementation of the environmental education at “adiwiyata” schools in Pacitan Regency (An analysis of the implementation of grindle model policy). *Journal of Education and Practice*, 17(6): 31-42. Retrieved from <http://www.iiste.org/Journals/index.php/JEP/article/download/23586/23960>
- Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (1987). *Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 718/MENKES/PER/XI/1987, Tahun 1987, tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan*.
- Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia. (1996). *Peraturan Menteri Tenaga Kerja RI Nomor PER. 05/MEN/1996, Tahun 1996, tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2006). *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup RI Nomor 05, Tahun 2006, tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama*.

- Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia. (2008). *Peraturan Menteri Pendidikan Nasional RI Nomor 40, Tahun 2008, tentang Standar Sarana dan Prasarana Sekolah Menengah Kejuruan.*
- Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2009). *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup RI Nomor 04, Tahun 2009, tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru.*
- Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2009). *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup RI Nomor 07, Tahun 2009, tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru.*
- Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia. (2011). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum RI No.06/PRT/M/2011, Tahun 2011, tentang Penyediaan Air Bersih.*
- Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia. (2011). *Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi RI No.PER.13/MEN/X/2011, Tahun 2011, tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja.*
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2012). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral RI Nomor 13, Tahun 2012, tentang Penghematan Pemakaian Tenaga Listrik.*
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2012). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral RI Nomor 15, Tahun 2012, tentang Penghematan Pemakaian Air Tanah.*
- Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2013). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 05, Tahun 2013, tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata.*
- Miles, M. B., & Huberman, M. A. (1984). *Qualitative data analysis: A sourcebook of new methods.* London: Sage Publications.
- NAAEE. (2004). *Environmental education materials: Guidelines for excellence.* Washington, D.C.: North American Association for Environmental Education. Retrieved from <https://naaee.org/sites/default/files/materialsglcomplete.pdf>
- National Research Council. (2006). *Review and assessment of the health and productivity benefits of green schools: An interim report.* Washington, DC: The National Academies Press.

- NRC (National Research Council Committee to Review and Assess the Health and Productivity Benefits of Green Schools). (2006). *Green schools: Attributes for health and learning*. Washington, DC: National Academies Press. Retrieved on 5 April, 2012 from <http://www.nap.edu/catalog/11756.html>
- Nisa, K., Ratnaningrum, Megawati, & Widyastuti, C. R. (2016). Design innovation of motorcycle muffler by applying catalytic converter based on non-noble material to reduce exhaust emission. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, 4(4), 67-70. Retrieved from http://www.ijar.in/journal/journal_file/journal_pdf/6-329-148575624867-70.pdf
- Obert, Edward F. (1973). *Internal combustion engine and air pollution (3rd ed.)*. New York: Harper & Row, Publisher, Inc.
- OHSAS 18001:2007. *Occupational Health and Safety Assessment Series*, OH&S Safety Management System Requirements.
- Olson, S. L., & Kellum, S. (2003). *The impact of sustainable buildings on educational achievements in K-12 schools*. Wisconsin: Leonardo Academy Inc. Retrieved from <http://www.cleanerandgreener.org/download/sustainableschools.pdf>.
- Orange, H. R. H., & Rijsberman, F. R. (2000). Summary report of the 2nd world water forum: From vision to action. *Water Policy Journal (Elsevier)*, 2(2000): 387-395. Retrieved from <http://www.yemenwater.org/wp-content/uploads/2013/03/HRH-The-Prince-of-Orange-and-Frank-R.-Rijsberman.-2000..pdf>
- Pal, S., Golan, T. S., Kumar, V., Jain, V., Ramdas, N., & Sharma, O. P. (2014). Design of a muffler & effect of resonator length for 3 cylinder SI engine. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 11(3), 85-91. Retrieved from www.iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/vol11-issue3/Version-7/O011378591.pdf
- Partidario, M. R. (1996). Strategic environment assessment: Key issues emerging from recent practice. *Environ. Impact Asses. Rev.*, (46): 31-35.
- Pavlova, M. (2009). *Technology and vocational education for sustainable development empowering individuals for the future*. Queensland: Springer Science Business Media B. V.
- Pavlova, M. (2009). The vocationalization of secondary education: The relationships between vocational and technology education. In Maclean, R., Wilson, D., & Chinien, C (Eds.), *International handbook of education for the*

changing world of work, bridging academic and vocational learning (pp. 1805-1822). Bonn: Springer Science+Business Media.

Pavlova, M., & Huang, C. L. (2013). *Advancing employability and green skills development: Values education in TVET, the case of the people's Republic of China*. New York: Springer Dordrecht Heidelberg.

Pavlova, M., & Maclean, R. (2013). *Vocationalisation of secondary and tertiary education: Challenges and possible future directions*. New York: Springer Dordrecht Heidelberg.

Pisciotta, A. A. (2015). Post-2015 development goals for gender equality and empowerment of women. *Southwestern Journal of International Law*, 21, 303–309. Retrieved from http://www.swlaw.edu/pdfs/lawjournal/21_2pisciotta

Prasetya, L. (1996). Pengelolaan kebisingan. *Makalah* disajikan dalam Kursus Pengendalian Pencemaran Udara, di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Presiden Republik Indonesia. (2001). *Peraturan Pemerintah RI Nomor 82, Tahun 2001, tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*.

Presiden Republik Indonesia. (2005). *Peraturan Pemerintah RI Nomor 19, Tahun 2005, tentang Standar Nasional Pendidikan*.

Presiden Republik Indonesia. (2011). *Instruksi Presiden RI Nomor 13, Tahun 2011, tentang Penghematan Energi dan Air*.

Program Pascasarjana UNY. (2017). *Pedoman Tesis dan Disertasi Program Pascasarjana Universitas Negeri Yogyakarta*. Yogyakarta: Program Pascasarjana Universitas Negeri Yogyakarta.

Prosser, C. A., & Quigley, T. (1950). *Vocational education in a democracy*. Chicago: American Technical Society.

PT. Toyota-Astra Motor. (1995). *Toyota step 1*. Jakarta: PT. Toyota-Astra Motor Training Section, Service Division.

PT. Toyota-Astra Motor. (1995). *Toyota materi pelajaran engine group step 2*. Jakarta: PT. Toyota-Astra Motor Training Section, Service Division.

Quan-shuna, Y., Jian-wei, T., Yun-shana, G., Li-jun, H., & Zi-hanga, P. (2017). Application of diesel particulate filter on in-use on-road vehicles. *Energy Procedia of The 8th International Conference on Applied Energy-ICAE2016, China*, 105, 1730-1736. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.496>

- Ramli, N. H., Masri, M. H., Taib, M. Z. H. M., Hamid, N. A. (2012). A comparative study of green school guidelines. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, Thailand*, 50 (2012), 462 – 471. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.08.050>
- Ramli, S. (2013). *Sistem Manajemen Keselamatan & Kesehatan Kerja OHSAS 18001*. Jakarta: Dian Rakyat.
- Razak, N. H. B. A., Iksan, Z. H., & Zakaria, S. Z. S. (2013). Students' reflection on green school. *Journal of Techno Social Issue on Society, Technology and Governance*, 9(1): 44-52. Retrieved from <http://penerbit.uthm.edu.my/ojs/index.php/JTS/article/download/1765/1148>
- Reddy, G. G., & Prakash, N. (2016). Design and fabrication of reactive muffler. *International Journal of Chemical Sciences*, 14(2), 1069-1076. Retrieved from www.tsijournals.com/articles/design-and-fabrication-of-reactive-muffler.pdf
- Republik Indonesia. (1970). *Undang-Undang RI Nomor 1, Tahun 1970, tentang Keselamatan Kerja*.
- Republik Indonesia. (1982). *Undang-Undang RI Nomor 14, Tahun 1982, tentang Ketentuan-ketentuan Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Republik Indonesia. (1997). *Undang-Undang RI Nomor 23, Tahun 1997, tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Republik Indonesia. (2000). *Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945*.
- Republik Indonesia. (2002). *Undang-Undang RI Nomor 28, Tahun 2002, tentang Bangunan Gedung*.
- Republik Indonesia. (2003). *Undang-Undang RI Nomor 20, Tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Nasional*.
- Republik Indonesia. (2003). *Undang-Undang RI Nomor 13, Tahun 2003, tentang Ketenagakerjaan*.
- Republik Indonesia. (2007). *Undang-Undang RI Nomor 26, Tahun 2007, tentang Penyediaan Ruang Terbuka Hijau*.
- Republik Indonesia. (2007). *Undang-Undang RI Nomor 24, Tahun 2007, tentang Penanggulangan Bencana Alam*.

- Republik Indonesia. (2008). *Undang-Undang RI Nomor 18, Tahun 2008, tentang Pengelolaan Sampah*.
- Republik Indonesia. (2009). *Undang-Undang RI Nomor 32, Tahun 2009, tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Republik Indonesia. (2009). *Undang-Undang RI Nomor 30, Tahun 2009, tentang Ketenagalistrikan*.
- Robert Bosch Gmbh. (1988). *Automotive electric/electronic system*. Stuttgart: Robert Bosch Gmbh.
- Robert Bosch Gmbh. (1999). *Gasoline engine management*. Stuttgart: Robert Bosch Gmbh.
- Rochmawati, E. (1996). *Sistem manajemen lingkungan*. Jakarta: PT. Pustaka Binman Pressindo.
- Rojewski, J. W. (2009). A conceptual framework for technical and vocational education and training. In Maclean, R., Wilson, D., & Chinien, C (Eds.), *International handbook of education for the changing world of work, bridging academic and vocational learning* (pp. 11-39). Bonn: Springer Science+Business Media.
- SAE-J1667. (1996). *Snap acceleration test procedure*. California: Society of Automotive Engineers (SAE).
- Salim, E. (1985). *Lingkungan hidup dan pembangunan*. Yogyakarta: PT. Kanisius.
- Sadler, B. & Verheem, R. (1996). *Strategic environmental assessment: Status, challenges and future directions*. Netherlands: The Netherlands and the International Study of the Effectiveness of Environmental Assessment, Ministry of Housing, Spatial Planning, and the Environment.
- Setiawan, E., & Warju. (2009). Rancang bangun diesel particulate trap berbahan dasar kuningan untuk mereduksi tingkat kepekatan asap (opasitas) gas buang mesin diesel stasioner. *Tugas Akhir*, tidak diterbitkan, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Sharif, K., Jagadish, D., Kumar, K. P., & Rakesh, K. (2016). Diesel particulate filter modeling for compression ignition engine. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 51-56. <http://doi.org/10.9790/1684-16053035156>
- Singh, A., & Shrivastava, N. (2015). Study of noise behavior on mufflers for IC engine: A review. *International Journal of Engineering Sciences & Research*

Technology, 4(8), 468-474. Retrieved from http://www.ijesrt.com/issues%20pdf%20file/Archives-2015/August-2015/65_STUDY%20OF%20NOISE%20BEHAVIOR%20ON%20MUFFLERS%20FOR%20IC%20ENGINE%20A%20REVIEW.pdf

Silalahi, B. N. B. & Silalahi, R. B. (1995). *Manajemen Keselamatan & Kesehatan Kerja*. Jakarta: PT. Pustaka Binaman Pressindo.

SNI 09-7118.1-2005. *Emisi gas buang – Sumber bergerak – Bagian 1: Cara uji kendaraan bermotor kategori M, N, dan O berpengerak penyalaan cetus api pada kondisi idle*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).

SNI 09-7118.2-2005. *Emisi gas buang – Sumber bergerak – Bagian 2: Cara uji kendaraan bermotor kategori M, N, dan O berpengerak penyalaan kompresi pada kondisi akselerasi bebas*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).

SNI 7554:2010. *Pengukuran konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor kategori M1 dan N1*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).

Somwaru, L. (2016). The green school: a sustainable approach towards environmental education: Case study. *Brazilian Journal of Science and Technology*, 3(10): 1-15. <http://doi.org/10.1186/s40552-016-0023-6>

Stelmasiak, Z., Pielecha, J., & Pietras, D. (2017). Particulate matter emission from dual fuel diesel engine fuelled with natural gas. *Polish Maritime Research*, 2(24), 96-104. <http://doi.org/10.1515/pomr-2017-0055>

Sudira, P. (2009). *Filosofi & teori pendidikan vokasi dan kejuruan*. Yogyakarta: UNY Press.

Sudira, P. (2017). *TVET abad XXI: Filosofi, teori, konsep, dan strategi pembelajaran vokasional (ed. kedua)*. Yogyakarta: UNY Press.

Sugiyono, (2008). *Metode penelitian pendidikan*. Bandung: Penerbit Alfabeta.

Sugiyono, (2015). *Metode penelitian & pengembangan (research and development (R&D))*. Bandung: Penerbit Alfabeta.

Suharti. (2011). *Limbah kimia dalam pencemaran udara dan air*. Yogyakarta: CV. Andi Offset (Penerbit Andi).

Suherman, E. (2008). *Model belajar dan pembelajaran beorientasi kompetensi siswa*. Laporan Penelitian, tidak dipublikasikan. Bandung: Lembaga Penelitian Universitas Pendidikan Indonesia.

- Sulistiyono, T. A. & Warju. (2009). *Rancang bangun diesel particulate trap berbahan dasar tembaga untuk mereduksi tingkat kepekatan asap (opasitas) gas buang mesin diesel stasioner. Tugas Akhir*, tidak diterbitkan, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Suyanto, D. H. (2000). *Refleksi dan reformasi pendidikan Indonesia memasuki millenium III (ed. pertama)*. Yogyakarta: Adicita Karya Nusa.
- Swisscontact. (2001). *Pengetahuan dasar perawatan kendaraan niaga (bus)*. Jakarta: Swisscontact-Clean Air Project.
- Swisscontact. (2001). *Analisa kinerja mesin diesel berdasarkan hasil uji emisi*. Jakarta: Swisscontact-Clean Air Project.
- Swisscontact. (2001). *Injeksi bensin elektronis dan manajemen mesin*. Jakarta: Swisscontact-Clean Air Project.
- Tan, H., Chen, S., Shi, Q., & Wang, L. (2013). Development of green campus in China. *Journal of Cleaner Production*, 64(2014): 646-653. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.019>
- Tim Adiwiyata Tingkat Nasional. (2011). *Panduan adiwiyata sekolah peduli dan berbudaya lingkungan*. Jakarta: Kerjasama Kementerian Lingkungan Hidup dengan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- UN. (1972). *Report of the United Nations conference on the human environment* (Stockholm, 5-16 June 1972, United Nations publication Sales No; E.73.II.A.14). Switzerland: United Nations Publication.
- UN. (2015a). *The millennium development goals report 2015*. New York: United Nations. Retrieved from [http://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG 2015 rev \(July 1\).pdf](http://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%2015%20rev%20(July%201).pdf)
- UN. (2015b). *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development*. Retrieved from [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030 Agenda for Sustainable Development web.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf)
- UNDP. (2015). *Sustainable development goals*. New York: The United Nations Development Programme (UNDP).
- UNESCO. (1975). *The belgrade charter: A framework for environmental education*. Retrieved October 12, 2016, from <http://unesdoc.unesco.org/images/0001/000177/017772eb.pdf>

- UNESCO. (1977). *Intergovernmental conference on environmental education*. Tbilisi. Retrieved from http://www.gdrc.org/uem/ee/EE-Tbilisi_1977.pdf
- UNESCO. (2012a). *Education for sustainable development sourcebook*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Retrieved from <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/926unesco9.pdf>
- UNESCO. (2012b). *Shaping the education of tomorrow: 2012 report on the UN decade of education for sustainable development*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002166/216606e.pdf>
- UNEP & TNT. (2006). *How to clean up your fleet: Toolkit user guide*. Nairobi: Partnership for Clean Fuels and Vehicles United Nations Environment Programme (UNEP) and TNT.
- UNEP & TNT. (2006). *Clean up your fleet: Introducing a practical approach to cleaner, more efficient fleet operation*. Nairobi: Partnership for Clean Fuels and Vehicles United Nations Environment Programme (UNEP) and TNT.
- UNRIC. (2015). *17 sustainable development goals are set and welcomed*. Retrieved from <http://www.unric.org/en/latest-un-buzz/29844-17-sustainable-development-goals-are-set-and-welcomed>.
- U.S. EPA. (1995). *U.S. EPA's compilation of air pollutant emissions factors, AP-42, edition 5*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). Retrieved from <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>.
- U.S. EPA. (2005a). *Plain English guide to the part 75 rule*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), Clear Air Markets Division. Retrieved from http://www.epa.gov/airmarkets/monitoring/plain_english_guide_part75_rule.pdf
- U.S. EPA. (2005b). *Air CHIEF, version 12, EPA 454/C-05-001*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), Office of Air Quality Planning and Standards. Retrieved from <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html>
- U.S. EPA. (2005c). *Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2003*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA).
- USGBC. (2008). *Green schools 101: Why green schools?* Retrieved from <http://www.greenschoolbuildings.org/gs101.aspx>

- Utomo, Y., Utaya, S., Mahanal, S., Rohman, F., Hartono, R., Zakia, N., & Hidayat, S. (2009). *Pendidikan lingkungan hidup untuk Sekolah Menengah Atas kelas XII jilid 3*. Malang: Kerjasama Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Lembaga Penelitian Universitas Negeri Malang dengan Badan Lingkungan Hidup Propinsi Jawa Timur.
- Vasanthan, B. (2013). Copper oxide coated diesel particulate filters. *International Journal for Scientific Research & Development (IJSRD)*, 10(1), 2110-2111. Retrieved from <http://www.ijssrd.com/articles/IJSRDV11I10028.pdf>
- Ver, I. L., & Beranek, L. L. (2006). *Noise and vibration control engineering: Principles and applications (2nd ed.)*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Veronese, D. P., & Kensler, L. A. W. (2013). School leaders, sustainability, and green school practices: An elicitation study using the theory of planned behavior. *Journal of Sustainability Education*, 4(1): 1-21. Retrieved from <http://www.jsedimensions.org/wordpress/wp-content/uploads/2013/02/LisaKenslerWinter20131.pdf>
- Wahyuhadi, U. (2012). *Pengelolaan sekolah adiwiyata di SMK Negeri 1 Salatiga*. Naskah Publikasi Program Studi Manajemen Pendidikan. Surakarta: Program Studi Manajemen Pendidikan Universitas Muhammadiyah Surakarta. Retrieved from http://eprints.ums.ac.id/18951/10/Naskah_Publikasi.pdf
- Warju. (2009). *Pengujian performa mesin kendaraan bermotor*. Surabaya: Unesa University Press.
- Warju. (2013). *Teknologi reduksi emisi gas buang kendaraan bermotor*. Surabaya: Unesa University Press.
- Warju. (2015). The Evaluation of the implementation of the adiwiyata program (green school program) in SMK Semen Gresik. *The International Proceeding of Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE), Indonesia, 1, 101-112*.
- Warju. (2015). The performance of copper metallic catalytic converter as catalyst to reduce exhaust gas emission from Yamaha Vega motorcycle. *The Proceeding of Joint International Seminar on Green Religion, Science, and Technology: Prospect and Challenge for Sustainable Life, 1, 17-32*.
- Warju, Harto, S. P., Soenarto, & Hartmann, M. D. (2017). Evaluating the implementation of green school (adiwiyata) program: Evidence from Indonesia. *International Journal of Environmental & Science Education*, 12(6), 1483-1501. Retrieved from www.ijese.net/arsiv/161/IJESE_1914_article_598df70ae4638.pdf

- Warju & Marsudi. (2015). Pengaruh penggunaan diesel particulate trap (DPT) berbahan stainless steel dan glasswool terhadap reduksi opasitas, konsumsi bahan bakar, dan tingkat kebisingan mesin Isuzu Panther. *Jurnal Otopro*, 9(2): 111-121.
- Warju, Muliatna, I. M., & Dewanto. (2009). *Rancang bangun muffler dengan catalytic converter berbahan baku alternatif sebagai upaya meningkatkan partisipasi masyarakat dalam pelaksanaan program langit biru*. Laporan Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi (Hibah Pekerti). Surabaya: Lembaga Penelitian Universitas Negeri Surabaya.
- Warju, & Sanata, A. (2008). Unjuk kemampuan straight-through muffler dengan catalytic converter tembaga berlapis mangan terhadap tingkat kebisingan sepeda motor empat langkah. *Jurnal Rekayasa*, 5(2): 173-183.
- Webb, J. W., & Sigal, L. L. (1992). Strategic environmental assessment in the United States. *Project Appraisal*, (7): 137-141.
- World Bank. (2005). *Integrating environmental considerations in policy formulation: Lesson from policy-based SEA experience* (Report 32783). Washington, D.C: World Bank. Retrieved from <http://siteresources.worldbank.org/INTUNITFESSD/Resources/integratingenvironmental.pdf>
- ZAS Architechs Inc. (n.d.). *Green schools resource guide: A practical resource for planning and building green schools in Ontario*. ZAS Architechs Inc. in association with Halsall Associates. Retrieved from http://www.edu.gov.on.ca/eng/policyfunding/GreenSchools_Guide.pdf

Lampiran 1. Surat Permohonan Izin Penelitian



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
PROGRAM PASCASARJANA
Jalan Colombo Nomor 1 Yogyakarta 55281
Telp. Direktur (0274) 550835, Asdir/TU (0274) 550836 Fax. (0274)520326
Laman: pps.uny.ac.id Email: pps@uny.ac.id, kerjasama_pasca@yahoo.com

Nomor : 2867 /UN34.17/LT/2017
Hal : Izin Penelitian

7 Maret 2017

Yth. Kepala SMK Semen Gresik
Jl. Arief Rahman Hakim No. 90, Kab. Gresik, Jawa Timur 61111

Bersama ini kami mohon dengan hormat, kiranya Bapak/Ibu/Saudara berkenan memberikan izin kepada mahasiswa jenjang S-3 Program Pascasarjana Universitas Negeri Yogyakarta:

Nama : WARJU
NIM : 14702269005
Program Studi : Pendidikan Teknologi dan Kejuruan
Konsentrasi : Manajemen Pendidikan Kejuruan

untuk melaksanakan kegiatan penelitian dalam rangka penulisan disertasi yang dilaksanakan pada:

Waktu : Maret 2017 s.d Desember 2017
Lokasi/Objek : SMK Semen Gresik
Judul Penelitian : **Pengembangan Model Sekolah Hijau (*Green School*)
Pada Program Studi Teknik Otomotif di SMK**
Pembimbing : 1. Prof. Soenarto, M.A., M.Sc., Ph.D.
2. Prof. Slamet PH, M.Ed., MLHR., Ph.D.

Demikian atas perhatian, bantuan dan izin yang diberikan, kami ucapkan terima kasih

Asisten Direktur I,



Tembusan:
1. Kaprodi Teknik Kendaraan Ringan SMK Semen Gresik. NIP 19600410 198503 1 002
2. Mahasiswa Ybs.

Lampiran 2. Surat Ijin Penelitian



SEMEN INDONESIA FOUNDATION
SMK SEMEN GRESIK

Teknik : Listrik, Mesin, Las, Otomotif, Komputer, Kimia Industri
Jl. Arief Rahman Hakim No. 90 Gresik 61122

Telp/Fax. (031) 3984836 website : www.smksemengresik.sch.id email : smksemengresik@gmail.com



Nomor : 48/KM.15/04-07/03.17
Lampiran : -
Perihal : Ijin Penelitian

Kepada Yth.
Direktur Program Pasca Sarjana
Universitas Negeri Yogyakarta
Jl. Colombo No. 1
Yogyakarta

Dengan hormat,

Menindaklanjuti surat dari Program Pasca Sarjana Universitas Negeri Yogyakarta nomor 2867/UN34.17/LT/2017 tanggal 7 Maret 2017 tentang izin penelitian, dapat kami sampaikan bahwa SMK Semen Gresik memberikan ijin kepada mahasiswa :

Nama : Warju
NIM : 14702269005
Program Studi : Pendidikan Teknologi dan Kejuruan
Konsentrasi : Manajemen Pendidikan Kejuruan

untuk mengadakan penelitian pendidikan dengan guru pendamping dari SMK Semen Gresik atas nama :

- Drs. Murtadlo
- Moh. Basjir, S.Pd

Demikian atas perhatiannya kami sampaikan terima kasih.

Gresik, 20 Maret 2017
Semen Gresik

Drs. Setiyo Budi
Kepala Sekolah

Lampiran 3

LEMBAR SURVEY KONSUMSI BAHAN BAKAR
DI BENGKEL OTOMOTIF SMK SEMEN GRESIK

Nama Sekolah : SMK Semen Gresik
 Lokasi Survey : Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arif. Rahman. Klatim No. 92, 51024 Kumpul
 Kec. Gresik, Kab. Gresik, Jawa Timur 61111
 Telp./Fax : (031) 392.48.36
 Hari, Tanggal Survey : Selasa, 10 Januari 2017

PETUNJUK:

1. Isilah fasilitas praktik di Bengkel Otomotif yang dimiliki oleh SMK Semen Gresik pada tabel 1 dan tabel 2 di bawah ini berdasarkan hasil survey di sekolah!
2. Catat konsumsi bahan bakar baik premium maupun solar yang dibutuhkan untuk kegiatan belajar dan mengajar di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik selama 1 tahun berdasarkan data dari laporan bahan habis pakai di sekolah!

Tabel 1. Konsumsi Bahan Bakar Premium di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik

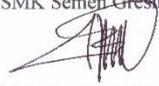
| No. | Nama Engine | Kapasitas Silinder | Tipe Mesin | Teknologi Mesin | Jumlah | Konsumsi Bahan Bakar |
|---|------------------------------------|--------------------|------------|--------------------------------------|--------|----------------------|
| 1 | Engine Stand Toyota Kijang 7K | 1800 CC | 4 Langkah | Efi tanpa catalytic converter | 1 unit | 80 liter/thn |
| 2 | Engine Stand Toyota Kijang Tipe 7K | 1800 CC | 4 Langkah | Karburator tanpa catalytic converter | 1 unit | |
| 3 | Engine Stand Toyota Kijang Tipe 5K | 1486 CC | 4 Langkah | Karburator tanpa catalytic converter | 2 unit | |
| 4 | Engine Stand Toyota Kijang Tipe 4K | 1286 CC | 4 Langkah | Karburator tanpa catalytic converter | 2 unit | |
| 5 | Engine Stand Mitsubishi L 300 | 1500 CC | 4 Langkah | Karburator tanpa catalytic converter | 1 unit | |
| Jumlah engine stand/mobil bensin tanpa catalytic converter | | | | | 7 unit | |
| 1 | Engine Stand Toyota Avanza | 1300 CC | 4 Langkah | Efi dgn catalytic converter | 1 unit | 10 liter/thn |
| Jumlah engine stand/mobil bensin dengan catalytic converter | | | | | 1 unit | |

| No. | Nama Engine | Kapasitas Silinder | Tipe Mesin | Teknologi Mesin | Jumlah | Konsumsi Bahan Bakar |
|-------------------------------|--------------------------------|--------------------|------------|--------------------------------------|--------|----------------------|
| 1 | Sepeda motor Yamaha New Vega F | 105 cc | 4 langkah | Karbulator tanpa catalytic converter | 2 unit | 6 liter/thn |
| 2 | Sepeda motor Yamaha Jupiter MX | 135 cc | 4 langkah | Karbulator dgn Catalytic Converter | 1 unit | |
| 3 | Sepeda motor Yamaha Zen | 115 cc | 4 langkah | Karbulator tanpa catalytic converter | 1 unit | |
| 4 | Sepeda motor Yamaha Vixion | 150 cc | 4 Langkah | Efi Dgn Catalytic Converter | 1 unit | |
| 5 | Sepeda motor Yamaha Lx 125 | 125 cc | 4 langkah | Karbulator tanpa catalytic converter | 1 unit | |
| 6 | Sepeda motor Honda CB | 125 cc | 4 langkah | Karbulator tanpa catalytic converter | 1 unit | |
| Jumlah sepeda motor 4 langkah | | | | | 7 unit | |
| 1 | Sepeda Motor Suzuki Torneo | 110 cc | 2 langkah | Karbulator tanpa catalytic converter | 1 unit | 4 liter/thn |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Jumlah sepeda motor 2 langkah | | | | | 1 unit | |
| Konsumsi Bahan Bakar Premium | | | | | | 100 liter/thn |

Tabel 2. Konsumsi Bahan Bakar Solar di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik

| No. | Nama Engine | Kapasitas Silinder | Tipe Mesin | Teknologi Mesin | Jumlah | Konsumsi Bahan Bakar |
|--|------------------------------|--------------------|------------|-----------------------|--------|----------------------|
| 1 | Mobil Isuzu C190 | 1900 cc | 4 Langkah | Inline pump tanpa DPF | 1 unit | 40 liter/tnn |
| 2 | Engine stand Mitsubishi L300 | 2500 cc | 4 Langkah | Rotary pump tanpa DPF | 1 unit | |
| 3 | Mobil Daihatsu Taft GT | 2000 cc | 4 Langkah | Rotary pump tanpa DPF | 1 unit | |
| 4 | Engine stand Isuzu C223 | 2300 cc | 4 Langkah | Rotary pump tanpa DPF | 1 unit | |
| Jumlah engine stand/mobil diesel tanpa DPF | | | | | 4 unit | |
| Konsumsi Bahan Bakar Solar | | | | | | 40 liter/tnn |

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik


Moh. Basjir, S.Pd.

Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik

Drs. Setyo Budi



Gresik, 10 Januari 2017
Surveyor,


Warju

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan


Drs. Murtadlo

Lampiran 4. Kuesioner Perhitungan Beban Emisi

Hal : Permohonan Pengisian Kuesioner untuk Menghitung Beban Emisi
Lampiran: I (satu) lembar

Kepada: Yth. Bapak/Ibu Guru, Tenaga Kependidikan dan Siswa SMK Semen
Gresik
di
Gresik

Dengan hormat,

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Warju, S.Pd., S.T., M.T.
NIP : 198103282006041001
Pekerjaan : Dosen
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Instansi : Univeritas Negeri Surabaya (UNESA)
Yang saat ini sedang menempuh studi pendidikan doktor di Program Pascasarjana:
Nama PT : Universitas Negeri Yogyakarta (UNY)
Program Studi : S3 Pendidikan Teknologi dan Kejuruan
NIM : 14702269005
Judul Disertasi : Pengembangan Model Sekolah Hijau (*Green School*) Pada
Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK
Promotor : Prof. Slamet P.H., M.A., M.Ed., M.A., M.LHR., Ph.D.
Co-promotor : Prof. Soenarto, M.A., M.Sc., Ph.D.

memohon kesediaan kepada Bapak/Ibu/Saudara/Saudari mengisi kuesioner (terlampir) untuk menghitung beban emisi di SMK Semen Gresik. Hasil dari perhitungan beban emisi tersebut nantinya akan digunakan sebagai bahan penyusunan kajian lingkungan sekolah dan penyusunan kebijakan sekolah berwawasan lingkungan untuk mendukung program adiwiyata.

Demikian permohonan ini dibuat, atas kesediaan dan kerja sama Bapak/Ibu/Saudara/Saudari diucapkan terima kasih.

Yogyakarta, 6 Maret 2017
Hormat saya,



Warju
NIM 14702269005

**KUESIONER
PERHITUNGAN BEBAN EMISI**

Petunjuk:

1. Isilah kuesioner perhitungan beban emisi ini dengan jujur.
2. Isilah nama dan pekerjaan Anda.
3. Lingkarilah jawaban yang Anda pilih.
4. Pilihlah jenis transportasi yang Anda gunakan saat pergi dan pulang ke sekolah.
5. Tuliskan nomor polisi, kapasitas silinder (cc), dan tahun pembuatan kendaraan Anda (lihat di STNK).
6. Tuliskan jarak tempuh kendaraan Anda dari rumah menuju ke sekolah dan sebaliknya (lihat di *dashboard/speedometer*).
7. Pilihlah jenis teknologi yang digunakan pada mesin mobil/sepeda motor yang Anda gunakan.
8. Pilihlah jenis bahan bakar yang Anda gunakan.
9. Estimasikan rata-rata jumlah bahan bakar yang Anda beli dalam 1 minggu atau 2 minggu atau 3 minggu atau 4 minggu (1 bulan) dalam satuan liter atau rupiah yang Anda keluarkan untuk membeli bahan bakar tersebut.

Nama :

Pekerjaan : Guru/Tenaga Kependidikan/Petugas Layanan Khusus/Siswa#

Jenis Transportasi : 1. Mobil 2. Sepeda Motor

Nomor Polisi :

Kapasitas Silinder : cc

Tahun Pembuatan :

Jarak Tempuh : km

Jenis Mobil : 1. Mesin bensin berteknologi karburator
2. Mesin bensin berteknologi *electronic fuel injection* (EFI)
3. Mesin diesel berteknologi konvensional
4. Mesin diesel berteknologi *common-rail system*

Jenis Sepeda Motor : 1. Sepeda motor berteknologi karburator
2. Sepeda motor berteknologi *electronic fuel injection* (EFI)

Bahan bakar : 1. Premium 2. Pertalite 3. Pertamina 4. Pertamina Plus
5. Solar 6. Pertamina DEX

Rata-rata konsumsi bahan bakar *: 1. liter/1 minggu atau Rp.
2. liter/2 minggu atau Rp.
3. liter/3 minggu atau Rp.
4. liter/4 minggu atau Rp.

Gresik, Maret 2017
Responden,

(.....)

Catatan:

#Coret yang tidak perlu

*Pilih salah satu dan isi sesuai dengan kebiasaan Anda

Lampiran 5. Rekapitulasi Konsumsi Bahan Bakar Pada Kendaraan Bermotor Warga SMK Semen Gresik

Tabel 1. REKAPITULASI KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA KENDARAAN BERMOTOR WARGA SMK SEMEN GRESIK

| No. | Nama | Pekerjaan | Jenis Transportasi | Nopol | Tahun Pembuatan | Jarak Tempuh (km/tahun) | Teknologi Mesin | Jenis Bahan Bakar | Rata-rata Konsumsi BBM (liter/tahun) |
|---|----------------------------|-----------|--------------------|-----------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| Mobil Bensin Tanpa Teknologi <i>Catalytic Converter</i> | | | | | | | | | |
| 1 | Prasetyo Utomo | Siswa | Mobil | W 1691 WZ | 1998 | 730 | Karburator | Premium | 738,46 |
| | | | | | | Jumlah | 730 | Jumlah | 738,46 |
| Mobil Bensin Dengan Teknologi <i>Catalytic Converter</i> | | | | | | | | | |
| 1 | Drs. Setiyo Budi | Guru | Mobil | W 379 AX | 1996 | 365 | EFI | Pertalite | 324,32 |
| 2 | ir. Hery Setyo Utomo | Guru | Mobil | L 1826 YB | 2014 | 1095 | EFI | Pertalite | 272,43 |
| 3 | Any Setyawati, S.Psi. | Guru | Mobil | W 1975 CE | 2016 | 10950 | EFI | Pertamax | 883,44 |
| 4 | Fajar Ari N. | Siswa | Mobil | S 1125 JT | 2012 | 7300 | EFI | Pertamax Plus | 1.043,48 |
| | | | | | | Jumlah | 19.710 | Jumlah | 2.523,67 |
| Sepeda Motor 4 Langkah | | | | | | | | | |
| 1 | Mohammad Basjir, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 2245 HW | 2004 | 10950 | Karburator | Premium | 443,08 |
| 2 | Drs. H. Murtadlo | Guru | Sepeda Motor | L 6465 YH | 2013 | 5475 | EFI | Pertalite | 64,86 |
| 3 | Siti Nurhayati, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 2051 MW | 2008 | 1095 | Karburator | Pertalite | 71,35 |
| 4 | Drs. Pujiyanto | Guru | Sepeda Motor | W 6283 HQ | 2010 | 10950 | Karburator | Premium | 443,08 |
| 5 | Mohammad Mahfud, S.Si. | Guru | Sepeda Motor | W 6084 LN | 2011 | 2190 | Karburator | Pertamax | 265,03 |
| 6 | Ir. Sholahuddin, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 2418 MW | 2012 | 1825 | EFI | Pertalite | 145,95 |
| 7 | Arina Dhamayanti | Guru | Sepeda Motor | W 4083 LN | 2015 | 3650 | EFI | Pertamax | 294,48 |
| 8 | Yusela Evita Lestari, S.Pd | Guru | Sepeda Motor | W 6807 MU | 2012 | 3650 | EFI | Pertalite | 81,08 |
| 9 | Hariyadi Sugiarto, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 2674 VS | 2013 | 6570 | EFI | Pertalite | 332,11 |
| 10 | Ratna Iriyanti R., S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 1689 AX | 2010 | 1460 | Karburator | Pertalite | 118,38 |
| 11 | Dwi Kristianto, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 2989 MZ | 2008 | 2920 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 12 | Dyah Permanasari, M.Pd. | Guru | Sepeda Motor | L 6174 FY | 2015 | 9855 | EFI | Pertamax | 353,37 |
| 13 | Ir. Swarsa Somawinata | Guru | Sepeda Motor | W 2489 LJ | 2007 | 4380 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 14 | Muhammad Yunus, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 5032 BQ | 2009 | 1095 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 15 | Ahmadi Misbah, S.Pd.K | Guru | Sepeda Motor | W 1675 AR | 2014 | 2920 | EFI | Pertamax | 48,88 |

| No. | Nama | Pekerjaan | Jenis Transportasi | Nopol | Tahun Pembuatan | Jarak Tempuh (km/tahun) | Teknologi Mesin | Jenis Bahan Bakar | Rata-rata Konsumsi BBM (liter/tahun) |
|-----|----------------------------|------------------------|--------------------|-----------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| 16 | Ahmad Mufti A., S.Si. | Guru | Sepeda Motor | W 6105 HM | 2010 | 2920 | Karburator | Pertalite | 259,46 |
| 17 | Achmad Suryanto, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 4095 KL | 2015 | 730 | EFI | Pertalite | 194,59 |
| 18 | Sugeng Supriyono I, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | S 6023 DN | 2011 | 18250 | Karburator | Premium | 435,32 |
| 19 | Dinny Fitrul L., S.Kom. | Guru | Sepeda Motor | W 1897 MZ | 2015 | 1825 | EFI | Pertalite | 175,14 |
| 20 | Ahmad Ali Fikri, A.Md. | Guru | Sepeda Motor | W 2161 GS | 2005 | 1825 | Karburator | Pertalite | 189,41 |
| 21 | Aulia Cita Siswanti, S.Si. | Guru | Sepeda Motor | S 3032 B | 2008 | 182,5 | Karburator | Pertalite | 97,30 |
| 22 | Dra. Etik Wahyuni | Guru | Sepeda Motor | W 2999 GT | 2011 | 1095 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 23 | Sabrina Apriliawati, M.Pd | Guru | Sepeda Motor | W 2914 HC | 2002 | 365 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 24 | Salaman, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 6342 LW | 2013 | 7300 | Karburator | Pertamax | 88,34 |
| 25 | Gresiana Khoirotul, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 6935 AR | 2009 | 2190 | Karburator | Pertalite | 168,65 |
| 26 | Drs. Suhartono | Guru | Sepeda Motor | W 3284 MZ | 2016 | 1825 | EFI | Pertalite | 97,30 |
| 27 | Choirul Fauzi, S.Pd.I | Guru | Sepeda Motor | W 6675 LM | 2012 | 5475 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 28 | Choirul Ichsan, S.Psi. | Guru | Sepeda Motor | L 4285 VQ | 2007 | 10950 | Karburator | Premium | 147,69 |
| 29 | Nailul Adabiyah, S.Pd.I | Guru | Sepeda Motor | W 6902 AV | 2017 | 7300 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 30 | M. Arif Hidayat, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 3656 AW | 2008 | 1898 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 31 | Vivi Nurfa'ida, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 3088 MP | 2013 | 18250 | Karburator | Pertamax | 294,48 |
| 32 | Sri Wintarti, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 3854 LT | 2013 | 3650 | EFI | Pertamax | 129,73 |
| 33 | Drs. Achmad Herman | Guru | Sepeda Motor | W 4650 FU | 1986 | 3285 | Karburator | Pertalite | 155,68 |
| 34 | M. Ainul Huda, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 3752 JH | 2014 | 7300 | EFI | Pertamax | 294,48 |
| 35 | Nurhayadi, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 2322 HR | 2005 | 3650 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 36 | Ir. Endang Kurniasih, S.Si | Guru | Sepeda Motor | W 6675 EY | 2006 | 5475 | Karburator | Premium | 147,69 |
| 37 | Nahdiana Dahlia, S.Psi. | Guru | Sepeda Motor | W 6418 JS | 2010 | 9125 | Karburator | Pertalite | 259,46 |
| 38 | Christina Chandra, S.Psi. | Guru | Sepeda Motor | W 2885 BW | 2017 | 5475 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 39 | Diyah Susilowati, S.Pd. | Guru | Sepeda Motor | W 5679 AE | 2008 | 1934,5 | Karburator | Pertalite | 291,89 |
| 40 | Sumarno | Petugas Layanan Khusus | Sepeda Motor | W 6653 LY | 2012 | 5475 | Karburator | Pertamax | 235,58 |
| 41 | Khoirul Arifin | Petugas Layanan Khusus | Sepeda Motor | W 6963 KO | 2011 | 5475 | EFI | Pertalite | 194,59 |
| 42 | Muh. Majid | Petugas Layanan Khusus | Sepeda Motor | W 2126 KX | 2002 | 6570 | Karburator | Pertalite | 389,19 |
| 43 | Huda Nurul | Tenaga Kependidikan | Sepeda Motor | W 6734 MD | 2012 | 2920 | Karburator | Pertalite | 162,16 |
| 44 | Sri Muryanti, S.Pd. | Tenaga Kependidikan | Sepeda Motor | W 6318 JR | 2010 | 9125 | Karburator | Pertamax | 235,58 |

| No. | Nama | Pekerjaan | Jenis Transportasi | Nopol | Tahun Pembuatan | Jarak Tempuh (km/tahun) | Teknologi Mesin | Jenis Bahan Bakar | Rata-rata Konsumsi BBM (liter/tahun) |
|-----|--------------------------|---------------------|--------------------|------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| 45 | Subagyo | Tenaga Kependidikan | Sepeda Motor | S 5891 KH | 2000 | 6570 | Karburator | Premium | 369,23 |
| 46 | Ufil Manan | Tenaga Kependidikan | Sepeda Motor | W 6770 GJ | 2010 | 5475 | Karburator | Pertalite | 202,70 |
| 47 | Nurkhayadin | Tenaga Kependidikan | Sepeda Motor | W 2878 GR | 2005 | 5475 | Karburator | Pertalite | 454,05 |
| 48 | Sayumi | Tenaga Kependidikan | Sepeda Motor | W 5688 AR | 2007 | 2190 | Karburator | Pertamax | 153,13 |
| 49 | Raihan Ahmad Abiyyu | Siswa | Sepeda Motor | W 6910 LK | 2013 | 1460 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 50 | M. Rizal Kamaruzzaman | Siswa | Sepeda Motor | W 4520 KZ | 2015 | 1095 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 51 | Nabilah Dwi Cahyani | Siswa | Sepeda Motor | W 6519 FI | 2011 | 547,5 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 52 | Triya Ayu Nur Noviyanti | Siswa | Sepeda Motor | W 6591 FI | 2011 | 547,5 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 53 | Lusia Novita N. | Siswa | Sepeda Motor | W 4575 CW | 2015 | 2190 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 54 | Rainier Christopher | Siswa | Sepeda Motor | W 1679 KZ | 2000 | 365 | Karburator | Pertalite | 162,16 |
| 55 | Rifaldi Sheva Lasani | Siswa | Sepeda Motor | W 7686 FI | 2015 | 547,5 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 56 | Isro' Firdausah | Siswa | Sepeda Motor | W 6971 LK | 2014 | 4745 | EFI | Pertamax | 176,69 |
| 57 | Diki Setya A. P. | Siswa | Sepeda Motor | W 6999 DD | 2012 | 1095 | Karburator | Pertamax | 117,79 |
| 58 | Muhammad Iqbal Firdaus | Siswa | Sepeda Motor | W 2354 HG | 2003 | 4745 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 59 | Anisah Nur Fadhillah | Siswa | Sepeda Motor | W 6596 LK | 2014 | 182,5 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 60 | Rafi Ardana N. | Siswa | Sepeda Motor | W 4338 CE | 2015 | 365 | EFI | Pertamax | 88,34 |
| 61 | Naufal Alief | Siswa | Sepeda Motor | W 4310 KT | 2015 | 365 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 62 | Agus Setiawan | Siswa | Sepeda Motor | W 7192 DD | 2014 | 365 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 63 | Rizka Nur Fitriani | Siswa | Sepeda Motor | W 2961 LK | 2013 | 1825 | EFI | Pertalite | 194,59 |
| 64 | M. Yaasin Syah F. P.M | Siswa | Sepeda Motor | W 4888 LV | 2016 | 365 | EFI | Pertalite | 64,86 |
| 65 | Rezki Putri Karimah | Siswa | Sepeda Motor | W 5697 HG | 2015 | 1460 | EFI | Pertamax | 58,90 |
| 66 | Eriska Dewi Rahmawati | Siswa | Sepeda Motor | W 4080 LB | 2015 | 1095 | EFI | Pertalite | 194,59 |
| 67 | Dinda Aprilia Damayanti | Siswa | Sepeda Motor | W 4008 LB | 2015 | 1095 | EFI | Pertalite | 194,59 |
| 68 | Hanif Shaquille B. | Siswa | Sepeda Motor | W 7168 CE | 2014 | 547,5 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 69 | Rizky Septian Pratama | Siswa | Sepeda Motor | W 6475 GS | 2010 | 2190 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 70 | Bitu Kusuma W. | Siswa | Sepeda Motor | W 7691 HG | 2012 | 2920 | EFI | Pertalite | 64,86 |
| 71 | Rifqi Yudistira Rumengan | Siswa | Sepeda Motor | N 6659 AAW | 2016 | 912,5 | EFI | Pertalite | 48,00 |
| 72 | Sultonur Rochman | Siswa | Sepeda Motor | W 8816 LK | 2014 | 365 | EFI | Pertalite | 64,86 |
| 73 | Arya Bayu Wicaksana | Siswa | Sepeda Motor | W 2966 KT | 2012 | 365 | Karburator | Premium | 147,69 |

| No. | Nama | Pekerjaan | Jenis Transportasi | Nopol | Tahun Pembuatan | Jarak Tempuh (km/tahun) | Teknologi Mesin | Jenis Bahan Bakar | Rata-rata Konsumsi BBM (liter/tahun) |
|-----|---------------------------|-----------|--------------------|-----------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| 74 | Ni'matur Rohma S. | Siswa | Sepeda Motor | W 9181 FI | 2015 | 365 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 75 | Farhan Ratri A. | Siswa | Sepeda Motor | W 6314 KV | 2012 | 547,5 | Karburator | Pertamax | 117,79 |
| 76 | M. Maulidin Fatich K. | Siswa | Sepeda Motor | W 6951 LK | 2006 | 1095 | Karburator | Pertalite | 194,59 |
| 77 | Sakinna Amallia | Siswa | Sepeda Motor | W 3244 JG | 2014 | 365 | EFI | Pertamax | 235,58 |
| 78 | Dhani Husada Waluyo J. | Siswa | Sepeda Motor | W 6829 GS | 2009 | 2190 | EFI | Pertamax | 294,48 |
| 79 | Kokoh Jaya Pranata | Siswa | Sepeda Motor | W 3246 LT | 2013 | 2153,5 | EFI | Pertalite | 64,86 |
| 80 | Ahmad Ridlo Suhardi | Siswa | Sepeda Motor | W 3548 MF | 2012 | 1569,5 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 81 | Ali Ridlo | Siswa | Sepeda Motor | W 3349 AF | 2016 | 730 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 82 | M. Irshandy Nauval | Siswa | Sepeda Motor | W 5276 BE | 2008 | 547,5 | Karburator | Pertamax | 100,12 |
| 83 | Achmad Misbachul Faizin | Siswa | Sepeda Motor | W 4446 LG | 2015 | 1095 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 84 | Argha Zuki S. F. | Siswa | Sepeda Motor | W 6666 EA | 2014 | 365 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 85 | Maulidin Nurur Rizal | Siswa | Sepeda Motor | W 4378 CW | 2015 | 1825 | EFI | Pertamax | 100,12 |
| 86 | Alam Nuarta | Siswa | Sepeda Motor | W 4529 LW | 2015 | 1825 | EFI | Pertamax | 100,12 |
| 87 | M. Dzulkifli Faiq | Siswa | Sepeda Motor | KT 5970 N | 2015 | 730 | EFI | Pertalite | 110,27 |
| 88 | Ilham Ramadani | Siswa | Sepeda Motor | W 3214 JI | 2014 | 1095 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 89 | Bagus Saputro | Siswa | Sepeda Motor | W 3965 LU | 2013 | 2190 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 90 | Frido Yolsandi | Siswa | Sepeda Motor | W 6351 JS | 2011 | 1095 | Karburator | Pertalite | 168,65 |
| 91 | M. Ferry Anugrah P. | Siswa | Sepeda Motor | W 3686 DA | 2011 | 730 | Karburator | Pertamax | 147,24 |
| 92 | Mochammad Wildan A. | Siswa | Sepeda Motor | W 6507 KY | 2011 | 2555 | Karburator | Pertalite | 207,57 |
| 93 | Ahmad Marzuki | Siswa | Sepeda Motor | W 6406 MH | 2012 | 730 | Karburator | Pertalite | 259,46 |
| 94 | Ari Aprian A. | Siswa | Sepeda Motor | W 5270 LW | 2010 | 730 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 95 | Muhammad Misbakhul A. | Siswa | Sepeda Motor | W 6958 AK | 2017 | 3650 | EFI | Premium | 221,54 |
| 96 | Bahrudin Taufiq A. | Siswa | Sepeda Motor | W 1676 LW | 2015 | 730 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 97 | Achmad Handoko A. | Siswa | Sepeda Motor | W 6122 FV | 2004 | 182,5 | Karburator | Pertalite | 32,43 |
| 98 | Fachrul Ilham Al Fisyahri | Siswa | Sepeda Motor | W 3310 KW | 2013 | 365 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 99 | Iftikhaaruddin Donny M. | Siswa | Sepeda Motor | W 3976 CA | 2016 | 1095 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 100 | Abdul Hamid | Siswa | Sepeda Motor | W 5057 BW | 2009 | 365 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 101 | Ahmad Taqqiyuddin | Siswa | Sepeda Motor | W 3540 KK | 2013 | 2920 | EFI | Pertalite | 97,30 |
| 102 | Rizal Ali Al-Khamzy | Siswa | Sepeda Motor | W 2848 CA | 2016 | 730 | EFI | Pertalite | 194,59 |

| No. | Nama | Pekerjaan | Jenis Transportasi | Nopol | Tahun Pembuatan | Jarak Tempuh (km/tahun) | Teknologi Mesin | Jenis Bahan Bakar | Rata-rata Konsumsi BBM (liter/tahun) |
|-----|-------------------------|-----------|--------------------|-----------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| 103 | A. Dwi Prasetyo | Siswa | Sepeda Motor | W 4645 FX | 2010 | 730 | Karburator | Pertamax | 147,24 |
| 104 | Maulana Rozzydiansyah P | Siswa | Sepeda Motor | W 2419 LZ | 2006 | 730 | Karburator | Pertamax | 147,24 |
| 105 | Alifian Rafif S. | Siswa | Sepeda Motor | W 2237 MH | 2015 | 2555 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 106 | M. Irvan Ramadhan | Siswa | Sepeda Motor | W 7169 CA | 2015 | 1095 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 107 | Dimas Aditya F. | Siswa | Sepeda Motor | W 3912 AM | 2015 | 730 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 108 | Dimas Yoga Saputra | Siswa | Sepeda Motor | W 4049 JS | 2014 | 365 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 109 | Achmad. Rozi Aldianto | Siswa | Sepeda Motor | W 3527 KE | 2013 | 2920 | Karburator | Pertamax | 147,24 |
| 110 | M. Arif Rahmadani Putra | Siswa | Sepeda Motor | W 6915 KJ | 2011 | 766,5 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 111 | Akhmad Hilal Khamdi | Siswa | Sepeda Motor | W 6910 MA | 2012 | 6205 | EFI | Pertalite | 324,32 |
| 112 | Sholahudin Andrian | Siswa | Sepeda Motor | W 4789 FX | 2014 | 3285 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 113 | M. Fachrudin N. S. | Siswa | Sepeda Motor | W 4975 LQ | 2015 | 2810,5 | EFI | Pertamax | 206,13 |
| 114 | Aminah | Siswa | Sepeda Motor | W 6166 JW | 2011 | 730 | Karburator | Pertalite | 97,30 |
| 115 | Oby | Siswa | Sepeda Motor | W 1789 FV | 2004 | 2920 | Karburator | Pertalite | 48,65 |
| 116 | M. Daffa Alwansyah | Siswa | Sepeda Motor | W 7678 CA | 2014 | 365 | Karburator | Pertalite | 48,65 |
| 117 | Dian Karima Wildani | Siswa | Sepeda Motor | W 4563 CE | 2014 | 1460 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 118 | Tulus Annisaa | Siswa | Sepeda Motor | W 6643 CE | 2014 | 1825 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 119 | Rachmad Deo Abdika | Siswa | Sepeda Motor | W 4905 JO | 2014 | 2993 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 120 | M. Arief Syaahputra | Siswa | Sepeda Motor | L 6506 WM | 2016 | 730 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 121 | Fanny Abdillah | Siswa | Sepeda Motor | S 6916 KL | 2016 | 365 | EFI | Pertamax | 24,00 |
| 122 | Dava Abdurrahman W. | Siswa | Sepeda Motor | W 1789 MA | 2006 | 1825 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 123 | Ahmat Subairi Rahman | Siswa | Sepeda Motor | W 4696 KL | 2015 | 547,5 | Karburator | Pertamax | 117,79 |
| 124 | Ericka Rizky Idamar | Siswa | Sepeda Motor | W 3001 KE | 2015 | 1825 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 125 | Rahmat Farhan Maulidana | Siswa | Sepeda Motor | W 6203 KM | 2014 | 1825 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 126 | M. Arief Wicaksono | Siswa | Sepeda Motor | W 3674 JE | 2014 | 3650 | Karburator | Pertamax | 117,79 |
| 127 | Fredy Nanda Pradana | Siswa | Sepeda Motor | W 2954 HR | 2005 | 547,5 | Karburator | Pertamax | 117,79 |
| 128 | Iqbal Gama P. | Siswa | Sepeda Motor | L 1231 CG | 2013 | 2920 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 129 | Naufal Fauhziawan | Siswa | Sepeda Motor | W 2485 MV | 2008 | 2920 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 130 | Iqbal Faiz A. | Siswa | Sepeda Motor | W 5426 CX | 2015 | 1825 | Karburator | Pertamax | 176,69 |
| 131 | M. Ramadhan Ubaidillah | Siswa | Sepeda Motor | W 5463 CR | 2010 | 1095 | Karburator | Pertalite | 162,16 |

| No. | Nama | Pekerjaan | Jenis Transportasi | Nopol | Tahun Pembuatan | Jarak Tempuh (km/tahun) | Teknologi Mesin | Jenis Bahan Bakar | Rata-rata Konsumsi BBM (liter/tahun) |
|-----|--------------------------|-----------|--------------------|------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| 132 | M. Choirul Sulistiyono | Siswa | Sepeda Motor | AE 6252 NJ | 2016 | 2555 | EFI | Pertamax | 176,69 |
| 133 | Akbar Ridhlo Samudra | Siswa | Sepeda Motor | W 4352 AC | 2016 | 1131,5 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 134 | Fery Angga Saputra | Siswa | Sepeda Motor | S 6130 TA | 2015 | 2920 | Karburator | Pertalite | 194,59 |
| 135 | Oki Aris Setiawan | Siswa | Sepeda Motor | W 6043 MO | 2013 | 1825 | EFI | Pertalite | 194,59 |
| 136 | Maulana Danendra V. K. | Siswa | Sepeda Motor | W 5403 EV | 2008 | 1095 | Karburator | Pertamax | 117,79 |
| 137 | Alamul Yaqin | Siswa | Sepeda Motor | W 2971 ER | 2008 | 1825 | Karburator | Pertalite | 220,54 |
| 138 | Achmad Zidane Dziqri | Siswa | Sepeda Motor | W 4093 JF | 2014 | 1460 | Karburator | Pertalite | 48,65 |
| 139 | Achmad Rifqi Al Faris | Siswa | Sepeda Motor | W 6488 JA | 2010 | 547,5 | Karburator | Pertamax | 147,24 |
| 140 | Noufal Akbar | Siswa | Sepeda Motor | W 3050 MF | 2012 | 730 | EFI | Pertamax | 132,52 |
| 141 | Achmad Erwin Rofieq | Siswa | Sepeda Motor | W 6948 GJ | 2010 | 1825 | Karburator | Pertamax | 117,79 |
| 142 | M. Syaif Mufidi | Siswa | Sepeda Motor | W 5565 AG | 2008 | 1642,5 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 143 | M. Robbah Hilal | Siswa | Sepeda Motor | W 4015 LO | 2015 | 4745 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 144 | Amalia Putri Wahyuni | Siswa | Sepeda Motor | W 6264 NY | 2008 | 5475 | EFI | Pertamax | 353,37 |
| 145 | Shifa Amelia Tasya | Siswa | Sepeda Motor | W 3390 CR | 2017 | 4745 | EFI | Pertamax | 353,37 |
| 146 | Ali Ramli | Siswa | Sepeda Motor | L 5573 YZ | 2010 | 5475 | Karburator | Pertalite | 194,59 |
| 147 | Islahul Khoiri Yazid | Siswa | Sepeda Motor | W 4749 LI | 2015 | 3285 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 148 | Nagib | Siswa | Sepeda Motor | W 6168 JA | 2015 | 365 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 149 | Ryco Sahal Amribusro | Siswa | Sepeda Motor | W 4552 CX | 2016 | 3285 | EFI | Pertamax | 176,69 |
| 150 | Asy'ari Ma'ruf | Siswa | Sepeda Motor | W 6610 MU | 2012 | 3650 | EFI | Pertalite | 64,86 |
| 151 | Ifadaturrochman | Siswa | Sepeda Motor | L 2447 TS | 2005 | 547,5 | Karburator | Pertalite | 81,08 |
| 152 | Nur Fadilah | Siswa | Sepeda Motor | W 5550 AZ | 2008 | 547,5 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 153 | Adhisari Mangku Putri C. | Siswa | Sepeda Motor | W 5554 AZ | 2008 | 365 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 154 | Ratih Irianto | Siswa | Sepeda Motor | W 6124 MV | 2012 | 7300 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 155 | Muhammad Agil | Siswa | Sepeda Motor | W 6032 AC | 2016 | 1277,5 | EFI | Pertamax | 88,34 |
| 156 | Cintiya Kharismawati | Siswa | Sepeda Motor | W 4637 AI | 2016 | 7300 | EFI | Pertalite | 194,59 |
| 157 | Ryan Ahmad Fahriza | Siswa | Sepeda Motor | W 2038 MV | 2008 | 2555 | Karburator | Pertamax | 176,69 |
| 158 | A. Yusuf Ardiansyah | Siswa | Sepeda Motor | W 5259 AR | 2002 | 547,5 | Karburator | Pertalite | 97,30 |
| 159 | Muh. Farikh Chandra D. | Siswa | Sepeda Motor | W 2550 LJ | 2007 | 1825 | Karburator | Pertamax | 176,69 |
| 160 | Syafiul Muballin Qisthy | Siswa | Sepeda Motor | W 6416 FZ | 2009 | 1825 | Karburator | Premium | 103,38 |

| No. | Nama | Pekerjaan | Jenis Transportasi | Nopol | Tahun Pembuatan | Jarak Tempuh (km/tahun) | Teknologi Mesin | Jenis Bahan Bakar | Rata-rata Konsumsi BBM (liter/tahun) |
|-----|-------------------------|-----------|--------------------|------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| 161 | Citra Wihandharsari P. | Siswa | Sepeda Motor | W 3817 JQ | 2015 | 730 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 162 | Nurul Shobachah | Siswa | Sepeda Motor | W 3298 LX | 2013 | 3650 | EFI | Pertalite | 176,69 |
| 163 | Muhammad Majid | Siswa | Sepeda Motor | W 2126 KX | 2007 | 8760 | Karburator | Pertalite | 324,32 |
| 164 | Fathur Rozi | Siswa | Sepeda Motor | W 3341 LG | 2012 | 730 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 165 | Zahrul Ulum Rahmatullah | Siswa | Sepeda Motor | W 3515 KD | 2015 | 1460 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 166 | M. Abdullah Najib | Siswa | Sepeda Motor | W 4991 KS | 2014 | 730 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 167 | Alamur Iman | Siswa | Sepeda Motor | W 2971 ER | 2008 | 1825 | Karburator | Pertalite | 220,54 |
| 168 | Muhammad Raflizal F. | Siswa | Sepeda Motor | W 2182 LH | 2007 | 1095 | Karburator | Pertamax | 117,79 |
| 169 | Eka Dimas A. P. | Siswa | Sepeda Motor | W 4997 JO | 2014 | 547,5 | EFI | Pertamax | 88,34 |
| 170 | M. Budin Barakallah L. | Siswa | Sepeda Motor | W 2367 MO | 2008 | 730 | Karburator | Pertamax | 129,57 |
| 171 | Tendy Irianto | Siswa | Sepeda Motor | W 8575 AJ | 2016 | 1095 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 172 | Achmad Buhori | Siswa | Sepeda Motor | W 2545 FH | 2012 | 1095 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 173 | Muhammad Rizal | Siswa | Sepeda Motor | W 3424 LJ | 2015 | 547,5 | EFI | Pertalite | 48,65 |
| 174 | Bagus Aringka Wibawa | Siswa | Sepeda Motor | S 6467 FL | 2013 | 1095 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 175 | Maulana Syafa Pramdana | Siswa | Sepeda Motor | W 3577 JB | 2013 | 730 | EFI | Pertamax | 88,34 |
| 176 | Alvis Maulana | Siswa | Sepeda Motor | AE 3231 GY | 2014 | 730 | EFI | Pertalite | 97,30 |
| 177 | Achmad Huzaine | Siswa | Sepeda Motor | W 2703 LS | 2012 | 365 | EFI | Pertalite | 97,30 |
| 178 | M. Fakhrizul Amin | Siswa | Sepeda Motor | W 4465 KR | 2015 | 3650 | EFI | Pertamax | 294,48 |
| 179 | Rizal Nur Habibi | Siswa | Sepeda Motor | W 2557 BR | 2015 | 1095 | EFI | Pertamax | 88,34 |
| 180 | Wahyu Raffli Adikusuma | Siswa | Sepeda Motor | W 3423 KZ | 2014 | 365 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 181 | Ahmad Taqqiyuddin | Siswa | Sepeda Motor | W 3540 KK | 2013 | 2920 | EFI | Pertalite | 97,30 |
| 182 | Muhammad Nurul Fatach | Siswa | Sepeda Motor | W 3352 CB | 2016 | 1460 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 183 | Ilham Adi Maulana | Siswa | Sepeda Motor | W 6157 GH | 2009 | 1825 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 184 | Yusuf Saefullah | Siswa | Sepeda Motor | W 6041 AC | 2016 | 730 | EFI | Pertalite | 97,30 |
| 185 | M. Agung Trimulya | Siswa | Sepeda Motor | W 2420 AE | 2016 | 912,5 | EFI | Pertalite | 97,30 |
| 186 | Tafiqurrohman | Siswa | Sepeda Motor | W 3268 KZ | 2015 | 1095 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 187 | M. Sodikul Sifa' M. S. | Siswa | Sepeda Motor | W 7691 GS | 2009 | 547,5 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 188 | Achmad Farid Fahrozi | Siswa | Sepeda Motor | W 2027 LI | 2016 | 1825 | EFI | Pertalite | 110,27 |
| 189 | Rafif Fakhruddin | Siswa | Sepeda Motor | W 7692 AJ | 2007 | 1095 | Karburator | Pertalite | 97,30 |

| No. | Nama | Pekerjaan | Jenis Transportasi | Nopol | Tahun Pembuatan | Jarak Tempuh (km/tahun) | Teknologi Mesin | Jenis Bahan Bakar | Rata-rata Konsumsi BBM (liter/tahun) |
|-----|-------------------------|-----------|--------------------|------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| 190 | Calvyn Francesco I. R. | Siswa | Sepeda Motor | W 2991 AC | 2016 | 3650 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 191 | Raihan Firmansyah | Siswa | Sepeda Motor | W 4363 KC | 2014 | 1095 | EFI | Pertalite | 97,30 |
| 192 | Ocsya Dwi A. F. | Siswa | Sepeda Motor | W 6637 KR | 2012 | 1825 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 193 | Dimas Surya Prakoso | Siswa | Sepeda Motor | W 4887 FV | 2004 | 2555 | Karburator | Pertalite | 149,19 |
| 194 | Ahmad Sidiq | Siswa | Sepeda Motor | W 6637 KZ | 2012 | 365 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 195 | Rafli Rozkina A. | Siswa | Sepeda Motor | W 6499 JC | 2010 | 1095 | Karburator | Pertamax | 100,12 |
| 196 | Ihya Iiminata K. | Siswa | Sepeda Motor | W 3268 JZ | 2014 | 2920 | EFI | Pertalite | 165,41 |
| 197 | M. Amin Al-Figo | Siswa | Sepeda Motor | DA 6396 JA | 2009 | 1825 | Karburator | Pertalite | 149,19 |
| 198 | Sabillah Rizki Eriyanto | Siswa | Sepeda Motor | W 2246 HK | 2005 | 2555 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 199 | M. David Septyan | Siswa | Sepeda Motor | W 4391 AJ | 2016 | 730 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 200 | Dimas Putra Pratama | Siswa | Sepeda Motor | W 4371 AC | 2016 | 2555 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 201 | Indra Achmad Fauzi | Siswa | Sepeda Motor | W 7671 GS | 2009 | 2555 | Karburator | Pertalite | 162,16 |
| 202 | Wahyu Agus S. | Siswa | Sepeda Motor | W 4740 KB | 2015 | 4015 | EFI | Premium | 147,69 |
| 203 | Nanda Dwi Rachmad | Siswa | Sepeda Motor | W 4650 KT | 2015 | 547,5 | EFI | Pertalite | 227,03 |
| 204 | M. David Romadhoni | Siswa | Sepeda Motor | W 4851 LJ | 2016 | 730 | EFI | Pertalite | 64,86 |
| 205 | Abdul Majid | Siswa | Sepeda Motor | W 5084 BE | 2008 | 2555 | Karburator | Pertalite | 194,59 |
| 206 | Denny Setyawan | Siswa | Sepeda Motor | W 9186 JZ | 2015 | 730 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 207 | Misbahkul Munir | Siswa | Sepeda Motor | L 3458 WZ | 2010 | 1095 | EFI | Pertamax | 188,47 |
| 208 | Dimas Bagus T. K. | Siswa | Sepeda Motor | L 6322 ZJ | 2014 | 730 | Karburator | Pertamax | 117,79 |
| 209 | Mohammad Alfian | Siswa | Sepeda Motor | W 6679 HK | 2015 | 730 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 210 | M. Fariz Adi Pamungkas | Siswa | Sepeda Motor | W 6099 AK | 2017 | 730 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 211 | Sugiarto Rukmana | Siswa | Sepeda Motor | W 4992 KT | 2003 | 1460 | Karburator | Premium | 221,54 |
| 212 | Ariyuda Octian Putra | Siswa | Sepeda Motor | W 6710 GV | 2010 | 1095 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 213 | Nadlief Lulu W. | Siswa | Sepeda Motor | W 6125 AP | 2016 | 1095 | EFI | Pertamax | 88,34 |
| 214 | Dida Satria Junior | Siswa | Sepeda Motor | W 5565 LL | 2015 | 365 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 215 | Ahmad Maghfur Alwi | Siswa | Sepeda Motor | W 2748 JF | 2000 | 3650 | Karburator | Pertalite | 252,97 |
| 216 | M. Noval Ma'ruf | Siswa | Sepeda Motor | W 7671 BE | 2017 | 730 | EFI | Pertalite | 194,59 |
| 217 | Rusli Fahrudin | Siswa | Sepeda Motor | W 6754 MZ | 2012 | 730 | EFI | Pertamax | 88,34 |
| 218 | Ahmad Rizky Kurnia L. | Siswa | Sepeda Motor | W 4222 LR | 2015 | 730 | EFI | Pertalite | 64,86 |

| No. | Nama | Pekerjaan | Jenis Transportasi | Nopol | Tahun Pembuatan | Jarak Tempuh (km/tahun) | Teknologi Mesin | Jenis Bahan Bakar | Rata-rata Konsumsi BBM (liter/tahun) |
|-----|---------------------------|-----------|--------------------|------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| 219 | M. Syarif Hidayatullah A. | Siswa | Sepeda Motor | W 4545 AC | 2012 | 1825 | Karburator | Pertamax | 147,24 |
| 220 | Muhammad Baharudin | Siswa | Sepeda Motor | W 6826 MO | 2012 | 730 | Karburator | Pertamax | 147,24 |
| 221 | Moch. Irfan Feriansyah | Siswa | Sepeda Motor | W 6257 GA | 2011 | 1460 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 222 | M. Ridwan Permana | Siswa | Sepeda Motor | W 6894 GE | 2000 | 1095 | Karburator | Pertalite | 97,30 |
| 223 | Jefry Maulana Adi P. | Siswa | Sepeda Motor | W 5072 CX | 2015 | 3285 | EFI | Pertamax | 209,67 |
| 224 | Mochammad Rifqi | Siswa | Sepeda Motor | L 4694 ZY | 2014 | 365 | EFI | Pertamax | 73,62 |
| 225 | Danang Bagus Irawan | Siswa | Sepeda Motor | W 3916 LJ | 2013 | 3650 | EFI | Pertamax | 471,17 |
| 226 | Veri Aldila | Siswa | Sepeda Motor | W 4363 AK | 2011 | 365 | Karburator | Pertalite | 64,86 |
| 227 | Adi Wibowo | Siswa | Sepeda Motor | W 5841 GA | 2009 | 2555 | Karburator | Pertalite | 291,89 |
| 228 | Ahmad Khudlori S. | Siswa | Sepeda Motor | W 6936 HW | 2009 | 1825 | Karburator | Pertalite | 162,16 |
| 229 | Roy Efendy Y. | Siswa | Sepeda Motor | W 6938 HW | 2010 | 1825 | Karburator | Pertalite | 259,46 |
| 230 | M. Zanuvar Aliful Fariz | Siswa | Sepeda Motor | W 6027 MF | 2014 | 1095 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 231 | Andre Sugiantoro | Siswa | Sepeda Motor | W 4516 LV | 2015 | 1460 | EFI | Pertalite | 324,32 |
| 232 | Indra Agustian Saputra | Siswa | Sepeda Motor | W 4513 KY | 2015 | 1095 | EFI | Pertamax | 29,45 |
| 233 | Harist Hammami R. | Siswa | Sepeda Motor | W 6628 ML | 2012 | 182,5 | Karburator | Pertalite | 40,54 |
| 234 | M. Azhari Afandi | Siswa | Sepeda Motor | W 6485 AC | 2016 | 365 | EFI | Pertamax | 88,34 |
| 235 | Ariansyah Adi Pratama | Siswa | Sepeda Motor | W 3144 LH | 2013 | 365 | EFI | Pertalite | 77,84 |
| 236 | M. Maulana Zammi R. | Siswa | Sepeda Motor | W 2554 AA | 2016 | 1095 | EFI | Pertalite | 97,30 |
| 237 | Triawan Juliansyah | Siswa | Sepeda Motor | W 2144 MD | 2007 | 1095 | Karburator | Pertalite | 97,30 |
| 238 | Agam Alfisila | Siswa | Sepeda Motor | W 3272 AB | 2016 | 1095 | EFI | Pertamax | 164,91 |
| 239 | M. Rafli Hidayat | Siswa | Sepeda Motor | S 4455 KF | 2015 | 5110 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 240 | Muhammad Faana | Siswa | Sepeda Motor | W 4061 LV | 2015 | 547,5 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 241 | Tadetiya Yusmita P. | Siswa | Sepeda Motor | S 5454 DT | 2015 | 1095 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 242 | Muhammad Faisal Fikri | Siswa | Sepeda Motor | B 4978 TEK | 2014 | 1095 | EFI | Pertalite | 94,70 |
| 243 | Kenra Dita | Siswa | Sepeda Motor | W 3156 AA | 2015 | 1095 | EFI | Pertalite | 50,59 |
| 244 | Hapsari Oktalika | Siswa | Sepeda Motor | W 7176 HW | 2016 | 730 | EFI | Pertamax | 87,17 |
| 245 | M. Bagus Surya I. | Siswa | Sepeda Motor | W 3494 CB | 2016 | 1095 | EFI | Pertalite | 94,70 |
| 246 | Pranata Lafi Agra | Siswa | Sepeda Motor | W 2021 AE | 2016 | 3650 | EFI | Premium | 295,38 |
| 247 | Akbar Bastandi | Siswa | Sepeda Motor | W 8281 LV | 2014 | 1095 | EFI | Pertalite | 47,35 |

| No. | Nama | Pekerjaan | Jenis Transportasi | Nopol | Tahun Pembuatan | Jarak Tempuh (km/tahun) | Teknologi Mesin | Jenis Bahan Bakar | Rata-rata Konsumsi BBM (liter/tahun) |
|-----|-------------------------|-----------|--------------------|------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| 248 | Muchlas Abidin | Siswa | Sepeda Motor | W 3178 BL | 2016 | 365 | EFI | Pertalite | 47,35 |
| 249 | Achmad Syaifuddin | Siswa | Sepeda Motor | W 6442 KI | 2011 | 730 | EFI | Pertalite | 94,70 |
| 250 | Achmad Ifal Al Farazy | Siswa | Sepeda Motor | W 3117 KY | 2014 | 1095 | EFI | Pertamax | 294,48 |
| 251 | Angga Wahyu Cahyo | Siswa | Sepeda Motor | W 7272 ML | 2012 | 1460 | Karburator | Pertalite | 162,16 |
| 252 | Abid Pradana | Siswa | Sepeda Motor | AG 4049 ZI | 2010 | 3650 | EFI | Pertalite | 96,00 |
| 253 | Arva Alvarezi | Siswa | Sepeda Motor | W 4783 MD | 2016 | 1277,5 | EFI | Pertamax | 94,23 |
| 254 | M. Sendy Ferdiansyah | Siswa | Sepeda Motor | W 5728 CW | 2015 | 365 | EFI | Pertalite | 51,89 |
| 255 | M. Zurich Dzulfikar A. | Siswa | Sepeda Motor | W 3115 LC | 2013 | 1095 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 256 | Fryanda Haris F. | Siswa | Sepeda Motor | W 3057 AI | 2016 | 1898 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 257 | M. Fajaruddin A. | Siswa | Sepeda Motor | W 2386 AC | 2016 | 2190 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 258 | Fathur Dwi Anggoro | Siswa | Sepeda Motor | W 4018 KB | 2014 | 5475 | EFI | Pertalite | 194,59 |
| 259 | M. Syifaul Qulub | Siswa | Sepeda Motor | W 4032 LG | 2015 | 1934,5 | EFI | Pertamax | 206,13 |
| 260 | M. Firsanda Pratama | Siswa | Sepeda Motor | W 6371 MX | 2012 | 2007,5 | Karburator | Pertamax | 176,69 |
| 261 | Ernik Puji Sulistyio | Siswa | Sepeda Motor | W 5827 CV | 2015 | 2555 | EFI | Pertamax | 182,58 |
| 262 | Fakhri Pamuji Rusdianto | Siswa | Sepeda Motor | W 5710 AJ | 2005 | 7300 | EFI | Pertamax | 88,34 |
| 263 | M. Duyuf El Rahman | Siswa | Sepeda Motor | W 6343 GI | 2009 | 365 | Karburator | Pertalite | 162,16 |
| 264 | M. Junaedi Firmansyah | Siswa | Sepeda Motor | W 2716 AA | 2016 | 365 | EFI | Pertalite | 64,86 |
| 265 | Yada Gresia | Siswa | Sepeda Motor | W 4762 KL | 2015 | 1095 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 266 | A. Argi Inzaghi | Siswa | Sepeda Motor | L 6437 SN | 2011 | 2190 | Karburator | Pertalite | 162,16 |
| 267 | Yehezkiel Fernanda A. | Siswa | Sepeda Motor | W 4438 KY | 2004 | 1825 | Karburator | Pertalite | 97,30 |
| 268 | Dian Bagus Pangiling | Siswa | Sepeda Motor | W 3069 LQ | 2012 | 365 | Karburator | Pertalite | 97,30 |
| 269 | M. Ilham M. R. | Siswa | Sepeda Motor | W 5478 BS | 2005 | 547,5 | Karburator | Pertalite | 116,76 |
| 270 | M. Dafa Bramasta | Siswa | Sepeda Motor | W 4887 SH | 2014 | 1095 | EFI | Pertalite | 64,86 |
| 271 | Fatkur Rozikin | Siswa | Sepeda Motor | W 6930 GP | 2010 | 5475 | Karburator | Pertalite | 162,16 |
| 272 | M. Miftakhul Arzaki | Siswa | Sepeda Motor | W 4043 KH | 2014 | 1825 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 273 | Toh Bagus M. Nu'man | Siswa | Sepeda Motor | W 3015 KL | 2013 | 5475 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 274 | M. Haris Ardiansyah | Siswa | Sepeda Motor | W 2117 LN | 2003 | 730 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 275 | M. Rizqi Awaluddin | Siswa | Sepeda Motor | W 2012 JA | 2003 | 547,5 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 276 | Yegaurim Yang Ro'an | Siswa | Sepeda Motor | W 3964 MA | 2012 | 1825 | EFI | Pertalite | 81,08 |

| No. | Nama | Pekerjaan | Jenis Transportasi | Nopol | Tahun Pembuatan | Jarak Tempuh (km/tahun) | Teknologi Mesin | Jenis Bahan Bakar | Rata-rata Konsumsi BBM (liter/tahun) |
|-----|--------------------------|-----------|--------------------|------------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| 277 | M. Bisma Basha | Siswa | Sepeda Motor | W 3238 KH | 2013 | 1825 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 278 | M. Al Azhar Asrorie | Siswa | Sepeda Motor | W 4915 KS | 2015 | 547,5 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 279 | Ferdinan Christi | Siswa | Sepeda Motor | W 3136 CE | 2016 | 1825 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 280 | M. Micko Firmansyah | Siswa | Sepeda Motor | W 6118 HT | 2010 | 3285 | EFI | Pertamax Plus | 260,87 |
| 281 | M. Alvin Maulana | Siswa | Sepeda Motor | W 4643 KI | 2014 | 3285 | Karburator | Pertalite | 259,46 |
| 282 | M. Rizqi F. | Siswa | Sepeda Motor | W 5429 BU | 2008 | 2920 | Karburator | Premium | 258,46 |
| 283 | Akhmad Ferizqul Irfan | Siswa | Sepeda Motor | W 6481 KJ | 2011 | 3285 | Karburator | Pertamax | 88,34 |
| 284 | Bagus Pramudita Sakti | Siswa | Sepeda Motor | AG 4346 MQ | 2005 | 2190 | Karburator | Pertalite | 97,30 |
| 285 | Ahmad Fajar Ramadhani | Siswa | Sepeda Motor | W 3835 LX | 2013 | 5475 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 286 | Hasan Rafli Ashari | Siswa | Sepeda Motor | W 4784 LA | 2015 | 547,5 | EFI | Pertalite | 194,59 |
| 287 | M. Ridho Fauzi | Siswa | Sepeda Motor | W 6488 AH | 2016 | 6205 | EFI | Pertamax | 353,37 |
| 288 | M. Syauai Amin | Siswa | Sepeda Motor | W 3636 GN | 2016 | 1095 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 289 | Fauzi Ramadhan | Siswa | Sepeda Motor | W 6252 MF | 2012 | 912,5 | Karburator | Pertamax | 117,79 |
| 290 | Amrullah Robet Johanza | Siswa | Sepeda Motor | W 6119 JD | 2010 | 2555 | Karburator | Pertamax | 235,58 |
| 291 | M. Fahri Alif Rasyidi | Siswa | Sepeda Motor | W 6615 JS | 2011 | 2190 | Karburator | Pertamax | 117,79 |
| 292 | Ade Ruldy Prasetya | Siswa | Sepeda Motor | W 4186 CX | 2016 | 1095 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 293 | Abdulloh Baihaqi | Siswa | Sepeda Motor | L 3298 YO | 2004 | 730 | Karburator | Premium | 110,77 |
| 294 | M. Daniyal Alfaizy | Siswa | Sepeda Motor | W 6065 MF | 2010 | 1277,5 | Karburator | Pertamax | 88,34 |
| 295 | Iwan Wahyudi | Siswa | Sepeda Motor | W 4083 KV | 2016 | 365 | EFI | Pertamax | 44,17 |
| 296 | Yusfifa Nanda Maulida P. | Siswa | Sepeda Motor | W 3778 JK | 2014 | 2190 | EFI | Pertamax Plus | 130,43 |
| 297 | Denny Arif Saputra | Siswa | Sepeda Motor | W 6718 LS | 2012 | 1460 | EFI | Pertalite | 259,46 |
| 298 | Dio Firman Naghrizi | Siswa | Sepeda Motor | W 3471 KB | 2013 | 1460 | EFI | Pertamax | 206,13 |
| 399 | Akhmad Sofiyur R. | Siswa | Sepeda Motor | W 6462 LD | 2011 | 1825 | Karburator | Pertamax | 206,13 |
| 300 | Maskur Rizal A. P. | Siswa | Sepeda Motor | W 4840 JT | 2014 | 1460 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 301 | Inggit Maulana F. | Siswa | Sepeda Motor | W 3104 AG | 2016 | 1460 | EFI | Pertamax | 176,69 |
| 302 | M. Dandi Dwi Cahyo P. | Siswa | Sepeda Motor | W 3846 JJ | 2014 | 365 | EFI | Pertalite | 259,46 |
| 303 | Aditya Ali Nugraha | Siswa | Sepeda Motor | W 5868 AX | 2008 | 3650 | Karburator | Pertamax | 176,69 |
| 304 | Danang Marfa | Siswa | Sepeda Motor | W 4830 FY | 2016 | 2920 | EFI | Pertamax | 176,69 |
| 305 | Vieri Surya Kusuma | Siswa | Sepeda Motor | W 7676 MZ | 2009 | 1095 | Karburator | Pertalite | 129,73 |

| No. | Nama | Pekerjaan | Jenis Transportasi | Nopol | Tahun Pembuatan | Jarak Tempuh (km/tahun) | Teknologi Mesin | Jenis Bahan Bakar | Rata-rata Konsumsi BBM (liter/tahun) |
|-----|-------------------------|-----------|--------------------|-----------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| 306 | M. Riski Nurman P. | Siswa | Sepeda Motor | W 8285 GJ | 2004 | 2336 | Karburator | Premium | 110,77 |
| 307 | Feryan Nanda A. S. | Siswa | Sepeda Motor | W 6318 GD | 2009 | 2190 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 308 | Ananda Pangestu Idayana | Siswa | Sepeda Motor | W 3712 LO | 2014 | 21900 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 309 | Muhammad Ivan F. | Siswa | Sepeda Motor | W 6383 HA | 2010 | 2190 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 310 | Muhammad Sholeh | Siswa | Sepeda Motor | W 1678 LM | 2015 | 10220 | EFI | Pertalite | 227,03 |
| 311 | M. Rizki Ramadhan | Siswa | Sepeda Motor | W 7678 AX | 2016 | 5110 | EFI | Pertamax | 176,69 |
| 312 | Muhammad Hisqullah | Siswa | Sepeda Motor | W 6857 GS | 2010 | 2555 | Karburator | Premium | 110,77 |
| 313 | Mohammad Daffa Firdaus | Siswa | Sepeda Motor | W 6462 JI | 2010 | 730 | Karburator | Pertalite | 48,65 |
| 314 | Mochamad Darmawan | Siswa | Sepeda Motor | W 3600 JS | 2013 | 730 | EFI | Pertalite | 48,65 |
| 315 | Anthony T. | Siswa | Sepeda Motor | W 6701 KG | 2011 | 1825 | EFI | Pertalite | 94,05 |
| 316 | Faried Dwi Fanani | Siswa | Sepeda Motor | AG 2024 V | 2011 | 2190 | Karburator | Pertamax | 117,79 |
| 317 | Muhammad Rizki | Siswa | Sepeda Motor | W 3224 JP | 2014 | 2190 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 318 | Indra Dwi S | Siswa | Sepeda Motor | W 2581 KJ | 2001 | 730 | Karburator | Pertalite | 162,16 |
| 319 | Achmad Rizqullah | Siswa | Sepeda Motor | W 6470 GW | 2010 | 7300 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 320 | Mochammad Hafid | Siswa | Sepeda Motor | W 4936 LK | 2015 | 4745 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 321 | A. Taufik | Siswa | Sepeda Motor | W 6961 GJ | 2009 | 6387,5 | EFI | Pertamax | 176,69 |
| 322 | Kharisma | Siswa | Sepeda Motor | W 1234 KG | 2014 | 7300 | Karburator | Premium | 184,62 |
| 323 | Ervin Ravanita | Siswa | Sepeda Motor | W 3667 JC | 2010 | 1825 | EFI | Pertamax Plus | 93,91 |
| 324 | M. Anas Al Hikami | Siswa | Sepeda Motor | W 3786 KG | 2013 | 1460 | EFI | Pertalite | 64,86 |
| 325 | Mawardi Labay El Sul T. | Siswa | Sepeda Motor | W 7176 JP | 2014 | 2190 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 326 | Dimas Saputra | Siswa | Sepeda Motor | W 2837 WE | 2010 | 4380 | EFI | Pertamax | 147,24 |
| 327 | Vaza Fauzan A. | Siswa | Sepeda Motor | W 3358 MQ | 2010 | 2190 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 328 | Yulianto Iswahyudi | Siswa | Sepeda Motor | W 3182 KU | 2014 | 1825 | EFI | Pertalite | 103,78 |
| 329 | Reifro Faraby Putra | Siswa | Sepeda Motor | W 4835 JS | 2015 | 2920 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 330 | Devi Nur Husniah | Siswa | Sepeda Motor | W 7291 GJ | 2015 | 3285 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 331 | Abdurrohman Fauzy | Siswa | Sepeda Motor | W 2443 WE | 2005 | 4015 | Karburator | Pertamax | 176,69 |
| 332 | Muhammad Farizky | Siswa | Sepeda Motor | W 4359 JX | 2014 | 7300 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 333 | Krisnanda Putra D. | Siswa | Sepeda Motor | W 3160 JL | 2014 | 2920 | EFI | Pertalite | 162,16 |
| 334 | Ervin Setyawan | Siswa | Sepeda Motor | W 4624 JM | 2013 | 730 | EFI | Pertalite | 64,86 |

| No. | Nama | Pekerjaan | Jenis Transportasi | Nopol | Tahun Pembuatan | Jarak Tempuh (km/tahun) | Teknologi Mesin | Jenis Bahan Bakar | Rata-rata Konsumsi BBM (liter/tahun) |
|-------------------------------|---------------------------|-----------|--------------------|-----------|-----------------|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| 335 | Achmad Fathoni M. | Siswa | Sepeda Motor | W 4010 LX | 2015 | 1825 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 336 | Muhammad Katon Rifa'i | Siswa | Sepeda Motor | W 4344 KR | 2016 | 2190 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 337 | Raka Wicaksono | Siswa | Sepeda Motor | W 3976 CA | 2016 | 2190 | EFI | Pertamax | 117,79 |
| 338 | Muhammad Ali Fikri | Siswa | Sepeda Motor | W 6730 HO | 2010 | 4015 | Karburator | Pertalite | 194,59 |
| 339 | Navanda Pratama Putra | Siswa | Sepeda Motor | W 3617 MA | 2013 | 1825 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 340 | M. Andi Djuansyah | Siswa | Sepeda Motor | W 3861 JX | 2009 | 2920 | Karburator | Pertalite | 162,16 |
| 341 | Kurniawan | Siswa | Sepeda Motor | W 2044 KC | 2006 | 730 | Karburator | Pertalite | 40,54 |
| 342 | Reza Ainul R. | Siswa | Sepeda Motor | W 4133 DF | 2015 | 2190 | EFI | Pertalite | 129,73 |
| 343 | Riezal | Siswa | Sepeda Motor | W 8176 CA | 2006 | 730 | Karburator | Pertalite | 48,65 |
| Jumlah | | | | | | 814.206 | Jumlah | | 51.275,20 |
| Sepeda Motor 2 Langkah | | | | | | | | | |
| 1 | A. Fahmi Sayyidul, S.Pd.I | Guru | Sepeda Motor | L 2243 SH | 1978 | 1825 | Karburator | Pertalite | 162,16 |
| 2 | Drs. Edy Purnomo | Guru | Sepeda Motor | W 5470 DO | 1985 | 1095 | Karburator | Pertalite | 71,03 |
| 3 | Afrian Dwisna Zain | Siswa | Sepeda Motor | W 2134 LT | 1997 | 547,5 | Karburator | Pertalite | 129,73 |
| 4 | Rezandy Asy'ary | Siswa | Sepeda Motor | W 6612 FV | 1982 | 365 | Karburator | Premium | 221,54 |
| 5 | Rifki Rizkina A. | Siswa | Sepeda Motor | W 4915 GS | 1990 | 730 | Karburator | Pertamax | 176,69 |
| 6 | Ferdiansyah Ar Rafli | Siswa | Sepeda Motor | W 5689 BR | 1985 | 730 | Karburator | Pertalite | 64,86 |
| 7 | Hendri Yunanto | Siswa | Sepeda Motor | L 3197 KS | 1970 | 1825 | Karburator | Pertamax | 117,79 |
| 8 | Dony Ramadana | Siswa | Sepeda Motor | W 5477 BX | 1987 | 1095 | Karburator | Pertalite | 136,22 |
| 9 | Indra Tri Atmaja | Siswa | Sepeda Motor | W 5432 FY | 1992 | 1825 | Karburator | Pertalite | 155,68 |
| 10 | Duchan Choiri N. | Siswa | Sepeda Motor | W 6307 FV | 1995 | 2555 | Karburator | Pertamax | 176,69 |
| 11 | Roichon S. N. | Siswa | Sepeda Motor | W 2411 HP | 1995 | 3650 | Karburator | Pertamax Plus | 140,87 |
| 12 | M. Alifiansah Rafli | Siswa | Sepeda Motor | W 2327 JP | 1976 | 2190 | Karburator | Pertamax | 117,79 |
| 13 | Bima Prasetya Utama | Siswa | Sepeda Motor | S 4325 YW | 1973 | 5475 | Karburator | Pertamax | 265,03 |
| Jumlah | | | | | | 23.907,5 | Jmlah | | 1.936,07 |
| Total | | | | | | 858.553 | Total | | 56.473,40 |

Mengetahui,
Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik

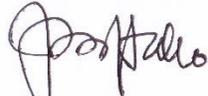


Drs. Setiyo Budi



SEKOLAH MENENGAH KEJURUAN
SMK SEMEN GRESIK
4200010701
224000107001
NSP

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan



Drs. Murtadlo

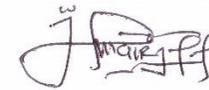
Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik



Moh. Basjir, S.Pd.

Gresik, 31 Mei 2017

Surveyor,



Warju

Lampiran 6

LEMBAR SURVEY SARANA RAMAH LINGKUNGAN DI DUNIA USAHA/DUNIA INDUSTRI

Nama DU/DI : AUTO 2000 HR Muhammad
 Alamat : A. HF. Muhammad No. 73 Suroboyo Jember Timur
 No. Telp. : (031) 731 2000
 Nama Departemen : Environment, Health, and Safety (EHS)
 Hari, Tanggal Survey : Sabtu, 9 Juli 2016

PETUNJUK:

- Berilah tanda centang [√] atau silang [X] pada kolom ketersediaan sarana ramah lingkungan pada tabel 1 di bawah ini berdasarkan hasil survey di DU/DI!
- Berilah catatan lapangan (*field note*) tentang fungsi sarana ramah lingkungan berdasarkan hasil survey di DU/DI!
- Lakukan pengamatan tentang perlakuan terhadap saringan oli (*oil filter*) bekas yang dilakukan oleh DU/DI selama ini!
- Lakukan pengujian tingkat kebisingan di bengkel otomotif DU/DI yang disurvei!

Tabel 1. Ketersediaan Sarana Ramah Lingkungan di DU/DI

| No | Jenis Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan | Auto 2000 HR Muhammad (Toyota) |
|----|---|--------------------------------|
| 1 | Catalytic Converter | ✓ |
| 2 | Diesel Particulate Filter (DPF) | ✓ |
| 3 | Positive Crankcase Ventilation (PCV) | ✓ |
| 4 | Exhaust Gas Recirculation (EGR) | ✓ |
| 5 | Eco-Muffler | ✓ |
| 6 | Oil Filter Cleaner | ✓ |
| 7 | Exhauster | ✓ |
| 8 | Mesin Perajang Sampah | ✓ |
| 9 | Tempat Sampah Terpisah | ✓ |
| 10 | Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) | ✓ |

Catatan Lapangan (*Field Note*):

1. Catalytic Converter adalah alat yg digunakan untuk mengurangi emisi gas buang CO, k15, dan NOx yg dihasilkan oleh gas buang mesin bensin.
 2. Oli mobil. Tezaka. Wasan. dan si pasing. pada mobil Avanza. Bus, ...
 ... Wanda. 200. ... (031) 731 2000. Sabtu, 9 Juli 2016. ...

Bahan catalytic converter biasanya adalah ceramic berlapis
 Platinum (Pt), dan Rhodium (Rh). Kata-rata harga catalytic converter
 adalah Rp. 14.800.000,-

2. Diesel Particulate Filter (DPF) adalah alat yg digunakan y/ mengurangi
 emisi gas buang (misal partikulat) yg dihasilkan oleh asap gas
 buang mesin diesel. DPF ini mobil Toyota biasanya dipasang pada
 mobil Innova, Pajero, Pajero Sport, Fortuner. Bahan DPF biasanya
 adalah alumina, silika, berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh).
 Kata-rata harga produk DPF ini berkisar sekitar Rp. 14.800.000,-

3. Positive Crankcase Ventilation (PCV) / Ventilasi mesin positif
 merupakan sebuah peralatan kontrol emisi yg dipasang pada kendaraan
 bermotor baik mobil maupun sepeda motor y/ mengurangi minyak
 keatas yg gas. Lengkapi dengan bahan bakar yg bersih, knalpot
 lebar yg akan meningkatkan pembakaran.

A. Exhaust yang gas buang (Exhaust gas circulation / EGC) adalah
 peralatan kontrol yg dipasang pada exhaust manifold yg berfungsi y/
 mengurangi emisi NOx pada mesin bensin dan mesin diesel
 5. EGR muffler adalah alat yg digunakan y/ mengurangi
 bintik-kabang yang dihasilkan oleh knalpot mesin bensin dan
 mesin diesel. EGR muffler yg jenis reverse flow muffler
 dipasang hampir di semua jenis dan kel. mobil. Takar
 seperti hijang, Axentia, Bush, Innova dan Fortuner. Bahan
 pembuatannya EGR muffler biasanya adalah plat galvanis dan
 plat stainless steel. Kata-rata harga produk EGR muffler
 kelurahan Takar berkisar antara Rp. 1.750.000,- Rp. 2.500.000,-

6. Oil filter standar adalah alat yg digunakan y/ mengurangi
 oli yg dihasilkan oleh saringan oli mesin bekas (used oil filter).
 Teknologi ini pada prinsipnya adalah mengalirkan oli ke dalam perator
 90° C. Ini akan mengurangi oli yg ke dalam oli. 1 kg/cm²
 melalui nozzle menuju ke saringan oli mesin bekas. Bahan baku
 pembuatannya sekitar 5-10 menit. Bangka oil filter kontrol or
 besi kelas dan plat besi. Kempat pembersihan oli dan bisa lah oli
 karbut. 80-90% keatas. yg digunakan sekitar 1000 Watt
 dan menggunakan nozzle 3. kudu yg digunakan sekitar 1000
 produk oil filter standar ini di pasaran Rp. 10.000.000,-

7. Exhauster adalah alat yg digunakan y/ mengalirkan emisi gas
 buang dari knalpot menuju lingkungan sekitar melalui catalytic
 converter. Kata-rata adalah:

8. Mesin penghancur sampah adalah alat yg digunakan y/ menghancurkan
 sampah dan (sampah organik) yg. Ekstensitas akan dibuat
 menjadi pupuk kompos organik.

9. Tempat sampah terpisah digunakan y/ memisahkan sampah baik
 sampah basah, sampah plastik, sampah kertas maupun limbah logam.
 10. Instalasi pengaliran air limbah (IPAL) adalah alat yg digunakan
 y/ mengalirkan limbah menjadi air bersih. 5kg. 20kg. 30kg. 40kg
 kandungan logam besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn) dan timbal (Pb)

Lampiran 6

SKRIP HASIL WAWANCARA TENTANG SARANA RAMAH LINGKUNGAN DI AUTO 2000 HR MUHAMMAD

Nama Interviewee : Suparna, S.Pd. 
Nama DU/DI : Auto 2000 HR Muhammad
Alamat : Jl. HR. Muhammad No.73 Surabaya, Jawa Timur 60189
Jabatan : *Head of Service Department*
Hari, Tanggal : Sabtu, 9 Juli 2016
Waktu : 09.00 – 10.30 WIB

Interviewer:

Assalaamu'alaikum, Pak Suparna!

Interviewee:

Wa'alaikumsalam Warohmatullaahi Wabarakaatuh, Mas Warju!

Interviewer:

Apa kabar, Pak!

Interviewee:

Alhamdulillah, baik Mas. Gimana kabar juga? Lama ya tidak mampir ke sini.

Interviewer:

Alhamdulillah, baik juga Pak. Iya, udah enam bulanan ya Pak, saya tidak mampir ke Auto 2000.

Interviewee:

Monggo, Mas.....Silahkan duduk dulu!

Interviewer:

Iya Pak, matur nuwun!

Interviewer:

Oh ya Pak, maaf mengganggu jam kerjanya sebentar. Maksud kedatangan saya ke sini tadi ingin mohon ijin kepada Bapak untuk survey sarana ramah lingkungan yang ada di bengkel Auto 2000 HR Muhammad untuk keperluan penelitian disertasi saya seperti yang telah saya sampaikan waktu telepon kemarin itu. Apa bisa ya Pak?

Interviewee:

Bisa Mas! Topik disertasinya tentang apa ya Mas kemarin?

Interviewer:

Tentang pengembangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK, Pak. Tapi penelitian saya lebih fokus pada pengembangan sarana pendukung ramah lingkungan di SMK, Pak.

Interviewee:

Oh gitu.....Apa yang bisa saya bantu, Mas?

Interviewer:

Saya mohon ijin untuk observasi sarana ramah lingkungan yang ada di bengkel Auto 2000 sambil nanti saya tanya-tanya detailnya ke Bapak bisa ya?

Interviewee:

Oh silahkan, Mas! Mari saya anter keliling bengkel.

Interviewer:

Oh ya Pak! Produk mobil bensin keluaran Toyota seperti yang ada di bengkel ini agar bisa ramah lingkungan apa saja ya pak teknologinya?

Interviewee:

Semua produk mobil keluaran Toyota untuk yang tipe bensin, pasti sudah dilengkapi dengan teknologi *electronic fuel injection* (EFI), pengaturan katup variabel (*variable valve timing with intelligent* atau VVT-i), dan sudah dilengkapi dengan teknologi *catalytic converter* di sistem pembuangannya, Mas.

Interviewer:

Fungsi *catalytic converter* itu sendiri untuk apa ya Pak?

Interviewee:

Catalytic converter adalah alat yang digunakan untuk mereduksi emisi gas buang CO, HC, dan NOx yang dihasilkan oleh gas buang mesin bensin. Di mobil Toyota biasanya dipasang pada mobil Avanza, Rush, Innova 2.0, Yaris, Agya, Vios, Calya, Accord, Camry, dan lain-lain.

Interviewer:

Bahan *catalytic converter* yang digunakan selama ini apa ya Pak?

Interviewee:

Bahan *catalytic converter* biasanya adalah ceramic berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh), Mas. Semua mobil produk Toyota menggunakan bahan itu.

Interviewer:

Berapa Pak harga rata-rata *catalytic converter* yang dipasang pada mobil Toyota?

Interviewee:

Rata-rata harga *catalytic converter* adalah Rp. 14.850.000. Sudah bisa untuk membeli satu unit sepeda motor ya, Mas?

Interviewer:

Iya, Pak! Mahal juga ya ternyata.

Interviewee:

Oh iya, Mas! *Catalytic converter* tidak hanya dipasang di knalpot mobil saja, Mas. Kami juga memiliki 2 (dua) buah *catalytic converter* yang lebih besar dimensinya yang di pasang di *unit stall* bengkel Auto 2000 HR Muhammad. Lihat di *stall* sana di bagian atas ada satu unit dan di *stall* sebelah kanan juga ada satu unit.

Interviewer:

Wow....bengkelnya juga ramah lingkungan ya, Pak? Di mobilnya sudah ramah lingkungan, bengkelnya juga ramah lingkungan.

Interviewee:

Iya, Mas! Untuk memenuhi sebagian persyaratan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) dan ISO 14001 tentang Sistem Manajemen Lingkungan (SML). Makanya kami terus berupaya untuk berinovasi untuk turut serta mencegah terjadinya pencemaran lingkungan, khususnya di bengkel otomotif.

Interviewer:

Oh gitu, ya Pak! Kalau untuk mobil diesel produksi Toyota teknologinya apa saja ya Pak agar tetap bisa ramah lingkungan? Biasanya kan mobil diesel terkenal dengan asap hitamnya.

Interviewee:

Kalau untuk mobil diesel produksi Toyota, saat ini pasti sudah dilengkapi dengan teknologi *common-rail system*, Mas. Teknologi *supply* dan injeksi bahan bakar terbaru yang tekanan injeksinya sampai 160 Mega Pascal menggantikan teknologi konvensional yang telah dulu ada seperti teknologi *inline pump* dan *rotary pump*. Kemudian, semua mobil diesel produksi Toyota yang berteknologi *common-rail system* saat ini juga telah dilengkapi dengan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) di saluran pembuangannya, Mas.

Interviewer:

Fungsi teknologi *diesel particulate filter* (DPF) itu sendiri untuk apa ya Pak?

Interviewee:

Diesel particulate filter (DPF) adalah alat yang digunakan untuk mereduksi opasitas gas buang (emisi partikulat) yang dihasilkan oleh asap gas buang mesin diesel. DPF di mobil Toyota biasanya dipasang pada mobil Innova Diesel D-4D dan Fortuner. Oh ya, kami juga memasang teknologi DPF ini pada unit genset mesin diesel 6 silinder yang ada di pojok sana. Mari kita lihat ke sana, Mas!

Interviewer:

Oh.....Monggo, Pak!

Interviewee:

Nah...ini Mas, DPF-nya untuk unit genset kita. Agak besaran dibandingkan dengan DPF pada mobil diesel Toyota.

Interviewer:

Wah.....iya, besar juga ya Pak! Kalau bahan pembuatan DPF itu sendiri apa ya Pak kok bisa mereduksi opasitas gas buang mesin diesel?

Interviewee:

Bahan *diesel particulate filter* (DPF) biasanya adalah alumina-silica berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh), Mas. Logam pelapisnya sama dengan teknologi *catalytic converter* pada mobil bensin, yaitu Pt dan Rh, yang membedakan hanya penyangga (*washcoat*)-nya saja. Kan kalau di mobil diesel menggunakan ceramic bahan dasarnya. Nah kalau di mesin diesel, bahan dasar pembuatan DPF menggunakan alumia-silica.

Interviewer:

Harga DPF sendiri saat ini berapa ya Pak?

Interviewee:

Rata-rata harga produk DPF terbaru sekitar Rp. 14.850.000, Mas. Sama kok dengan produk *catalytic converter* di mobil bensin.

Interviewer:

Selain teknologi *catalytic converter* dan DPF, apa lagi Pak teknologi otomotif ramah lingkungan pada mobil produksi Toyota?

Interviewee:

Ada teknologi *positive crankcase ventilation* (PCV), Mas.

Interviewer:

Apa Pak fungsi dari PCV itu sendiri?

Interviewee:

Positive crankcase ventilation (PCV) atau ventilasi mesin positif merupakan sebuah peralatan kontrol emisi yang dipasang pada kendaraan bermotor baik mobil maupun sepeda motor untuk mencegah mengalirnya *blow by gas* (campuran udara dan bahan bakar yang bocor) ke udara luar yang akan mengakibatkan polusi udara. Mobil-mobil Toyota berteknologi karburator saja telah menggunakan teknologi PCV ini, Mas.

Interviewer:

Selain PCV, apakah ada teknologi yang lain Pak untuk mereduksi emisi gas buang pada mobil bensin atau mobil diesel produksi Toyota?

Interviewee:

Ada, Mas! Teknologi *exhaust gas recirculation* (EGR) yang biasanya dipasang baik pada mobil bensin maupun mobil diesel.

Interviewer:

Kalau teknologi EGR itu sendiri apa ya Pak fungsinya?

Interviewee:

Sirkulasi ulang gas buang (*exhaust gas recirculation*/EGR) adalah peralatan kontrol yang dipasang pada *exhaust manifold* yang berfungsi untuk mereduksi emisi NOx pada mesin bensin dan mesin diesel. Mobil-mobil Toyota berteknologi karburator saja juga telah dilengkapi dengan teknologi EGR ini, Mas.

Interviewer:

Kalau berbicara tentang tingkat kebisingan Pak, teknologi apa yang biasa dipakai oleh mobil produksi Toyota agar memenuhi ambang batas (baku mutu) kebisingan?

Interviewee:

Semua mobil produksi Toyota pasti telah menggunakan teknologi *eco-muffler* Mas untuk mendapatkan tingkat kebisingan yang rendah.

Interviewer:

Eco-muffler itu sendiri apa ya Pak?

Interviewee:

Eco-muffler adalah alat yang digunakan untuk mereduksi tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot mesin bensin dan mesin diesel. *Eco-muffler* dengan jenis *reverse flow muffler* dipasang hampir di semua jenis dan tipe mobil Toyota, seperti Kijang, Avanza, Rush, Innova, dan Fortuner.

Interviewer:

Bahan pembuatan *eco-muffler* itu sendiri apa ya Pak?

Interviewee:

Bahan pembuatan *eco-muffler* biasanya adalah plat *galvanis* dan plat *stainless steel*, Mas.

Interviewer:

Kalau tentang harga pak, berapa kisaran harga *eco-muffler* produksi Toyota?

Interviewee:

Rata-rata harga produk *eco-muffler* keluaran Toyota berkisar antara Rp. 1.750.000-Rp. 2.500.000. Yang terbuat dari plat *galvanis* lebih murah sekitar Rp 1.750.000,- dan yang terbuat dari plat *stainless steel* lebih mahal sedikit, yaitu Rp 2.500.000,-.

Interviewer:

Sekarang berbicara tentang limbah saringan oli mesin bekas Pak. Apa yang dilakukan oleh Auto 2000 untuk mengatasi limbah oli dari saringan oli mesin bekas tersebut selama ini?

Interviewee:

Di Auto 2000 kita memiliki teknologi untuk mereduksi limbah oli dari saringan oli mesin bekas tersebut. Nama alatnya adalah *oil filter cleaner*. Mari saya tunjukkan alatnya di ujung sana Mas

Interviewer:

Oh....Mari Pak!

Interviewee:

Nah...ini *oil filter cleaner*-nya, Mas.

Interviewer:

Oh iya....Apa itu Pak *oil filter cleaner* dan bagaimana cara kerjanya?

Interviewee:

Oil filter cleaner adalah alat yang digunakan untuk mereduksi limbah oli yang dihasilkan oleh saringan oli mesin bekas (*used oil filter*). Teknologi ini pada prinsipnya adalah mengalirkan air bertemperatur 90°C dari bak penampung air ini dengan tekanan 0,5-1 kg/cm² melalui *nozzle* menuju ke saringan oli mesin bekas yang dipasang di sini dengan waktu pembersihan sekitar 5-10 menit, Mas.

Interviewer:

Kalau bahan pembuatan *oil filter cleaner* ini apa saja ya Pak?

Interviewee:

Rangka *oil filter cleaner* ini terbuat dari besi kotak dan plat besi, tempat penampungan air dan limbah oli terbuat dari *acrylic*, *heater* yang digunakan sebesar 1000 Watt, dan menggunakan *nozzle* 3 buah yang disusun secara seri. Silahkan, Mas! Dilihat-lihat dulu alatnya ini. Di Auto 2000, kami wajib melakukan *treatment* terlebih dahulu terhadap saringan oli mesin bekas ini untuk mereduksi limbah oli sebelum kami menjualnya ke pengepul barang bekas.

Interviewer:

Oh begitu ya Pak! Saya kira saringan oli mesin bekas yang telah dibersihkan dibuang ke tempat sampah saja. Kalau tentang harga, berapa ya Pak biaya yang dikeluarkan untuk membeli teknologi *oil filter cleaner* ini?

Interviewee:

Harga produk *oil filter cleaner* ini di pasaran Rp. 10.000.000, Mas.

Interviewer:

Oh...mahal juga ya Pak?

Interviewee:

Haaaaaa.....Harga segitu kalau untuk pelestarian lingkungan ya masih murah lah, Mas. Sebanding dengan manfaatnya ya.

Interviewer:

Apa lagi ya Pak, sarana ramah lingkungan yang dimiliki oleh Auto 2000 HR Muhammad?

Interviewee:

Di semua *unit stall*, kita memiliki *exhauster*, Mas. Itu, kamu bisa amati dan lihat di semua *unit stall* yang kita miliki.

Interviewer:

Fungsi *exhauster* itu sendiri untuk apa ya Pak?

Interviewee:

Exhauster adalah alat yang digunakan untuk mengalirkan emisi gas buang dari knalpot menuju lingkungan sekitar melalui *catalytic converter* terlebih dahulu yang kita pasang di atas itu. Bedanya, *catalytic converter* yang di atas itu, diberi *heater* untuk memanaskan asap gas buang Mas sebelum dibuang ke atmosfer.

Interviewer:

Kalau yang di pojok itu, mesin apa ya Pak?

Interviewee:

Oh itu namanya mesin perajang sampah, Mas. Kebetulan itu juga salah satu sarana ramah lingkungan di bengkel Auto 2000 HR Muhammad ini. Ayo kita ke sana!

Interviewer:

Monggo Pak! Apa Pak fungsi dari mesin perajang sampah ini?

Interviewee:

Mesin perajang sampah adalah alat yang digunakan untuk menghancurkan sampah daun (sampah organik) yang selanjutnya akan dibuat menjadi pupuk kompos organik, Mas. Ini contoh hasil perajangan sampah daun menggunakan alat ini, dimana nanti hasil perajangan sampah organik ini akan ditambahkan dengan starter EM4 untuk selanjutnya dibuat menjadi pupuk kompos. Ini contoh pupuk kompos yang sudah dikemas dan yang itu yang belum dikemas, Mas.

Interviewer:

Oh ya pak, ada berapa jenis sampah yang dipilah di Auto 2000 HR Muhammad ini?

Interviewee:

Ada 4 jenis Mas, menggunakan tempat sampah terpisah.

Interviewer:

Apa itu pak fungsi tempat sampah terpisah?

Interviewee:

Tempat sampah terpisah digunakan untuk memisahkan sampah baik sampah daun, sampah plastik, sampah kertas, maupun limbah logam. Nah itu, di pojok sana tempat sampah terpisah. Ayo kita lihat ke sana!

Interviewer:

Monggo, Pak!

Interviewee:

Nah...ini tempat sampah terpisah. Semua sampah dipilah-pilah berdasarkan jenisnya, Mas.

Interviewer:

Kalau tentang air limbah di bengkel Auto 2000 HR Muhammad ini Pak. Adakah ada juga perlakuannya terhadap air limbah tersebut?

Interviewee:

Iya, wajib ada itu, Mas. Ayo kita lihat ke ujung sana. Nah...ini nama teknologinya Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), Mas. Posisinya tepat di bawah ini kita ini.

Interviewer:

Apa Pak fungsi utama IPAL ini dan apa saja bahan/material yang perlu disiapkan untuk membuatnya?

Interviewee:

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah alat yang digunakan untuk mengolah air limbah menjadi air bersih sehingga dapat menurunkan kandungan logam besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), dan timbal (Pb) yang terdapat dalam air, menurunkan kadar amoniak dalam air buangan, menyaring partikel halus, bau, dan warna serta membantu aerasi oksigen. Di dalam IPAL ini terdapat meterial tawas, batu zeolit, ijuk, pasir, batu koral, dan arang. Tawas berfungsi sebagai koagulan. Koagulan ini memperbesar ukuran partikel lumpur dan partikel lain yang melayang di air sehingga dapat diendapkan. Batu zeolit berfungsi untuk menurunkan kandungan logam besi, mangan, seng, dan timbal yang terdapat dalam air. Batu zeolit juga mampu menurunkan kadar amoniak dalam air buangan. Ijuk berfungsi untuk menyaring partikel yang lolos dari lapisan penyaring sebelumnya dan meratakan aliran air. Pasir berfungsi untuk menahan endapan lumpur. Batu koral berfungsi sebagai penyaring dan membantu aerasi oksigen. Sedangkan arang yang permukaannya memiliki pori-pori berfungsi sebagai penyerap partikel halus, bau, dan warna pada air, Mas. Agak kompleks cara membuatnya ya.

Interviewer:

Wah...ternyata banyak sekali ya Pak material dalam pembuatan IPAL-nya? Pasti lama ya Pak untuk mendapatkan komposisi terbaik agar dihasilkan air yang benar-benar bersih?

Interviewee:

Iya Mas, butuh waktu yang lama untuk mendapatkan komposisi material terbaiknya khususnya air yang benar-benar bersih. Tim kami dari Department of HSE (*Health, Safety and Environment*) yang biasanya selalu *improve* dalam hal ini.

Interviewer:

Ada lagi kah Pak, sarana ramah lingkungan yang dimiliki oleh Auto 2000 HR Muhammad?

Interviewee:

Kayaknya sudah semua ya Mas, mulai dari *catalytic converter*, DPF, PCV, EGR, *oil filter cleaner*, *exhauster*, terus yang dipojok sana tadi ada mesin perajang sampah dan tempat sampah terpisah. Terakhir IPAL ini.

Interviewer:

Baik Pak Suparna. Terima kasih banyak atas waktu dan penjelasannya. Sangat membantu untuk data survey penelitian disertasi saya. Mohon maaf mengganggu waktu jam kerja Bapak.

Interviewee:

Oh gak apa-apa, Mas. Monggo kalau butuh apa-apa kontak saya saja. InsyaAllah siap membantu.

Interviewer:

Oh iya Bapak. Terima kasih banyak.

Interviewee:

Iya Mas, sama-sama. Jangan lupa kalau ada waktu longgar, main-main ke sini lagi.

Interviewer:

Oh iya Bapak. InsyaAllah. Saya tak pamit pulang dulu ya Pak. Assalaamu'alaikum!

Interviewee:

Wa'alaikumsalam Warohmatullaahi Wabarakaatuh! Hati-hati di jalan, Mas.

Interviewer:

Iya, Pak. Terima kasih.

Surabaya, 9 Juli 2016

Mengetahui,

Interviewee

Auto 2010 HR Muhammad



Suparna, S.Pd.

Interviewer,



Warju

Lampiran 6

LEMBAR SURVEY SARANA RAMAH LINGKUNGAN DI DUNIA
USAHA/DUNIA INDUSTRI

Nama DU/DI : PT. Astra International, Tbk - Daihatsu Waru
 Alamat : Jl. Bato Waru Km. 15, Galeha, Kab. Sidoarjo
 Jawa Timur Kode Pos 61256
 No. Telp. : (031) 8533777
 Nama Departemen : Environment, Health, and Safety (EHS)
 Hari, Tanggal Survey : Sabtu, 22 Juli 2016

PETUNJUK:

1. Berilah tanda centang [√] atau silang [X] pada kolom ketersediaan sarana ramah lingkungan pada tabel 1 di bawah ini berdasarkan hasil survey di DU/DI!
2. Berilah catatan lapangan (*field note*) tentang fungsi sarana ramah lingkungan berdasarkan hasil survey di DU/DI!
3. Lakukan pengamatan tentang perlakuan terhadap saringan oli (*oil filter*) bekas yang dilakukan oleh DU/DI selama ini!
4. Lakukan pengujian tingkat kebisingan di bengkel otomotif DU/DI yang disurvei!

Tabel 1. Ketersediaan Sarana Ramah Lingkungan di DU/DI

| No | Jenis Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan | PT. Astra International, Tbk- Daihatsu Waru |
|----|---|---|
| 1 | Catalytic Converter | ✓ |
| 2 | Diesel Particulate Filter (DPF) | ✓ |
| 3 | Positive Crankcase Ventilation (PCV) | ✓ |
| 4 | Exhaust Gas Recirculation (EGR) | ✓ |
| 5 | Eco-Muffler | ✓ |
| 6 | Oil Filter Cleaner | ✓ |
| 7 | Exhauster | ✓ |
| 8 | Mesin Perajang Sampah | ✓ |
| 9 | Tempat Sampah Terpisah | ✓ |
| 10 | Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) | ✓ |

Catatan Lapangan (*Field Note*):

1. Catalytic Converter merupakan peralatan kontrol emisi CO, HC, dan NOx yg dihasilkan oleh mesin gas yang seri meter busis. Penggunaannya & merek Daihatsu diantaranya

- adalah mobil Xenia, TunoS, Erme max, Arlo, Siga, Luxio, Sision, dan lain-lain. Bahan catalytic converter produksi Pihatsu biasanya adalah ceramic berlapis platinum dan rhodium. Harga rata-rata catalytic converter produksi Pihatsu sekitar Rp. 19.850.000,-
2. PFF merupakan peralatan kontrol emisi partikulat yg dihasilkan oleh emisi gas buang dan motor diesel. Penggunaannya di mobil Pihatsu diantaranya adalah mobil Taft, Hillina, F.70, karkasa biasanya bahan PFF karkasat dari alumina-silica berlapis Pt dan Rh sekitar Rp. 19.850.000,-
3. Exhaust gas recirculation (EGR) adalah teknologi yg dipasang pada exhaust manipulasi mobil bensin dan mobil diesel u/ mengurangi emisi NOx yg dihasilkan di sistem pembuangan mesin
4. PCV adalah teknologi reduksi emisi CO dan HC yg dipasang pada tutup kepala silinder baik mobil bensin maupun mobil diesel u/ mencegah muntahnya blow by gas ke udara luar
5. ECU muffler merupakan peralatan kontrol tingkat kebisingan yg dihasilkan oleh knalpot kendaraan bermotor. Penggunaan ECU muffler jenis two pass tipe tipe muffler hammer di semua produk mobil Pihatsu seperti Xenia, TunoS, Siga dan Arlo. Biasanya bahan ECU muffler karkasat dari plat galvanis dan plat stainless steel dgn tebal 1,2 mm. Harga ECU muffler produk Pihatsu karkasat antara Rp. 1750.000,- Rp. 2.000.000,-
6. Oil filter cleaner adalah pembersihkan filter oli bekas agar tidak mencemari tanah dan air. Untuk mengoperasionalkan oil filter cleaner ini diperlukan suhu 80-85°C, tekanan air 0,5-1 kg/cm² dan waktu pembersihkan antara 10-20 menit. Oil filter cleaner ini terbungkus dari karat katok dan plat besi u/ bagian rangkanya. Kemudian wadah air dan wadah limbah oli menggunkan bahan zeolite. Oil filter cleaner ini juga dilengkapi dgn 3 nozzle pampret dan menggunkan heater 1000 Watt u/ memanaskan air pembersihkan filter oli bekas. Harga oil filter cleaner ini di pasaran sekitar Rp. 10.000.000,-
7. Exhauster adalah saringan yg digunakan u/ mengulirkan asap gas buang di knalpot menuju lingkungan sekitar
8. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah alat yg digunakan u/ menyalah air limbah (luar dan dalam) menjadi air bersih sehingga tidak mencemari lingkungan. Di dalam IPAL ini terdapat sejumlah material spt pasir, batu kerikil, tawas, pasir, batu zeolit, dan sujuk. Arang berfungsi sbg penyerap partikel halus, bau, dan warna pada air. Batu kerikil berfungsi sbg pengering

- 8. dan membantu transfer oksigen. Tawar berfungsi / memperbesar ukuran partikel lumpur dan partikel lain yg melekat. Tang di air sng dapat diinapkan. Pasir berfungsi / menahan endapan lumpur dan solumik berfungsi / menahan kandungan logam besi, mangan, sulfur, dan kadmium. Tg ker. part. dalam air. Sedangkan solumik berfungsi / menahan partikel yg lolos dr lapisan penyaring. Sebelumnya dan meratakan aliran air.
- 9. Tempat sampah terpisah digunakan / memisahkan sampah baik sampah anorganik, sampah kertas, sampah plastik, maupun limbah logam seperti filter oli bekas.
- 10. mesin perejangan sampah sudah ada yg digunakan / menghancurkan sampah organik / dibuat menjadi pupuk kompos.

Dari hasil observasi thd limbah Saringan oli mesin bekas (type oli filter) di P.T. Astra International Tbk. Pahlawan, utam karakteristik bahwa saringan oli bekas ksb diadatkan, perlakuan (treatment) karubuh adwlu. Bgn menggunakan oil filter cleaner dgn komposisi air 90°C dan tekanan air 2,5-1 kg/cm². Hasilnya, saringan oli mesin bekas ksb bekas dr limbah oli sng kark akan mnsa mari kanda am air limbah oli dari saringan oli mesin bekas ksb kemudian di kumpung di dalam wadah (tang) oli bekas. Sedangkan saringan oli mesin bekas yg sudah di kembalikan dr oil filter cleaner ksb kemudian dikubung ke tempat sampah jenis logam.

Dari hasil surveying tingkat kebisingan di bengkel Astra Pahlawan Waru Bgn menggunakan alat sound level meter (SLM) diketahui bahwa tingkat kebisingan di bengkel ini sebesar 89,5 dBA sng memnuhi ambang batas kebisingan di tempat kerja (maksimal 85 dBA).

Sidoarjo, 23 Juli 2016

Mengetahui,
Head of Service Department
Astra Daihatsu Waru


Aidil F. B. Swastomo

Surveyor,


Warju

Lampiran 6

SKRIP HASIL WAWANCARA TENTANG SARANA RAMAH
LINGKUNGAN DI PT. ASTRA INTERNATIONAL, Tbk – DAIHATSU
WARU



Nama *Interviewee* : Aidil F. B. Swastomo
Nama DU/DI : PT. Astra Internationl Tbk. – Daihatsu Waru
Alamat : Jl. Raya Waru Km 15 (Aloha), Kab. Sidoarjo, Jawa
Timur Kode Pos 61256
Jabatan : *Head of Service Department*
Hari, Tanggal : Sabtu, 22 Juli 2016
Waktu : 12.00 – 13.30 WIB

Interviewer:

Assalaamu'alaikum, Pak Aidil! Selamat Siang, Pak!

Interviewee:

Wa'alaikumsalam, Mas Warju! Selamat Siang, Mas!

Interviewer:

Apa kabar, Pak?

Interviewee:

Alhamdulillah, sehat Mas. Gimana kabarnya juga, Mas? Lama ya tidak ketemu.

Interviewer:

Iya, Pak! Alhamdulillah, sehat juga Pak.

Interviewee:

Monggo.....duduk dulu, Mas!

Interviewer:

Oh iya.....Matur nuwun, Pak!

Interviewer:

Maaf pak, mengganggu jam istirahatnya sebentar. Maksud kedatangan saya tadi ke sini ingin mohon ijin kepada Pak Aidil untuk survey sarana ramah lingkungan yang ada di bengkel Astra Daihatsu Waru untuk kepentingan penelitian S3 saya Pak. Apa bisa dibantu ya Pak?

Interviewee:

Monggo Mas! Apa yang bisa saya bantu? Penelitiannya tentang apa ya Mas?

Interviewer:

Judul disertasi S3 saya tentang pengembangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK, Pak. Penelitian saya fokuskan pada pengembangan teknologi otomotif ramah lingkungan di SMK, Pak.

Interviewee:

Wah, bagus itu, Mas! Biar bengkel sekolah juga ramah lingkungan ya. OK, apa yang bisa saya bantu ini?

Interviewer:

Pak Aidil, saya mohon ijin untuk observasi sarana ramah lingkungan yang ada di bengkel Astra Daihatsu Waru ya, sambil nanti saya tanya-tanya detailnya ke Bapak bisa ya?

Interviewee:

Oh monggo, Mas! Ayo, saya anter keliling-keliling di bengkel!

Interviewer:

Pak Aidil, secara umum teknologi otomotif apa saja ya Pak yang dikembangkan oleh Daihatsu agar bisa ramah lingkungan?

Interviewee:

Secara umum sih, kalau untuk mobil bensin produksi Daihatsu pasti sudah dilengkapi dengan teknologi *electronic fuel injection* (EFI) untuk sistem pengkabutan bahan bakarnya. Lalu mekanisme pergerakan katup saat ini juga sudah dilengkapi dengan teknologi pengaturan katup variabel (*variable valve timing with intelligent* atau VVT-i). Kemudian, di sistem pembuangannya (knalpotnya), pasti juga sudah dilengkapi dengan teknologi *catalytic converter*.

Interviewer:

Kalau fungsi *catalytic converter* itu sendiri apa ya Pak Aidil?

Interviewee:

Catalytic converter merupakan peralatan kontrol emisi CO, HC, dan NOx yang dihasilkan oleh emisi gas buang dari motor bensin. Penggunaannya di mobil Daihatsu diantaranya adalah mobil Xenia, Terios, Grand Max, Ayla, Sigra, Luxio, Sirion, dan lain-lain.

Interviewer:

Kalau dari sisi bahan *catalytic converter* yang digunakan selama ini apa ya Pak Aidil?

Interviewee:

Bahan *catalytic converter* produksi Daihatsu biasanya adalah ceramic berlapis Platinum dan Rhodium, Mas.

Interviewer:

Berapa Pak harga rata-rata *catalytic converter* yang dipasang pada mobil Daihatsu?

Interviewee:

Harga rata-rata *catalytic converter* produksi Daihatsu sekitar Rp. 14.850.000, Mas. Semua mobil Daihatsu pasti memakainya agar lulus uji emisi.

Interviewer:

Oh iya, salah satu persyaratan agar mobil bisa diproduksi massal ya, Pak? Kalau berbicara tentang mobil diesel produksi Daihatsu, teknologi apa saja ya Pak agar tetap bisa ramah lingkungan?

Interviewee:

Mobil diesel produksi Daihatsu saat ini pasti sudah dilengkapi dengan teknologi *common-rail system*, Mas. Teknologi terkini yang menggantikan teknologi konvensional seperti *inline pump* dan *rotary pump*. Mobil diesel produksi Daihatsu berteknologi *common-rail system* saat ini juga telah dilengkapi dengan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) di knalpotnya, Mas. Namun, Daihatsu tidak banyak

memasarkan mobil bermesin diesel di Indonesia. Salah satu alasannya adalah kualitas bahan bakar solar di Indonesia masih buruk. Selain itu, peminat mobil diesel di Indonesia juga masih sedikit.



Interviewer:

Oh begitu ya Pak! Kalau fungsi teknologi DPF itu sendiri untuk apa ya Pak Aidil?

Interviewee:

DPF merupakan peralatan kontrol emisi partikulat yang dihasilkan oleh emisi gas buang dari motor diesel. Penggunaannya di mobil Daihatsu diantaranya adalah mobil Taft Hilina F70 GTL terbaru.

Interviewer:

Kalau bahan pembuatan DPF itu sendiri apa ya Pak Aidil? Kok bisa mereduksi emisi partikulat mesin diesel?

Interviewee:

Biasanya bahan DPF terbuat dari alumina-silica berlapis Platinum dan Rhodium dengan suhu kalsinasi tertentu, Mas.

Interviewer:

Oh gitu ya, Pak! Kalau harga DPF produksi Daihatsu sendiri saat ini berapa ya Pak Aidil?

Interviewee:

Harga DPF alumina silica berlapis Pt dan Rh sekitar Rp. 14.850.000, Mas. Harganya sama dengan *catalytic converter* untuk mobil bensin produksi Daihatsu.

Interviewer:

Baik, Pak! Selain teknologi *diesel particulate filter* dan *catalytic converter*, apa ada teknologi Daihatsu yang lain ya Pak agar ramah lingkungan?

Interviewee:

Ada, Mas! Namanya teknologi *exhaust gas recirculation*.

Interviewer:

Apa Pak fungsi dari *exhaust gas recirculation* itu sendiri?

Interviewee:

Exhaust gas recirculation (EGR) adalah teknologi yang dipasang pada *exhaust manifold* mobil bensin dan mobil diesel untuk mereduksi emisi NOx yang dihasilkan di sistem pembuangan mesin, Mas.

Interviewer:

Selain teknologi *exhaust gas recirculation*, apakah ada teknologi yang lain Pak untuk mereduksi emisi gas buang mobil bensin dan mobil diesel produksi Daihatsu?

Interviewee:

Ada, satu lagi Mas! Namanya teknologi *positive crankcase ventilation* (PCV) yang biasanya dipasang pada tutup kepala silinder mobil bensin maupun mobil diesel.

Interviewer:

Apa Pak fungsi dari *positive crankcase ventilation* (PCV) itu sendiri?

Interviewee:

PCV adalah teknologi reduksi emisi CO dan HC yang dipasang pada tutup kepala silinder baik mobil bensin maupun mobil diesel untuk mencegah mengalirnya *blow by gas* ke udara luar, Mas.

Interviewer:

Kalau berbicara tentang tingkat kebisingan (*noise level*) Pak Aidil, teknologi apa yang biasa dipakai oleh mobil Daihatsu agar memenuhi ambang batas kebisingan yang telah ditetapkan oleh pemerintah?

Interviewee:

Semua mobil produksi Daihatsu telah dilengkapi dengan teknologi *eco-muffler* Mas untuk menghasilkan tingkat kebisingan yang memenuhi ambang batas (baku mutu).

Interviewer:

Eco-muffler itu sendiri apa ya Pak Aidil?

Interviewee:

Eco-muffler merupakan peralatan kontrol tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh knalpot kendaraan bermotor. Penggunaan *eco-muffler* jenis *two pass tube type muffler* hampir di semua produk mobil Daihatsu, seperti Xenia, Terios, Sigra, dan Ayla.

Interviewer:

Bahan pembuatan *eco-muffler* itu sendiri apa ya Pak Aidil?

Interviewee:

Biasanya bahan *eco-muffler* terbuat dari plat *galvanis* dan plat *stainless steel* dengan tebal 1-2 mm, Mas.

Interviewer:

Berapa Pak kisaran harga *eco-muffler* produksi Daihatsu?

Interviewee:

Harga *eco-muffler* produk Daihatsu berkisar antara Rp. 1.750.000-Rp. 2.000.000, Mas.

Interviewer:

Kalau tentang limbah saringan oli mesin bekas Pak Aidil, apa yang dilakukan oleh bengkel Astra Daihatsu Waru untuk menanggulangi limbah oli dari saringan oli mesin bekas tersebut?

Interviewee:

Wah, kita punya *treatment*-nya Mas. Ayo kita ke sana. Di Astra Daihatsu Waru ini, kita memiliki teknologi *oil filter cleaner*. Ini alatnya.

Interviewer:

Fungsi *oil filter cleaner* ini apa ya Pak dan bagaimana cara kerjanya?

Interviewee:

Oil filter cleaner adalah pembersih filter oli bekas agar tidak mencemari tanah dan air. Untuk mengoperasikan *oil filter cleaner* ini diperlukan suhu 80-85°C, tekanan air 0,5-1 kg/cm², dan waktu pembersihan antara 10-20 menit, Mas.

Interviewer:

Kalau bahan pembuatan *oil filter cleaner* ini apa saja ya Pak Aidil?

Interviewee:

Oil filter cleaner ini terbuat dari besi kotak dan plat besi untuk bagian rangkanya. Kemudian wadah air dan wadah limbah menggunakan bahan *acrylic* seperti ini. *Oil filter cleaner* ini juga dilengkapi dengan 3 nozzle penyemprot dan menggunakan *heater* 1000 Watt untuk memanaskan air pembersih filter oli bekas.

Interviewer:

Kalau tentang harga, berapa ya Pak Aidil biaya yang dikeluarkan untuk membeli teknologi *oil filter cleaner* ini?

Interviewee:

Harga *oil filter cleaner* ini di pasaran sekitar Rp. 10.000.000, Mas. Agak mahal sih, tapi kalau untuk memenuhi sebagian persyaratan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) dan ISO 14001 tentang *Environmental Management System* ya wajib kita beli karena untuk mengurangi pencemaran tanah dan air akibat limbah oli yang kita hasilkan. Gitu, Mas!

Interviewer:

Oh ya Pak Aidil! Sarana ramah lingkungan apa lagi yang dimiliki oleh Astra Daihatsu Waru?

Interviewee:

Gini, Mas. Semua *unit stall*, kita pasang *exhauster*. Mas warju bisa melihat semua *unit stall* yang ada di sini. Contohnya ini dan lihat semua *unit stall* di sana itu.

Interviewer:

Fungsi *exhauster* itu sendiri untuk apa ya Pak Aidil?

Interviewee:

Exhauster adalah cerobong yang digunakan untuk mengalirkan asap gas buang dari knalpot menuju lingkungan sekitar, Mas. Sekaligus kalau untuk proses *tune up* mesin agar tidak menimbulkan kebisingan saat mesin dilakukan akselerasi.

Interviewer:

Pak Aidil, kalau tentang air limbah di bengkel Astra Daihatsu Waru ini, apakah selama ini ada perlakuan khusus terhadap air limbah tersebut?

Interviewee:

Oh kalau tentang itu, wajib ada, Mas. Ayo saya anter ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di pojok sana.

Interviewer:

Apa Pak fungsi utama dari IPAL ini dan apa saja material yang digunakan untuk membuatnya?

Interviewee:

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah alat yang digunakan untuk mengolah air limbah (*waste water*) menjadi air bersih sehingga tidak mencemari lingkungan. Di dalam IPAL ini terdapat sejumlah material seperti arang, batu koral, tawas, pasir, batu zeolit, dan ijuk, Mas. Arang berfungsi sebagai penyerap partikel halus, bau, dan warna pada air. Batu koral berfungsi sebagai penyaring dan membantu aerasi oksigen. Tawas berfungsi untuk memperbesar ukuran partikel lumpur dan partikel lain yang melayang di air sehingga dapat diendapkan. Pasir berfungsi untuk menahan endapan lumpur. Batu zeolit berfungsi untuk menurunkan kandungan logam besi, mangan, seng, dan timbal yang terdapat dalam air. Sedangkan ijuk berfungsi untuk menyaring partikel yang lolos dari lapisan penyaring sebelumnya dan meratakan aliran air. Jadi, dengan IPAL ini, air limbah bisa menjadi air bersih mas sehingga menjadi ramah lingkungan.

Interviewer:

Selain IPAL ini, ada lagi gak pak sarana ramah lingkungan di Astra Daihatsu Waru?

Interviewee:

Kita juga punya tempat sampah terpisah dan mesin perajang sampah, Mas. Tempatnya di pojok bengkel sana. Ayo saya anter ke sana untuk melihatnya!

Interviewer:

Monggo, pak! Apa pak fungsi tempat sampah terpisah ini?

Interviewer:

Tempat sampah terpisah ini digunakan untuk memisahkan sampah baik sampah daun, sampah kertas, sampah plastik, maupun limbah logam seperti filter oli bekas ini. Di bengkel ini, wajib memilah sampah, Mas.

Interviewer:

Kalau fungsi dari mesin perajang sampah ini untuk apa ya Pak?

Interviewee:

Mesin perajang sampah ini adalah alat yang digunakan untuk menghancurkan sampah organik untuk dibuat menjadi pupuk kompos, Mas. *Lha* ini contoh hasil perajangan sampah daunnya. Dengan menggunakan starter EM4 ini, nanti akan dihasilkan pupuk kompos seperti kemasan ini, Mas.

Interviewer:

Wah....Banyak sekali ya Pak Aidil, sarana ramah lingkungan di bengkel Astra Daihatsu Waru ini?

Interviewee:

Alhamdulillah, Mas. Kami sangat terbantu dengan adanya *Department of Health, Safety and Environment* yang selalu berinovasi dalam menciptakan teknologi ramah lingkungan di bengkel ini.

Interviewer:

Masih adakah sarana ramah lingkungan yang dimiliki oleh Astra Daihatsu Waru, Pak?

Interviewee:

Sudah semua kayaknya, Mas Warju!

Interviewer:

Baik Pak Aidil. Terima kasih banyak atas waktu dan informasinya. Mohon maaf ya Pak menyita waktu istirahat Bapak.

Interviewee:

Wah, gak apa-apa, Mas! Monggo kalau kurang data atau butuh apa saja kontak lagi saya saja. Jangan sungkan-sungkan *lho* Mas!.

Interviewer:

Oh injih Bapak, siap!

Interviewer:

Saya tak balik dulu ke kampus ya Pak. Matur nuwun. Assalaamu'alaikum!

Interviewee:

Wa'alaikumsalam, Mas! Hati-hati, Mas!

Interviewer:

Iya, Pak! Matur nuwun.

Mengetahui,
Interviewee
Astra Dajhatsu Waru


Aidil F. B. Swastomo

Sidoarjo, 22 Juli 2016

Interviewer,



Warju

Lampiran 6

LEMBAR SURVEY SARANA RAMAH LINGKUNGAN DI DUNIA USAHA/DUNIA INDUSTRI

Nama DU/DI : PT. Murni Berlian Motors (Mitsubishi)
 Alamat : Jl. Dimas 72, Surabaya Jawa Timur 60172
 No. Telp. : (031) 5345705
 Nama Departemen : Health, Safety and Environment (HSE)
 Hari, Tanggal Survey : Sabtu, 30 Juli 2016

PETUNJUK:

- Berilah tanda centang [√] atau silang [X] pada kolom ketersediaan sarana ramah lingkungan pada tabel 1 di bawah ini berdasarkan hasil survey di DU/DI!
- Berilah catatan lapangan (*field note*) tentang fungsi sarana ramah lingkungan berdasarkan hasil survey di DU/DI!
- Lakukan pengamatan tentang perlakuan terhadap saringan oli (*oil filter*) bekas yang dilakukan oleh DU/DI selama ini!
- Lakukan pengujian tingkat kebisingan di bengkel otomotif DU/DI yang disurvei!

Tabel 1. Ketersediaan Sarana Ramah Lingkungan di DU/DI

| No | Jenis Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan | PT. Murni Berlian Motors (Mitsubishi) |
|----|---|---------------------------------------|
| 1 | Catalytic Converter | ✓ |
| 2 | Diesel Particulate Filter (DPF) | ✓ |
| 3 | Positive Crankcase Ventilation (PCV) | ✓ |
| 4 | Exhaust Gas Recirculation (EGR) | ✓ |
| 5 | Eco-Muffler | ✓ |
| 6 | Oil Filter Cleaner | X |
| 7 | Exhauster | ✓ |
| 8 | Mesin Perajang Sampah | ✓ |
| 9 | Tempat Sampah Terpisah | ✓ |
| 10 | Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) | ✓ |

Catatan Lapangan (*Field Note*):

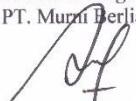
1. Catalytic Converter adalah teknologi yg digunakan u/ mereduksi
 emisi gas buang mobil atau sepeda motor seperti emisi CO, HC,
 dan NOx. Ada kamarkas kendaraan Mitsubishi yg telah menggunakan
 teknologi ini. Di kendaraan adalah buktinya. Ada juga, dan yg
 Parkas, Exhauster. Umumnya bahan Catalytic Converter terbuat

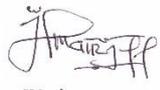
.... dari ceramic, berbagai logam, mulia, seperti Platinum (Pt)
 dan Rhodium (Rh). Keserasan harganya sekitar Rp. 14.000.000 -
 2. Diesel Particulate Filter merupakan teknologi emission yg.
 digunakan 4% untuk mengurangi gas buang pada mobil diesel.
 Kinerjanya mitabishi yg. banyak dikenal teknologi diesel...
 Particulate filter ini adalah mitabishi, porsche, mitabishi
 filter, dan berbagai Ford, Fiat, Saab, Yamaha, Nissan
 Diesel Particulate Filter, kirkat, dan Yamaha, Honda, berbagai
 logam mulia, seperti Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh)...
 Keserasan harga Rp. 50. Mitabishi, sekitar Rp. 14.000.000 -
 3. Resikiva, Recircast Ventilation (RCV) adalah teknologi emission
 yg. mencegah menghirup gas buang, gas (campuran udara dan
 bahan bakar, yg. bersih), ke udara luar...
 4. Exhaust Gas Recirculation (EGR) adalah teknologi emission
 yg. dipakai pada exhaust manifold mobil bensin dan mobil
 diesel yg. berfungsi 4% untuk mengurangi NOx...
 5. EGR muffler merupakan teknologi emission yg. digunakan 4%
 untuk mengurangi kebisingan pada knalpot kendaraan bermotor
 dgn cara menurunkan tekanan dan temperatur gas buang
 Kinerjanya mitabishi yg. banyak dikenal teknologi EGR muffler
 ini adalah mitabishi, porsche, kirkat, mitabishi, strada, dan
 mitabishi, Ford, Fiat, Saab, dan mobil mobil yg. lain...
 Ada beberapa jenis EGR muffler yg. digunakan seperti
 Straight through type muffler, low pressure muffler, baffle
 type muffler, thru pass tube type muffler, dan offset tube
 type muffler. Yamaha, Nissan, EGR muffler, kirkat, dan
 Plat, golconda, dan Plat, strada, strada, keserasan harga
 EGR muffler di Mitabishi sekitar Rp. 1.700.000 - Rp.
 2.500.000...
 6. Di bentuk mitabishi, belum memiliki teknologi 4% untuk
 limbah oli dan zat-zat lainnya keatas...
 7. Exhaustor adalah alat yg. digunakan 4% untuk mengurangi jumlah gas
 buang dan knalpot mobil mengurangi kebisingan sekitar...
 8. Tempat sampah terpasang digunakan 4% untuk mengurangi sampah,
 baik sampah organik maupun anorganik, termasuk...
 sampah / limbah logam, seperti filter oli, plastik...
 9. Infeksi Penyaliban Air Limbah (IPAL) adalah alat yg.
 digunakan 4% untuk masalah air yg. kotor menjadi air bersih...
 IPAL ini ada beberapa jenis, yaitu, bawah tanah, dan
 batu kerat, batu esek 4% untuk mengurangi kadar amoniak
 dalam air, buangan air, 4% untuk mengurangi partikel yg. lolos
 dari lapisan pengering, eklymaga, dan mengurangi aliran air
 yang mengalir, ukuran partikel lumpur dan partikel lain
 yg. mengalir, di air, dan cepat, dan cepat, PSC 4% untuk
 mengurangi lumpur, Air, sky, dan cepat, partikel halus, dan

Warna pda air... Sedangkan batu karal berfungsi sbg pnting... dan membatu... efisiensi oksigen...
10. Mesin pda jang... Sampah... diolah... alat... digunakan...
menghasilkan... sampah... organik... seperti... sampah...
dan... dikuk... menjadi... pupuk... kompos...

Dari hasil observasi... Limbah... minyak... oli... mesin... bekas (used oil filter)... di P.T. Murni Berlian Motors (Mitsubishi) terlihat bahwa... oli... bekas... tsb... hntk... dilakukan... (treatment) untuk... sebelum... dikavng... ke... tempat... sampah... Sedangkan oli... mesin... bekas... tsb... hanya... dikavng... di... tempat... (bongk...)
Pompa... oli... bekas... agar... limbah... oli... mentes... pada... tsng... Selama... ketika... hari... sebelum... sedangkan... oli... mesin... bekas... tsb... dikavng... ke... tempat... sampah...

Dari hasil survey... tingkat... kebisingan... di... bongk... P.T. Murni Berlian Motors (Mitsubishi) dan... menyajikan... alat... Sound level meter (SLM)... diketahui... bahwa... tingkat... kebisingan... di... bongk... ini... sekitar... 85... dB(A)... sehingga... memenuhi... ambang... batas... kebisingan... di... tempat... kerja... (batas... maksimal... 85... dB(A))...

Mengetahui,
Branch Manager
PT. Murni Berlian Motors (Mitsubishi)

Sudarsono, S.E., M.M.

Surabaya, 30 Juli 2016
Surveyor,

Warju

Lampiran 6

SKRIP HASIL WAWANCARA TENTANG SARANA RAMAH LINGKUNGAN DI PT. MURNI BERLIAN MOTORS (MITSUBISHI)

Nama *Interviewee* : Sudarsono, S.E., M.M.
Nama DU/DI : PT. Murni Berlian Motors (Mitsubishi)
Alamat : Jl. Demak 72, Surabaya, Jawa Timur 60172
Jabatan : *Branch Manager*
Hari, Tanggal : Sabtu, 30 Juli 2016
Waktu : 15.00 – 16.30 WIB

Interviewer:

Assalaamu'alaikum, Pak Dar! Selamat Sore!

Interviewee:

Wa'alaikumsalam, Mas Warju! Sore, Mas!

Interviewer:

Apa kabar, Pak Dar!

Interviewee:

Alhamdulillah, baik Mas Warju. Apa kabar juga? Denger-denger lagi kuliah lagi ya sekarang?

Interviewer:

Alhamdulillah, baik juga Pak Dar. Iya Pak, sedang ambil S3 di UNY sekarang.

Interviewee:

Oh gitu! Monggo Mas, duduk dulu.

Interviewer:

Oh iya Pak Dar. Matur nuwun.

Interviewee:

Gimana, Mas?

Interviewer:

Pak Dar, mohon maaf mengganggu jam kerjanya sebentar ya. Maksud kedatangan saya tadi ke sini ingin mohon ijin kepada Bapak untuk survey sarana ramah lingkungan yang ada di bengkel Mitsubishi untuk keperluan penelitian disertasi S3 saya seperti yang telah saya sampaikan waktu telepon kemarin itu. Apa bisa dibantu ya Pak?

Interviewee:

Monggo Mas! Penelitiannya tentang apa ya Mas Warju?

Interviewer:

Pengembangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK, Pak. Fokus lebih banyak pada pengembangan sarana pendukung ramah lingkungan di SMK, Pak. Untuk mendukung sekolah adiwiyata (*green school*) di SMK, Pak.

Interviewee:

Oh gitu ya, Mas! Apa yang bisa dibantu nih?

Interviewer:

Mohon ijin ya Pak Dar untuk observasi sarana ramah lingkungan yang ada di bengkel Mitsubishi ini sambil nanti saya tanya-tanya ke Bapak detailnya. Bisa nggih Pak?

Interviewee:

Oh gitu.....Monggo, Mas! Kalau mau lihat-lihat kondisi bengkel, mari saya anter keliling!

Interviewer:

Inggih.....Monggo, Pak!

Interviewer:

Oh ya Pak Dar! Produk mobil keluaran Mitsubishi seperti yang ada di bengkel ini agar bisa ramah lingkungan apa saja ya pak teknologinya?

Interviewee:

Semua produk mobil Mitsubishi untuk yang tipe bensin, pasti sudah dilengkapi dengan teknologi *electronic fuel injection* (EFI) Mas agar ramah lingkungan. Selain itu, semua mesin telah dilengkapi dengan pengaturan katup variabel. Istimalahnya kalau di Mitsubishi disebut dengan *Mitsubishi Innovative Valve Electronic Control* atau MIVEC, Mas. Selain itu, semua produk mobil Mitsubishi juga sudah dilengkapi dengan teknologi *catalytic converter* Mas di knalpotnya.

Interviewer:

Fungsi *catalytic converter* itu sendiri untuk apa ya Pak Dar?

Interviewee:

Catalytic converter adalah teknologi yang digunakan untuk mereduksi emisi gas buang mobil atau sepeda motor seperti emisi CO, HC, dan NOx. Ada banyak kendaraan Mitsubishi yang telah menggunakan teknologi ini. Diantaranya adalah Outlander, Mirage, dan yang terbaru Expander, Mas. Udah punya belum mobilnya?

Interviewer:

Haaaa....belum Pak Dar. Kepengen sih sebenarnya yang Expander itu.

Interviewer:

Kalau bahan *catalytic converter* yang digunakan di Mitsubishi selama ini apa ya Pak Dar?

Interviewee:

Umumnya bahan *catalytic converter* terbuat dari ceramic berlapis logam mulia seperti Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh), Mas.

Interviewer:

Pak Dar, harga rata-rata *catalytic converter* yang dipasang pada mobil Mitsubishi itu berapa ya Pak?

Interviewee:

Kisaran harganya sekitar Rp. 14.850.000, Mas.

Interviewer:

Wah.....Mahal juga ya Pak ternyata.

Interviewee:

Oh iya Mas karena berlapis logam mulia, makanya jadinya mahal.

Interviewer:

Kalau untuk mobil diesel produksi Mitsubishi, teknologinya apa saja ya Pak Dar agar tetap bisa ramah lingkungan? Biasanya kan mobil diesel selalu beasap hitam pada knalpotnya.

Interviewee:

Mobil diesel produksi Mitsubishi yang terbaru sudah dilengkapi dengan teknologi *common-rail system*, Mas. Tekanan injeksinya sampai 180-200 Mega Pascal yang menggantikan teknologi konvensional seperti teknologi *inline pump* dan *rotary pump*. Dengan tekanan injeksi sebesar ini, menjadikan mobil diesel Mitsubishi tak ada tandingannya dibandingkan dengan produk kompetitor. Misalnya, Toyota yang hanya menghasilkan tekanan injeksi sampai 160 Mega Pascal. Lalu, mobil diesel produksi Mitsubishi juga telah berteknologi *diesel particulate filter* di knalpotnya, Mas. Makanya tidak berasap lagi sekarang.

Interviewer:

Oh gitu ya! Kalau fungsi dari teknologi *diesel particulate filter* itu sendiri untuk apa ya Pak Dar?

Interviewee:

Diesel particulate filter merupakan teknologi otomotif yang digunakan untuk mereduksi opasitas gas buang pada mobil diesel. Kendaraan Mitsubishi yang menggunakan teknologi *diesel particulate filter* ini adalah Mitsubishi Pajero Sport, Mitsubishi Strada, dan Mitsubishi Fuso Eco-Canter, Mas.

Interviewer:

Kalau bahan pembuatan *diesel particulate filter* itu sendiri apa ya Pak Dar? Mobil diesel Mitsubishi sekarang kok sudah tidak berasap lagi.

Interviewee:

Umumnya bahan *diesel particulate filter* terbuat dari alumina-silica yang juga berlapis logam mulia Mas seperti Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh).

Interviewer:

Kalau harga teknologi *diesel particulate filter* itu sendiri saat ini berapa ya Pak Dar?

Interviewee:

Kisaran harganya kalau di Mitsubishi sekitar Rp. 14.850.000, Mas. Ya...mirip-mirip lah dengan harga teknologi *catalytic converter* untuk mobil bensin.

Interviewer:

Selain teknologi *catalytic converter* dan *diesel particulate filter*, apa lagi ya Pak Dar teknologi otomotif ramah lingkungan pada mobil Mitsubishi?

Interviewee:

Di Mitsubishi ada juga teknologi *positive crankcase ventilation* (PCV), Mas Warju.

Interviewer:

Apa Pak Dar fungsi dari PCV itu sendiri di Mitsubishi?

Interviewee:

Positive crankcase ventilation (PCV) adalah teknologi otomotif untuk mencegah mengalirnya *blow by gas* (campuran udara dan bahan bakar yang bocor) ke udara luar, Mas. Posisi PCV biasanya dipasang di tutup kepala silinder semua mobil produksi Mitsubishi.

Interviewer:

Selain teknologi PCV, apakah ada teknologi yang lain ya Pak Dar untuk mereduksi emisi gas buang pada mobil bensin dan mobil diesel produksi Mitsubishi?

Interviewee:

Ada, satu lagi Mas Warju! Namanya teknologi *exhaust gas recirculation* (EGR).

Interviewer:

Kalau teknologi *exhaust gas recirculation* itu sendiri apa ya Pak Dar fungsinya?

Interviewee:

Exhaust gas recirculation (EGR) adalah teknologi otomotif yang dipasang pada *exhaust manifold* mobil bensin dan mobil diesel yang berfungsi untuk mereduksi emisi NOx, Mas.

Interviewer:

Berbicara tentang tingkat kebisingan Pak Dar, teknologi apa yang biasa dipakai oleh mobil produksi Mitsubishi agar memenuhi ambang batas kebisingan Pak?

Interviewee:

Jangan khawatir, Mas. Semua mobil produksi Mitsubishi pasti telah menggunakan teknologi *eco-muffler* Mas untuk menghasilkan tingkat kebisingan yang rendah.

Interviewer:

Eco-muffler itu sendiri apa ya Pak Dar?

Interviewee:

Eco-muffler merupakan teknologi otomotif yang digunakan untuk mereduksi tingkat kebisingan pada knalpot kendaraan bermotor dengan cara menurunkan tekanan dan temperatur gas buang. Kendaraan Mitsubishi yang menggunakan teknologi *eco-muffler* ini adalah Mitsubishi Pajero Sport, Mitsubishi Strada, dan Mitsubishi Fuso *eco-canter*, dan mobil-mobil yang lain. Ada beberapa jenis *eco-muffler* yang digunakan, seperti *straight-through type muffler*, *louvre type muffler*, *baffle type muffler*, *three pass tube type muffler*, dan *off-set tube type muffler*, Mas.

Interviewer:

Kalau bahan pembuatan *eco-muffler* itu sendiri apa ya Pak Dar?

Interviewee:

Umumnya bahan *eco-muffler* terbuat dari plat *galvanis* atau plat *stainless steel*, Mas.

Interviewer:

Kalau tentang harga Pak Dar, berapa kisaran harga *eco-muffler* produksi Mitsubishi saat ini?

Interviewee:

Kisaran harga *eco-muffler* kalau di Mitsubishi sekitar Rp. 1.750.000-Rp. 2.500.000, Mas. Tergantung jenis *eco-muffler* yang digunakan.

Interviewer:

Kalau tentang limbah saringan oli mesin bekas Pak Dar. Apakah saringan oli mesin bekas tersebut dilakukan *treatment* terlebih dahulu di bengkel Mitsubishi ini untuk mereduksi limbah oli dari saringan oli mesin bekas tersebut selama ini?

Interviewee:

Di bengkel Mitsubishi ini kita belum memiliki teknologi untuk mereduksi limbah oli dari saringan oli mesin bekas tersebut, Mas. Selama ini, ketika mobil *customer* dilakukan penggantian oli mesin dan filter oli, maka filter oli bekas tersebut kita taruh dengan posisi terbalik begitu saja di atas tong limbah oli untuk beberapa hari sehingga limbah oli dari filter oli bekas tersebut dapat menetes dan mengalir ke tong begitu saja, Mas. Mari kita lihat ke sana....ke tempat penyimpanan limbah oli.

Interviewer:

Oh, monggo Pak Dar!

Interviewee:

Ya seperti ini kondisinya, Mas. Filter oli bekas ditaruh dengan posisi terbalik di atas tong sehingga limbah oli bisa menetes dan mengalir ke tong penampung limbah oli di bawahnya ini.

Interviewer:

Oh iya Pak....belum ada *treatment* ya Pak berarti selama ini?

Interviewee:

Iya, belum Mas Warju.

Interviewer:

Ada lagi Pak Dar, sarana ramah lingkungan yang dimiliki oleh bengkel Mitsubishi ini?

Interviewee:

Oh, ada Mas. Semua *unit stall*, telah kita pasang *exhauster*, Mas. *Lha*, ini kamu bisa lihat

Interviewer:

Apa Pak Dar, fungsi dari *exhauster* ini?

Interviewee:

Exhauster adalah alat yang digunakan untuk menyalurkan emisi gas buang dari knalpot mobil menuju lingkungan sekitar, Mas. Jalurnya melalui pipa-pipa yang di atas itu, *lho!*

Interviewer:

Oh ya Pak Dar, ada berapa jenis sampah yang dipilah di bengkel Mitsubishi ini?

Interviewee:

Totalnya ada 4 jenis sampah yang kita pilah Mas, yaitu sampah daun, sampah plastik, sampah kertas, dan sampah/limbah logam. Caranya dengan menggunakan tempat sampah terpisah.

Interviewer:

Apa pak fungsi dari tempat sampah terpisah itu?

Interviewee:

Tempat sampah terpisah digunakan untuk memisahkan sampah, baik sampah organik maupun anorganik, termasuk sampah/limbah logam seperti filter oli bekas tadi. Ayo kita lihat tempat sampah terpisahnya di ujung sana Mas! Dekat dengan ruangan limbah oli tadi.

Interviewer:

Monggo Pak Dar!

Interviewer:

Kalau tentang air limbah di bengkel Mitsubishi ini Pak Dar. Adakah ada perlakuan khusus juga?

Interviewee:

Iya, ada *treatment*-nya, Mas. Monggo kita lihat teknologi IPAL-nya di pojok sana itu.

Interviewer:

Monggo, Pak!

Interviewee:

Nah...ini dia IPAL-nya.

Interviewer:

Apa Pak fungsi IPAL ini dan apa saja material yang digunakan untuk membuat IPAL ini?

Interviewee:

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah alat yang digunakan untuk mengolah *grey water* menjadi air bersih, Mas. Terdapat sejumlah bahan/material yang digunakan untuk membuat IPAL ini, Mas. Ada batu zeolit, ijuk, tawas, pasir, arang, dan batu koral. Batu zeolit untuk menurunkan kadar amoniak dalam air buangan. Ijuk untuk menyaring partikel yang lolos dari lapisan penyaring sebelumnya dan meratakan aliran air. Tawas untuk memperbesar ukuran partikel lumpur dan partikel lain yang melayang di air sehingga dapat diendapkan. Pasir untuk menahan endapan lumpur. Arang sebagai penyerap partikel halus, bau, dan warna pada air. Sedangkan batu koral berfungsi sebagai penyaring dan membantu aerasi oksigen. Agak ribet sih waktu buat IPAL-nya saat itu.

Interviewer:

Banyak sekali ya Pak material dalam pembuatan IPAL-nya? Berapa lama Pak buatnya?

Interviewee:

Butuh waktu sekitar sebulan Mas, sampai benar-benar IPAL ini berfungsi dengan baik. Alhamdulillah, persoalan limbah air saat ini sudah bisa teratasi.

Interviewer:

Oh ya Pak, kalau yang itu, mesin apa ya Pak?

Interviewee:

Itu mesin perajang sampah, Mas. Ayo kita lihat ke sana!

Interviewer:

Baik...Monggo Pak! Apa Pak fungsi dari mesin perajang sampah ini?

Interviewee:

Mesin perajang sampah adalah alat yang digunakan untuk menghancurkan sampah organik seperti sampah daun yang akan dibuat menjadi pupuk kompos, Mas. Dengan menggunakan starter EM4 seperti ini, nanti akan dihasilkan pupuk kompos seperti ini, Mas.

Interviewer:

Wah...bengkelnya ramah lingkungan ya Pak Dar?

Interviewee:

Iya, Mas. Kan harus memenuhi persyaratan AMDAL dan ISO 14001 tentang Sistem Manajemen Lingkungan ya kalau di industri itu.

Interviewer:

Pak Dar, adakah sarana ramah lingkungan yang lain yang dimiliki oleh bengkel Mitsubishi ini?

Interviewee:

Sudah gak ada, Mas. Semua sudah saya tunjukkan dan saya jelasin tadi ya.

Interviewer:

Baik Pak Dar. Matur nuwun waktu dan informasinya. Mohon maaf mengganggu waktu jam kerja Bapak.

Interviewee:

Oh gak apa-apa, Mas Warju. Kapan jadwal siaran di Prima Radio?

Interviewer:

Wah...saya belum ada panggilan dari Pak Sonny atau Mas Sendy, Pak. Bapak sendiri kapan?

Interviewee:

Saya kebagian Jum'at minggu besok, Mas. Topiknya tentang mobil diesel.

Interviewer:

Oh gitu! Semoga lancar dan sukses acara *talkshow*-nya ya Pak Dar. Saya pamitan pulang dulu nggih, Pak. Assalaamu'alaikum!

Interviewee:

Wa'alaikumsalam. Hati-hati di jalan, Mas Warju!

Interviewer:

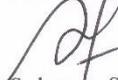
Iya, Pak Dar! Matur nuwun.

Surabaya, 30 Juli 2016

Mengetahui,

Interviewee

PT. Murni Perlian Motors (Mitsubishi)



Sudarsono, S.E., M.M.

Interviewer,



Warju

Lampiran 6

LEMBAR SURVEY SARANA RAMAH LINGKUNGAN DI DUNIA USAHA/DUNIA INDUSTRI

Nama DU/DI : Astra Peugeot HR. Muhammad
 Alamat : Jl. Pahlawan Suka Manunggal, Surabaya
 Jawa Timur, Kode Pos 60189
 No. Telp. : (031) 991.93008
 Nama Departemen : Environment, Health, and Safety (EHS)
 Hari, Tanggal Survey : Sabtu, 13 Agustus 2016

PETUNJUK:

- Berilah tanda centang [√] atau silang [X] pada kolom ketersediaan sarana ramah lingkungan pada tabel 1 di bawah ini berdasarkan hasil survey di DU/DI!
- Berilah catatan lapangan (*field note*) tentang fungsi sarana ramah lingkungan berdasarkan hasil survey di DU/DI!
- Lakukan pengamatan tentang perlakuan terhadap saringan oli (*oil filter*) bekas yang dilakukan oleh DU/DI selama ini!
- Lakukan pengujian tingkat kebisingan di bengkel otomotif DU/DI yang disurvei!

Tabel 1. Ketersediaan Sarana Ramah Lingkungan di DU/DI

| No | Jenis Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan | Astra Peugeot HR Muhammad |
|----|---|---------------------------|
| 1 | Catalytic Converter | ✓ |
| 2 | Diesel Particulate Filter (DPF) | ✓ |
| 3 | Positive Crankcase Ventilation (PCV) | ✓ |
| 4 | Exhaust Gas Recirculation (EGR) | ✓ |
| 5 | Eco-Muffler | ✓ |
| 6 | Oil Filter Cleaner | X |
| 7 | Exhauster | ✓ |
| 8 | Mesin Perajang Sampah | X |
| 9 | Tempat Sampah Terpisah | ✓ |
| 10 | Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) | ✓ |

Catatan Lapangan (*Field Note*):

1. Selektive Catalytic Reduction atau catalytic converter adalah teknologi reaksi kimia yg membantu pengurangan / mengurangi emisi gas buang mobil bensin. Di antara produk mobil Peugeot

1. yg menggunakan teknologi selective catalytic reduction adalah Peugeot 206, 207, 208, E.T.I, 3008, 306, 307, 308, 406, 407, dan yg terbaru Peugeot R.C.T. SCR biasanya terbuat dari ceramic, keramik, platinum dan rhodium. kisaran harga SCR sekitar Rp. 14.850.000.
2. PPF adalah teknologi reduksi emisi yg umumnya digunakan untuk mengurangi emisi partikulat mobil diesel. Model Peugeot yg menggunakan teknologi PPF ini adalah Peugeot 206, Peugeot 306, dan yg terbaru Peugeot 508. Pembuat PPF biasanya terbuat dari bahan alumina-silika berlapis platinum dan khromium. Harga partik. diesel particulate filter di Astra Peugeot sekitar Rp. 14.850.000.
3. PCV adalah katup yg berfungsi untuk mengurangi kandungan kloro ft gas ke udara luar.
4. EGR adalah katup yg dipasang pada exhaust manifold mobil bensin dan mobil diesel Peugeot yg berfungsi untuk mengurangi emisi NOx.
5. EGR muffler adalah teknologi reduksi tingkat kebisingan knalpot yg dipasang pada sistem pembuangan kendaraan bermotor. Mobil Peugeot umumnya menggunakan EGR muffler jenis reverse flow muffler. Bahan pembuatannya ada EGR muffler terbuat dari plat galvamis atau plat stainless steel. Harga partik. EGR muffler di Astra Peugeot sekitar Rp. 2.250.000 - Rp. 2.500.000.
6. Astra Peugeot KIP Muhammad belum melakukan treatment pada filter oli bekas sebelum filter oli bekas tsb dibuang ke tempat sampah.
7. Exhauster adalah alat penutup asap yg digunakan untuk mengurangi emisi gas buang dari knalpot mobil menuju ke lingkungan.
8. Tempat sampah korporel digunakan untuk memisahkan berbagai sampah baik sampah kertas, sampah plastik maupun sampah/limbah logam.
9. IPAL adalah alat yg digunakan untuk mengurangi limbah water manjad air bersih agar tidak mencemari lingkungan. Hal ini merupakan salah satu persyaratan AMDK dan IED 1991. Hal sistem manajemen lingkungan. Ada beberapa metode yg digunakan untuk membuat IPAL ini. Ada batu karat, batu zeolit, ijuk, kavas, arang, dan pasir. Batu karat berfungsi untuk mengurangi kandungan zat besi, dan sedikit untuk menurunkan kadar amoniak dalam air buangan. Ijuk untuk menurunkan partikel yg lolos dari lapisan penzering. Sebelumnya dan meratakan aliran air buangan. Tanah digunakan untuk menyerap besar ukuran partikel lumpur dan partikel lain yg melatung di air. Sg part. diendapkan. Arang digunakan sng. dan terap partikel halus, bau, dan warna pada air. Subangkan pasir untuk menahan endapan lumpur.

Dari hasil observasi K3D limbah seringan oli bekas (used oil filter) di Astra Peugeot HR Muhammad terlihat bahwa seringan oli bekas tsb. kerja endapkan perlatan (treatment) terlebih dahulu sebelum dibuang ke tempat sampah. Seringan oli mesin bekas tsb. hanya akan diantar waste (ongg) pemungut oli bekas agar limbah oli masuk pada tong. Selama keoperasi hari sebelum seringan oli mesin bekas tsb. dibuang ke tempat sampah.

Dari hasil survey tingkat kebersihan di bengkel Astra Peugeot HR Muhammad. Byn menggunakan alat Sunda kelas Meter (LKM). Diketahui bahwa tingkat kebersihan di bengkel ini sebesar 83,1. BBA shj. memenuhi standar kelas kebersihan di tempat kerja (batas maksimal 85 BBA).

Surabaya, 13 Agustus 2016

Mengetahui,
Head of Service Department
Astra Peugeot HR Muhammad


Hery Suryo

Surveyor,


Warju

Lampiran 6

SKRIP HASIL WAWANCARA TENTANG SARANA RAMAH
LINGKUNGAN DI ASTRA PEUGEOT HR MUHAMMAD

Nama *Interviewee* : Hery Suryo
Nama DU/DI : Astra Peugeot HR Muhammad
Alamat : Jl. Putat Gede, Suko Manunggal, Surabaya, Jawa Timur
Jabatan : *Head of Service Department*
Hari, Tanggal : Sabtu, 13 Agustus 2016
Waktu : 08.30 – 10.00 WIB



Interviewer:

Assalaamu'alaikum, Pak Hery! Selamat Pagi, Pak!

Interviewee:

Wa'alaikumsalam, Mas Warju! Selamat Pagi! Monggo duduk dulu, Mas!

Interviewer:

Iya, Pak. Matur nuwun. Apa kabar, Pak Hery!

Interviewee:

Alhamdulillah, baik Mas. Gimana kabar juga, Mas? Akhirnya ke sini juga.

Interviewer:

Alhamdulillah, baik juga Pak Hery. Iya Pak, maaf belum sempat mampir kemarin-kemarin. Posisi lebih banyak di Jogjakarta soalnya sekarang.

Interviewee:

Oh iya, lagi S3 ya katanya. Kuliah dimana, Mas?

Interviewer:

Di UNY, Pak Hery. Ambil S3 PTK.

Interviewee:

Oh gitu. Gimana, Mas? Ada yang bisa saya bantu?

Interviewer:

Pak Hery, mohon maaf mengganggu jam kerjanya Bapak. Maksud kedatangan saya tadi ke sini ingin mohon ijin kepada Bapak untuk survey sarana ramah lingkungan yang ada di bengkel Astra Peugeot Pak untuk keperluan penelitian disertasi S3 saya.

Interviewee:

Oh gitu.....Boleh Mas! Penelitiannya tentang apa ya Mas? Masih tetap tentang penemuan knalpot kemarin kah?

Interviewer:

Iya, Pak! Judul penelitian saya tentang pengembangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK, Pak. Fokusnya lebih banyak pada pengembangan sarana pendukung ramah lingkungan di SMK, Pak Hery.

Interviewee:

Oh bagus itu, Mas! Lagi trend sekarang itu. Apa yang bisa dibantu, Mas?

Interviewer:

Gini Pak, saya mohon ijin untuk observasi sarana ramah lingkungan yang ada di bengkel Astra Peugeot ini sambil nanti saya tanya-tanya ke Pak Hery bisa ya?

Interviewee:

Oh gitu.....Bisa, Mas! Tapi sebentar saya tak nyelesaikan tanda tangan ini sebentar ya.

Interviewer:

Oh, inggih....Monggo Pak Hery!

Interviewee:

Sudah....Ayo Mas, saya ajak keliling bengkel dulu. Monggo!

Interviewer:

Oh...inggih Pak Hery, Monggo!

Interviewer:

Pak Hery! Produk mobil bensin keluaran Peugeot seperti yang ada di bengkel ini agar bisa ramah lingkungan apa saja ya pak teknologinya?

Interviewee:

Semua mobil bensin produk Peugeot sudah dilengkapi dengan teknologi *multi point injection* (MPI), Mas agar lulus uji emisi. Selain itu, semua produk mobil bensin Peugeot sudah dilengkapi dengan teknologi *selective catalytic reduction* (SCR) di knalpotnya, Mas. Kalau di mobil produksi Jepang, biasanya dikenal dengan istilah *catalytic converter* ya.

Interviewer:

Fungsi *selective catalytic reduction* (SCR) itu sendiri untuk apa ya Pak Hery?

Interviewee:

Selective catalytic reduction atau *catalytic converter* adalah teknologi reduksi emisi yang umumnya digunakan untuk mengurangi emisi gas buang mobil bensin. Diantara produk mobil Peugeot yang menggunakan teknologi *selective catalytic reduction* adalah Peugeot 206, 207, 208 GTI, 3008, 306, 307, 308, 406, 407, dan yang terbaru Peugeot RCZ, Mas.

Interviewer:

Bahan *selective catalytic reduction* yang digunakan di Peugeot selama ini apa ya Pak Hery?

Interviewee:

Biasanya terbuat dari ceramic berlapis Platinum dan Rhodium, Mas.

Interviewer:

Pak Hery, kalau harga rata-rata *selective catalytic reduction* yang dipasang pada mobil Peugeot itu berapa ya Pak?

Interviewee:

Kisaran harganya sekitar Rp. 14.850.000, Mas.

Interviewer:

Wah.....Mahal juga ya Pak Hery.

Interviewee:

Iya Mas karena berlapis Platinum dan Rhodium, makanya jadinya mahal.

Interviewer:

Kalau untuk mobil diesel produksi Peugeot Pak Hery, teknologinya apa saja agar tetap bisa ramah lingkungan?

Interviewee:

Mobil diesel produksi Peugeot sudah dilengkapi dengan teknologi *common-rail system*, Mas. Kemudian, mobil dieselnnya juga telah dilengkapi dengan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) di knalpotnya, Mas.

Interviewer:

Fungsi teknologi *diesel particulate filter* (DPF) itu sendiri untuk apa ya Pak Hery?

Interviewee:

DPF adalah teknologi reduksi emisi yang umumnya digunakan untuk mengurangi emisi partikulat mobil diesel, Mas. Mobil Peugeot yang menggunakan teknologi DPF ini adalah Peugeot 208, Peugeot 806, dan yang terbaru Peugeot 508, Mas.

Interviewer:

Kalau bahan pembuatan DPF itu sendiri apa ya Pak Hery?

Interviewee:

Pembuatan DPF biasanya terbuat dari bahan alumina-silica berlapis Platinum dan Rhodium, Mas.

Interviewer:

Kalau harga teknologi DPF itu sendiri saat ini berapa ya Pak Hery di Peugeot?

Interviewee:

Harga produk *diesel particulate filter* di Astra Peugeot sekitar Rp. 14.850.000, Mas.

Interviewer:

Selain teknologi *selective catalytic reduction* dan *diesel particulate filter*, apa lagi ya Pak Hery teknologi otomotif ramah lingkungan yang diusung oleh Peugeot?

Interviewee:

Semua mobil Peugeot juga dilengkapi dengan teknologi *positive crankcase ventilation* (PCV), Mas Warju.

Interviewer:

Apa Pak Hery fungsi dari teknologi PCV itu sendiri di Peugeot?

Interviewee:

PCV adalah katup yang berfungsi untuk mencegah mengalirnya *blow by gas* ke udara luar, Mas. Biasanya emisi CO dan HC yang bisa direduksi dengan menggunakan teknologi PVC ini.

Interviewer:

Selain teknologi PCV, apakah ada teknologi yang lain ya Pak Hery untuk mereduksi emisi gas buang pada mobil produksi Peugeot?

Interviewee:

Ada, Mas Warju! Nama teknologinya adalah *exhaust gas recirculation* (EGR).

Interviewer:

Kalau teknologi EGR itu sendiri apa ya Pak Hery fungsinya?

Interviewee:

EGR adalah katup yang dipasang pada *exhaust manifold* mobil bensin dan mobil diesel Peugeot yang berfungsi untuk mereduksi emisi NOx, Mas.

Interviewer:

Berbicara tentang tingkat kebisingan Pak Hery, teknologi apa yang biasa dipakai oleh mobil produksi Peugeot agar lulus uji kebisingan Pak?

Interviewee:

Oh kalau tentang *noise level*, kami punya solusinya, Mas. Semua mobil produksi Peugeot telah dilengkapi dengan teknologi *eco-muffler* Mas untuk menghasilkan tingkat kebisingan yang rendah. Ada banyak jenis teknologi *eco-muffler* Mas, seperti *louvre type muffler*, *off-set tube type muffler*, dan *three pass tube type muffler*.

Interviewer:

Eco-muffler itu sendiri apa ya Pak Hery fungsinya?

Interviewee:

Eco-muffler adalah teknologi reduksi tingkat kebisingan knalpot yang dipasang pada sistem pembuangan kendaraan bermotor. Mobil Peugeot umumnya menggunakan *eco-muffler* jenis *reverse flow muffler*, Mas.

Interviewer:

Kalau bahan pembuatan *eco-muffler* itu sendiri apa ya Pak Hery?

Interviewee:

Bahan pembuatan *eco-muffler* terbuat dari plat *galvanis* atau plat *stainless steel*, Mas.

Interviewer:

Kalau tentang harga Pak Hery, berapa kisaran harga *eco-muffler* produksi Peugeot tersebut?

Interviewee:

Harga produk *eco-muffler* di Astra Peugeot sekitar Rp. 2.250.000-Rp. 2.500.000, Mas.

Interviewer:

Berbicara tentang limbah saringan oli mesin bekas Pak Hery. Apakah filter oli bekas di bengkel Astra Peugeot ini dilakukan *treatment* terlebih dahulu Pak sebelum dibuang ke tempat sampah selama ini?

Interviewee:

Ayo kita ke sana saja, Mas! Ke ruang limbah oli. Di bengkel Peugeot ini kita belum memiliki teknologi untuk mereduksi limbah oli dari filter oli bekas ini, Mas. Selama ini sih, filter oli bekas ini kita taruh dengan posisi terbalik begitu saja di atas tong limbah oli ini selama beberapa hari sehingga limbah oli dari filter oli bekas tersebut dapat mengalir ke tong ini saja, Mas. Jadi, kesimpulannya kita belum melakukan *treatment* pada filter oli bekas ini sebelum filter oli bekas ini kita buang ke tempat sampah.

Interviewer:

Oh, gitu ya Pak Hery!

Interviewee:

Iya kayak ini, Mas. Filter oli bekas ditaruh di atas tong sehingga sisa oli dari filter oli bekas ini dapat mengalir ke tong penampung limbah oli di bawahnya.

Interviewer:

Ada lagi gak Pak Hery, sarana ramah lingkungan yang dimiliki oleh bengkel Peugeot ini?

Interviewee:

Ada Mas. Semua *unit stall*, kita pasang *exhauster*. Ini, contoh *exhauster*-nya. Di sana bisa dilihat juga.

Interviewer:

Apa Pak Hery, fungsi dari *exhauster* ini?

Interviewee:

Exhauster adalah alat penyalur asap yang digunakan untuk menyalurkan emisi gas buang dari knalpot mobil menuju ke lingkungan, Mas. Pipa-pipa yang di atas itu, nyambung dengan cerobong asap ini. Jadi, bengkel kita ramah lingkungan dan rendah kebisingan, Mas.

Interviewer:

Pak Hery, ada berapa jenis sampah yang dipilah di bengkel Peugeot ini?

Interviewee:

Ada 3 jenis sampah Mas, yaitu sampah kertas, sampah plastik, dan sampah logam. Filter oli bekas tadi kita masukkan ke sampah/limbah logam. Jadi, kita punya tiga tempat sampah terpisah.

Interviewer:

Apa itu pak fungsi dari tempat sampah terpisah?

Interviewee:

Tempat sampah terpisah ya digunakan untuk memisahkan berbagai sampah tadi, baik sampah kertas, sampah plastik, maupun sampah/limbah logam. Monggo kita lihat saja tempat sampah terpisahnya di pojok sana, Mas.

Interviewer:

Monggo Pak Hery!

Interviewee:

Lha...ini tempat sampah terpisahnya. Ini buktinya....filter oli bekas masuk sampah/limbah logam.

Interviewer:

Oh, iya.

Interviewer:

Berbicara tentang air limbah di bengkel Peugeot ini Pak Hery. Adakah perlakuan khusus juga untuk menangani air limbah?

Interviewee:

Iya, pasti dilakukan *treatment* terlebih dulu, Mas. Mari kita lihat IPAL-nya di sana.

Interviewer:

Mari, Pak!

Interviewee:

Lha....ini tempat IPAL-nya.

Interviewer:

Apa Pak fungsi IPAL ini dan apa saja material yang digunakan untuk membuat IPAL ini?

Interviewee:

IPAL adalah alat yang digunakan untuk mengolah *waste water* menjadi air bersih agar tidak mencemari lingkungan, Mas. Saya rasa itu salah satu syarat kelulusan AMDAL dan ISO 14001 tentang Sistem Manajemen Lingkungan. Ada banyak bahan/material yang digunakan untuk membuat IPAL ini, Mas. Ada batu koral, batu zeolit, ijuk, tawas, arang, dan pasir. Batu koral berfungsi untuk penyaring dan membantu aerasi oksigen. Batu zeolit untuk menurunkan kadar amoniak dalam air buangan. Ijuk untuk menyaring partikel yang lolos dari lapisan penyaring sebelumnya dan meratakan aliran air buangan. Tawas digunakan untuk memperbesar ukuran partikel lumpur dan partikel lain yang melayang di air sehingga dapat diendapkan. Arang digunakan sebagai penyerap partikel halus, bau, dan warna pada air. Sedangkan pasir untuk menahan endapan lumpur. Hasil dari IPAL ini adalah air bersih Mas yang tidak mencemari lingkungan lagi.



Interviewer:

Banyak sekali ya Pak material dalam pembuatan IPAL-nya? Berapa lama Pak buatnya?

Interviewee:

Iya, Mas! Waduh....kalau lama pembuatan IPAL-nya saya gak tahu, Mas. Dulu dikerjakan oleh tim dari *Departement of Environment, Health, and Safety* (EHS), Mas.

Interviewer:

Oh begitu ya Pak, matur nuwun informasinya.

Interviewee:

Iya, Mas. Sama-sama!

Interviewer:

Pak Hery, adakah sarana ramah lingkungan yang lain di bengkel Peugeot ini?

Interviewee:

Sudah habis kayaknya, Mas. Semua sudah kita kunjungi dan saya jelaskan ya.

Interviewer:

Baik Pak Hery. Matur nuwun waktu dan informasinya. Mohon maaf mengganggu waktu jam kerja Bapak, nggih.

Interviewee:

Gak apa-apa, Mas Warju. Oh ya, kapan rencana kuliah tamu kemarin?

Interviewer:

Rencana sih, diagendakan bulan Februari Pak? Itu pun tergantung jadwalnya Bapak.

Interviewee:

Bisa diatur lah pokoknya yang penting jauh-jauh hari sebelumnya ya biar tidak bentrok dengan acara yang lain.

Interviewer:

Oh iya, siap Pak Hery. Nanti surat resminya akan kita kirimkan ya biar pasti tanggal dan jam kuliah tamunya.

Interviewee:

Ya, Mas siap!

Interviewer:

Matur nuwun Pak Hery. Saya pamit pulang dulu. Assalaamu'alaikum!

Interviewee:

Wa'alaikumsalam, Mas. Langsung ke kampus ini?

Interviewer:

Iya, Pak Hery!

Interviewee:

OK, hati-hati, Mas!

Interviewer:

Inggih, Matur nuwun, Pak Hery!

Mengetahui,
Interviewee
Astra Pergeot HR Muhammad



Hery Suryo

Surabaya, 13 Agustus 2016

Interviewer,



Warju

Lampiran 6

LEMBAR SURVEY SARANA RAMAH LINGKUNGAN DI DUNIA USAHA/DUNIA INDUSTRI

Nama DU/DI : P.T. Unitas Motor Center (UMC) Suzuki Madiun
 Alamat : Jl. Raya Sad. 35. Ajiwan, Madiun. Jawa Timur. 63122
 No. Telp. : (0351) 463022
 Nama Departemen : Kesehatan, Safety and Environment (HSE)
 Hari, Tanggal Survey : Selasa, 3 Januari 2017

PETUNJUK:

- Berilah tanda centang [√] atau silang [X] pada kolom ketersediaan sarana ramah lingkungan pada tabel 1 di bawah ini berdasarkan hasil survey di DU/DI!
- Berilah catatan lapangan (*field note*) tentang fungsi sarana ramah lingkungan berdasarkan hasil survey di DU/DI!
- Lakukan pengamatan tentang perlakuan terhadap saringan oli (*oil filter*) bekas yang dilakukan oleh DU/DI selama ini!
- Lakukan pengujian tingkat kebisingan di bengkel otomotif DU/DI yang disurvei!

Tabel 1. Ketersediaan Sarana Ramah Lingkungan di DU/DI

| No | Jenis Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan | PT. UMC Suzuki Madiun |
|----|---|-----------------------|
| 1 | Catalytic Converter | ✓ |
| 2 | Diesel Particulate Filter (DPF) | ✓ |
| 3 | Positive Crankcase Ventilation (PCV) | ✓ |
| 4 | Exhaust Gas Recirculation (EGR) | ✓ |
| 5 | Eco-Muffler | ✓ |
| 6 | Oil Filter Cleaner | X |
| 7 | Exhauster | ✓ |
| 8 | Mesin Perajang Sampah | X |
| 9 | Tempat Sampah Terpisah | ✓ |
| 10 | Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) | ✓ |

Catatan Lapangan (*Field Note*):

1. Catalytic Converter adalah alat kontrol emisi yg digunakan untuk mengontrol emisi gas buang CO, HC, dan NOx. Pada kendaraan kami menggunakan teknologi catalytic converter ini misalnya Suzuki Erigo, Ignis, Splash, Karimun, Estrela, Swift dan yg.

berbagai zat-zat. Au, Ni, W, Pd, dan C. Catalytic converter umumnya terbuat dari bahan ceramic berlapisi platinum (Pt), dan Rhodium (Rh). Produk elektrolisis converter di Suzuki bergam 7 liter. Rp. 14.850.000

2. Diesel particulate filter (DPF), merupakan zat kontrol emisi yg digunakan untuk mengurangi emisi gas buang pada kendaraan berkecepatan tinggi. Produk mobil Suzuki, KVR, KVM, yg menggunakan teknologi diesel particulate filter adalah Suzuki, Fortis, Kijang. Tg. mampu menghasilkan efisiensi bahan bakar hingga 22 km/liter. Diesel particulate filter produksi Suzuki umumnya terbuat dari bahan alumina-silica berlapisi platinum (Pt), dan rhodium (Rh). Produk diesel particulate filter di Suzuki bergam Rp. 14.850.000

3. Teknologi PCV adalah katup yg dipasang pada katup kapot silinder mesin yg berfungsi untuk menghisap minyak yang tertinggal di bagian atas mesin. Katup PCV pada mesin menghisap minyak yg tertinggal di bagian atas mesin.

4. Teknologi EGR adalah sebuah katup yg dipasang saluran pembuangan (exhaust manifold) yg berfungsi untuk mengurangi emisi NOx. Teknologi ini juga dipasang pada mobil-mobil Suzuki berteknologi terbaru.

5. EGR muffler merupakan teknologi yg menggunakan bingkai kawatlingkar dan knalpot meter diesel dan meter busi untuk mobil produksi Suzuki. Keunggulan menggunakan EGR muffler jenis ini adalah flow muffler yg meniadakan kebisingan yg disebabkan bahan pembuatkan EGR muffler adalah plat galvaneis dan plat stainless steel. Produk EGR muffler di Suzuki bergam sekitar Rp. 1.750.000

6. Bingkai HMC Suzuki Model Elanza ini belum melakukan treatment pada filter oli bekas.

7. Exhauster adalah zat yg digunakan untuk mengurangi emisi gas buang dan knalpot untuk mengurangi kebisingan.

8. Tempat sampah terpasang digunakan untuk mengurangi sampah yg dihasilkan oleh pengendara. Bekerja dengan plastik, sampah kertas, sampah kaca (magnum), maupun sampah logam.

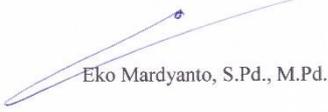
9. IPAK adalah teknologi yg digunakan untuk mengurangi limbah menjadi air bersih. Sehingga tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Khususnya di kawasan air dan tanah. Material pembuatkan IPAK adalah zirconia, bahan keramik, batu zeolit, dan juga tanah liat. Air yang digunakan untuk mengolah partikel halus, bau dan warna pada air limbah. Batu kerikil digunakan untuk mengeringkan dan membantu proses oksidasi. Batu zeolit digunakan untuk menurunkan kadar amoniak dalam air limbah. Pada digunakan untuk menahan ammonia, kumpuk. Ijuk digunakan untuk mengering partikel kecil dalam air limbah. Sedangkan tanah digunakan untuk memperlancar

ukuran partikel lumpur dan partikel lain yang dapat
dianalisis. Hasilnya air limbah ini bisa menjadi air
bersih.

Dari hasil observasi terhadap limbah serpihan oli mesin bekas (used oil filter) di PT. UMS Suzuki Madiun terlihat bahwa serpihan oli bekas bisa dikumpulkan dan dilakukan (treatment) terlebih dahulu sebelum dibuang ke tempat sampah. Serpihan oli mesin bekas bisa juga ditunda di atas wadah (tangki) penampung air bekas agar limbah oli mesin bisa tetap selama beberapa hari sebelum serpihan oli mesin bekas bisa dibuang ke tempat sampah.

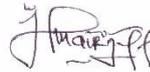
Dari hasil survey tingkat kekesingyan di bengkel UMS Suzuki Madiun yang menggunakan alat savor level meter (SLM) diketahui bahwa tingkat kekesingyan di bengkel ini sebesar 82,6% BBA yang berarti memenuhi ambang batas kekesingyan di tempat kerja (batas maksimal 85% BBA).

Mengetahui,
Brand Manager
PT. United Motor Center (Suzuki Madiun)


Eko Mardiyanto, S.Pd., M.Pd.

Madiun, 3 Januari 2017

Surveyor,



Warju

Lampiran 6

SKRIP HASIL WAWANCARA TENTANG SARANA RAMAH LINGKUNGAN DI PT. UNITED MOTOR CENTER (UMC) SUZUKI MADIUN

Nama *Interviewee* : Eko Mardiyanto, S.Pd., M.Pd.
Nama DU/DI : PT. United Motor Center (UMC) Suzuki Madiun
Alamat : Jl. Raya Solo 35 Jiwon, Madiun, Jawa Timur
Kode Pos 63122
Jabatan : *Branch Manager*
Hari, Tanggal : Selasa, 3 Januari 2017
Waktu : 10.00 – 12.00 WIB

Interviewer:

Assalaamu'alaikum, Pak Eko!

Interviewee:

Wa'alaikumsalam, Mas Warju! Monggo....monggo duduk dulu, Mas!

Interviewer:

Iya, Pak Eko. Matur nuwun. Apa kabar, Pak? Lama ya tidak ketemu?

Interviewee:

Alhamdulillah, baik Mas Warju. Gimana kabar? Kok tahu kalau saya sekarang di sini?

Interviewer:

Alhamdulillah, baik juga Pak Eko. Iya Pak, kemarin tahunya malah di grup UKIM kalau njenengan pindah dari UMC Bojonegoro ke UMC Madiun.

Interviewee:

Oh gitu. Gimana kuliahnya, Mas? Habis pulang dari Jerman ya?

Interviewer:

Alhamdulillah lancar, Pak. Iya Pak, Desember kemarin saya baru balik dari Jerman.

Interviewee:

Oh gitu. Berapa lama kemarin di sana?

Interviewer:

Hanya tiga bulan Pak Eko. Kebetulan saya ikut Program *Sandwich-like*, Pak. Bagian dari S3 saya.

Interviewee:

Oh gitu....di kampus mana Mas di Jermannya kemarin?

Interviewer:

Di Technische Universitat Dresden (TUD), Pak Eko. Jerman timur tepatnya.

Interviewee:

Wah....sip, Mas. Udah keliling eropa ya di sana.

Interviewer:

Haaa.....hanya beberapa negara saja kok Pak Eko.

Interviewee:

Oh ya....ada acara apa ini, tumben kok mampir UMC? Mau ambil Ertiga?

Interviewer:

Wah...kalau mobil belum dulu kayaknya, Pak Eko. Konsentrasi kuliah dulu. Oh ya Pak, mohon maaf mengganggu jam kerjanya njenengan. Maksud kedatangan saya tadi ke sini ingin mohon ijin kepada Bapak untuk survey sarana ramah lingkungan yang ada di bengkel UMC Madiun ini Pak untuk keperluan penelitian disertasi S3 saya.

Interviewee:

Oh gitu.....Siap! Nanti saya kenalin ke kepala bengkel UMC. Namanya Pak Edi.

Interviewer:

Lho, sebentar, Pak Eko! Pak Edi siapa ya Pak?

Interviewee:

Pak Edi Maryanto, Mas. Dulu pindahan dari UMC Tulungagung.

Interviewer:

Lho.....Itu kan teman saya di OTOPoint, Pak! Dulu saat masih di Surabaya, beliau aktif di OTOPoint. Dulu kepala bengkel UMC Ahmad Yani ya.

Interviewee:

Oalah....gitu ya? Udah lama dong gak ketemu?

Interviewer:

Iya, Pak! Udah 10 tahunan ya. Lama banget gak ketemu beliaunya.

Interviewee:

Oh ya, Mas.....Judul penelitian S3-nya apa ya?

Interviewer:

Judul penelitian saya tentang pengembangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK, Pak. Fokusnya lebih banyak pada pengembangan sarana pendukung ramah lingkungan di SMK.

Interviewee:

Oh lagi trend itu Mas sekarang! Ayo kita turun saja sambil ketemu Pak Edi di bawah.

Interviewer:

Oh....monggo, Pak Eko!

Interviewee:

Pak Edi.....masih kenal ini?

Interviewee:

Lho.....Mas Warju ya. Wah.....*surprise* bisa ketemu di sini. Kapan datang?

Interviewer:

Barusan kok Pak Edi. Wah udah lama ya Pak gak ketemu? Terakhir tahun 2006 ya?

Interviewee:

Iya nih karena saya pindah tugas ke UMC Tulungagung waktu itu. Gimana khabar OTOPoint?

Interviewer:

Alhamdulillah.....Masih sering ketemu kita Pak karena Pak Sonny sekarang punya radio baru Pak. Namanya Prima Radio. Jadi kita giliran ngisi acara "NGOTOT atau Ngobrol Otomotif" di sana setiap hari Jum'at malam, Pak.

Interviewee:

Oh gitu! Ya, udah.....nanti kita ngobrol-ngobrol lagi, Mas. Monggo kalau pengen ketemu Pak Eko dulu.

Interviewer:

Ya Pak Edi, siap!

Interviewer:

Pak Eko, mohon ijin untuk observasi sarana ramah lingkungan yang ada di bengkel UMC nggih sambil nanti saya tanya-tanya ke Bapak.

Interviewee:

Monggo Mas.....saya anter keliling.

Interviewer:

Oh...inggih, monggo Pak Eko!

Interviewer:

Pak Eko! Produk mobil bensin keluaran Suzuki seperti yang ada di bengkel ini agar bisa ramah lingkungan apa saja ya pak teknologinya?

Interviewee:

Semua produk mobil Suzuki sudah dilengkapi dengan teknologi *electronic fuel injection* (EFI) dan VVT, Mas untuk menaikkan performa mesin dan mereduksi emisi gas buangnya. Selain itu, semua produk mobil Suzuki juga sudah dilengkapi dengan teknologi *catalytic converter* di knalpotnya, Mas. Hal ini yang membuat mobil Suzuki menjadi ramah lingkungan dan diminati masyarakat.

Interviewer:

Fungsi *catalytic converter* itu sendiri apa ya Pak Eko?

Interviewee:

Catalytic converter itu adalah alat kontrol emisi yang digunakan untuk mereduksi emisi gas buang CO, HC, dan NO_x pada kendaraan berbahan bakar bensin. Saat ini, semua produk mobil Suzuki telah menggunakan teknologi *catalytic converter* ini. Misalnya Ertiga, Ignis, Splash, Karimun Estilo, Swift dan yang terbaru adalah All New Baleno.

Interviewer:

Bahan *catalytic converter* yang digunakan apa ya Pak Eko?

Interviewee:

Catalytic converter umumnya terbuat dari bahan ceramic berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh), Mas.

Interviewer:

Kalau di Suzuki, harga rata-rata *catalytic converter* itu berapa ya Pak?

Interviewee:

Produk *catalytic converter* di Suzuki harganya sekitar Rp. 14.850.000, Mas.

Interviewer:

Kalau untuk mobil diesel keluaran terbaru Suzuki Pak Eko, teknologinya apa saja yang akan digunakan oleh New Ertiga Diesel agar bisa ramah lingkungan?

Interviewee:

New Ertiga Diesel Hybrid sudah dilengkapi dengan teknologi *common-rail system*, Mas. Mesinnya kecil hanya 1300 cc dan sudah dilengkapi dengan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) di knalpotnya, Mas. Murah kok.....harganya sekitar Rp 245 jutaan nanti.

Interviewer:

Fungsi teknologi *diesel particulate filter* (DPF) itu sendiri untuk apa ya Pak Eko?

Interviewee:

Diesel particulate filter (DPF) merupakan alat kontrol emisi yang digunakan untuk mereduksi opasitas gas buang pada kendaraan berbahan bakar solar. Produk mobil Suzuki terbaru yang menggunakan teknologi *diesel particulate filter* adalah Suzuki Ertiga Hybrid yang mampu menghasilkan efisiensi bahan bakar hingga 22 km/liter, Mas.

Interviewer:

Kalau bahan pembuatan DPF itu sendiri apa ya Pak Eko?

Interviewee:

Diesel particulate filter produksi Suzuki umumnya terbuat dari bahan alumina-silica berlapis Platinum (Pt) dan Rhodium (Rh), Mas.

Interviewer:

Kalau tentang harga teknologi DPF itu sendiri berapa ya Pak Eko?

Interviewee:

Produk *diesel particulate filter* di Suzuki harganya Rp. 14.850.000, Mas.

Interviewer:

Selain teknologi *diesel particulate filter* dan *catalytic converter*, apa lagi ya Pak Eko teknologi otomotif ramah lingkungan di mobil Suzuki?

Interviewee:

Semua mobil Suzuki dilengkapi dengan teknologi *positive crankcase ventilation* (PCV), Mas Warju. Bahkan mobil-mobil Suzuki yang masih berteknologi karburator saja telah menggunakan teknologi PCV ini. Misalnya Suzuki Katana tipe SJ410.

Interviewer:

Apa fungsi dari PCV itu sendiri Pak Eko?

Interviewee:

Teknologi PCV adalah katup yang dipasang pada tutup kepala silinder mesin yang berfungsi untuk mencegah mengalirnya *blow by gas* ke udara luar, Mas. Katup PCV-nya akan mengalirkan *blow by gas* menuju ke *intake manifold*, Mas.

Interviewer:

Selain teknologi PCV, apakah ada teknologi yang lain ya Pak Eko untuk mereduksi emisi gas buang pada mobil produksi Suzuki?

Interviewee:

Masih ada, Mas Warju! Teknologi *exhaust gas recirculation* (EGR) salah satunya.

Interviewer:

Kalau fungsi teknologi EGR itu sendiri apa ya Pak Eko?

Interviewee:

Teknologi EGR adalah sebuah katup yang dipasang pada saluran pembuangan (*exhaust manifold*) yang berfungsi untuk mereduksi emisi NOx, Mas. Teknologi ini juga dipasang pada mobil-mobil Suzuki berteknologi karburator *lho*.

Interviewer:

Kalau tentang tingkat kebisingan Pak Eko, teknologi apa yang digunakan oleh mobil Suzuki agar lulus uji kebisingan?

Interviewee:

Berarti tentang knalpot (*muffler*) ya, Mas. Semua mobil Suzuki telah dilengkapi dengan teknologi *eco-muffler* Mas untuk menghasilkan suara yang rendah dan memenuhi ambang batas kebisingan. Beberapa jenis teknologi *eco-muffler* yang digunakan di Suzuki, seperti *off-set tube type muffler*, *three pass tube type muffler*, dan *reverse flow muffler*.

Interviewer:

Fungsi dari *eco-muffler* itu sendiri apa ya Pak Eko?

Interviewee:

Eco-muffler merupakan teknologi untuk mengurangi tingkat kebisingan dari knalpot motor diesel dan motor bensin. Mobil produksi Suzuki kebanyakan menggunakan *eco-muffler* jenis *reverse flow muffler* untuk mendapatkan kebisingan yang rendah, Mas.

Interviewer:

Kalau bahan pembuatan *eco-muffler* itu sendiri apa ya Pak Eko?

Interviewee:

Bahan pembuatan *eco-muffler* adalah plat *galvanis* atau plat *stainless steel*, Mas.

Interviewer:

Kalau tentang harga *eco-muffler* Pak Eko, berapa kisaran harganya di Suzuki?

Interviewee:

Produk *eco-muffler* di Suzuki harganya sekitar Rp. 1.750.000, Mas.

Interviewer:

Kalau tentang limbah filter oli bekas Pak Eko. Apakah filter oli bekas di bengkel UMC ini dilakukan *treatment* terlebih dahulu sebelum dibuang ke tempat sampah?

Interviewee:

Di bengkel UMC ini kita belum memiliki teknologi untuk mengolah limbah oli dari filter oli bekas tersebut, Mas. Ayo....Kita lihat ke ruang limbah oli sana! Nah ini, Mas.....filter oli bekasnya. Selama ini, filter oli bekas ini kita taruh dengan posisi terbalik di atas tong limbah oli ini selama beberapa hari. Nanti limbah oli dari filter oli bekas ini akan mengalir ke tong ini. Seperti ini perlakuan kita selama ini. Kesimpulannya kita belum melakukan *treatment* pada filter oli bekas ini, Mas.

Interviewer:

Oh, gitu ya Pak Eko!

Interviewer:

Ada lagi gak Pak Eko, sarana ramah lingkungan yang dimiliki oleh bengkel Suzuki ini?

Interviewee:

Semua *unit stall* telah kita pasang *exhauster*, Mas. Bisa dilihat itu....dan di sana itu.

Interviewer:

Fungsi dari *exhauster* itu sendiri untuk apa ya Pak Eko?

Interviewee:

Exhauster adalah alat yang digunakan untuk menyalurkan emisi gas buang dari knalpot mobil menuju ke lingkungan sekitar, Mas. Jadi, asap gas buangnya tidak *muleg* di sini saja tapi bisa dikeluarkan dari dalam bengkel.

Interviewer:

Kalau tentang sampah Pak Eko, apakah ada *treatment* khusus di bengkel Suzuki ini?

Interviewee:

Wah.....sampah pasti kita pilah-pilah, Mas menggunakan tempat sampah terpisah. Misalnya sampah plastik, sampah kertas, sampah kain (*majun*), dan sampah logam. Nah itu....tempat sampah terpisahnya.

Interviewer:

Fungsi dari tempat sampah terpisah itu sendiri untuk apa ya Pak Eko?

Interviewee:

Tempat sampah terpisah ya digunakan untuk memisahkan sampah yang dihasilkan oleh bengkel ini, Mas, baik sampah plastik, sampah kertas, sampah kain (*majun*) maupun sampah logam tadi.

Interviewer:

Sampah-sampah yang telah dipilah ini, diolah atau diapakan Pak Eko?

Interviewee:

Kalau yang plastik dan kertas kita jual Mas tapi kalau yang kain dan logam kita buang setelah kita pilah.

Interviewer:

Punya mesin perajang sampah, Pak Eko?

Interviewee:

Wah...kalau itu kita belum punya, Mas. Lagian sampah daunnya sangat sedikit di bengkel ini.

Interviewer:

Kalau air limbahnya diapakan ya Pak Eko?

Interviewee:

Ayo...Kita ke ujung sana, Mas!

Interviewer:

Oh nggih.....Monggo, Pak Eko!

Interviewee:

Nah....ini kita punya IPAL, Mas. Kemarin kita pakai jasa konsultan untuk membuat IPAL ini agar memenuhi persyaratan AMDAL dan ISO 14001.

Interviewer:

Pak Eko, fungsi dari IPAL ini apa ya Pak dan apa saja material yang digunakan untuk membuat IPAL ini?

Interviewee:

IPAL adalah teknologi yang digunakan untuk mengolah air limbah menjadi air bersih sehingga tidak mencemari lingkungan khususnya pencemaran air dan tanah, Mas. Saya gak hafal detailnya tapi setahu saya di IPAL ini ada arang, batu koral, batu zeolit, pasir, ijuk, dan tawas. Arang digunakan untuk menyerap partikel halus, bau, dan warna pada air limbah. Batu koral digunakan untuk penyaring dan membantu aerasi oksigen. Batu zeolite digunakan untuk menurunkan kadar amoniak dalam air limbah. Pasir digunakan untuk menahan endapan lumpur. Ijuk digunakan untuk menyaring partikel kecil dalam air limbah. Sedangkan tawas digunakan untuk memperbesar ukuran partikel lumpur dan partikel lain sehingga dapat diendapkan. Hasilnya air limbah ini bisa menjadi air bersih, Mas.

Interviewer:

Oh...begitu ya Pak!

Interviewer:

Pak Eko, adakah sarana ramah lingkungan yang lain di bengkel UMC ini?

Interviewee:

Sudah semua kayaknya, Mas. Ayo kita ke atas lagi...minum-minum dulu.

Interviewer:

Baik Pak Eko. Matur nuwun waktu dan informasinya. Monggo, Pak!

Interviewee:

Ayo, Mas!

Interviewee:

Monggo Mas Warju...diminum dulu jahe angetnya!

Interviewer:

Alhamdulillah, matur nuwun Pak Eko. Malah merepotkan ini.

Interviewee:

Wah...gak apa-apa Mas! Ayo dimakan juga kuenya.

Interviewer:

Iya Pak Eko, matur nuwun.

Interviewer:

Pak Eko, matur nuwun waktu dan informasinya ya. InsyaAllah, kalau pas pulang ke Magetan lagi tak mampir ke sini lagi.

Interviewee:

Iya Mas, sama-sama. Habis ini langsung ke mana ini?

Interviewer:

Saya tak ke rumah Ibu dulu di Plaosan, Pak.

Interviewee:

Lho.....njenengan itu asli mana *tho* Mas?

Interviewer:

Asli Plaosan, Pak Eko. Monggo kalau nanti sore ada waktu luang mampir ke rumah saya di Desa Plumpung, Kecamatan Plaosan. Sebelum ke Telaga Sarangan, belok kiri di depan Polsek Plaosan itu, arah ke Poncol, Pak Eko.

Interviewee:

Wah...enak dong dekat Telaga Sarangan! OK, nanti kalau pas mau ke sana saya telepon ya.

Interviewer:

Baik Pak Eko. Saya pamit pulang dulu ya Pak sambil nanti saya tak pamitan sama Pak Edi di bawah. Assalaamu'alaikum!

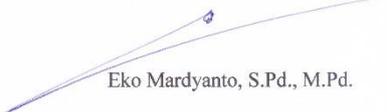
Interviewee:

Wa'alaikumsalam, Mas Warju. Hati-hati, Mas!

Interviewer:

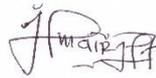
Inggih, Pak Eko. Matur nuwun.

Mengetahui,
Interviewee
PT. United Motor Center (UMC) Suzuki Madiun


Eko Mardiyanto, S.Pd., M.Pd.

Madiun, 3 Januari 2017

Interviewer,



Warju

Lampiran 7

LEMBAR SURVEY SARANA DAN PRASARANA RAMAH LINGKUNGAN DI SMK SEMEN GRESIK

Nama Sekolah : SMK Semen Gresik
 Lokasi Survey : SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arif Rahman Hakim No. 90, Sidokumpul, Kab. Gresik, Jawa Timur, Kode Pos 61111
 Telp./Fax : (031) 3924836
 Hari, Tanggal Survey : 22.12.2016, 28 Juni 2016

PETUNJUK:

- Berilah tanda centang [√] atau silang [X] pada kolom ketersediaan sarana ramah lingkungan pada tabel 1 dan tabel 2 di bawah ini berdasarkan hasil survey di sekolah!
- Berilah catatan lapangan (*field note*) tentang fungsi sarana ramah lingkungan berdasarkan hasil survey di sekolah!
- Hitunglah jumlah saringan oli (*oil filter*) bekas yang dihasilkan oleh sekolah selama 1 tahun dan masukkan datanya pada tabel 3 berikut ini!
- Lakukan pengamatan tentang perlakuan terhadap saringan oli (*oil filter*) bekas yang dilakukan oleh sekolah selama ini!
- Lakukan pengujian tingkat kebisingan di bengkel otomotif sekolah yang disurvei!

Tabel 1. Ketersediaan Sarana dan Prasarana Ramah Lingkungan Berdasarkan Peraturan Menteri LH No. 05 Tahun 2013

| No | Sarana dan Prasarana Ramah Lingkungan | Hasil Survey |
|---|--|--------------|
| Kategori: Sarana dan Prasarana Sekolah Adiwiyata (<i>Green School</i>) | | |
| 1 | Komposter Aerob | ✓ |
| 2 | Mesin Perajang Sampah | ✓ |
| 3 | Lubang Resapan Biopori (LRB) | ✓ |
| 4 | Hutan Sekolah (<i>School Forest</i>) | ✓ |
| 5 | Tempat Sampah Terpisah | ✓ |
| 6 | Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) | ✓ |
| 7 | Sumur Resapan | ✓ |
| 8 | <i>Green House</i> | ✓ |
| 9 | Taman Tanaman Obat Keluarga (Toga) | ✓ |
| 10 | Takakura | ✓ |

Tabel 2. Ketersediaan Sarana Ramah Lingkungan Bidang Otomotif

| No | Sarana dan Prasarana Ramah Lingkungan | Hasil Survey |
|--|---|--------------|
| Kategori: Sarana Ramah Lingkungan Bidang Otomotif | | |
| 1 | Positive Crankcase Ventilation (PCV) | ✓ |
| 2 | Exhaust Gas Recirculation (EGR) | ✓ |
| 3 | Air Injection System | ✓ |
| 4 | Exhauster | ✓ |
| 5 | Catalytic Converter | ✗ |
| 6 | Diesel Particulate Filter/Diesel Particulate Trap | ✗ |
| 7 | Eco-Muffler | ✗ |
| 8 | Oil Filter Cleaner | ✗ |

Catatan Lapangan (Field Note):

..... Dari hasil observasi ke prasarana sekolah terlihat bahwa.....
 sekolah telah memelihara tiga (3) prasarana ramah lingkungan
 yaitu: fungsinya, yaitu:.....
 1. Ruang memiliki pengaturan Exhaust Gas Ventilation udara segar
 alami.....
 2. Pemeliharaan dan pengaturan pohon pinetuh & penghijauan.
 3. Menggunakan paving blok dan rumput.....
 Ada sejumlah inovasi yang sekolah telah manfaatkan
 sarana ramah lingkungan, yaitu pembelajaran lingkungan hidup,
 yaitu:.....
 1. Mesin perajang sampah digunakan untuk mencah sampah dan
 sisa pupuk menjadi pupuk kompos. Mesin perajang
 sampah diberi nama "GILLAS", dimana bisa patennya
 sudah diserahkan ke Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual
 Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia.
 2. Mesin pengolah debu "YACFEZAA"
 3. Mesin pengolah municipal solid waste (MSW) menjadi
 refuse derived fuel (RDF) yg diberi nama "SHEPPER"
 4. Mesin peng. plat logam.....
 5. mesin pemros. kelapa mini.....
 6. komposter yang digunakan untuk membuat pupuk kompos
 sampah organik. Pupuk kompos yg dihasilkan oleh SMK
 Samudra Serik diberi nama "ESGEPADA" dan dijual Rp
 5.000 / pak.....
 7. lubang resapan biopori (LRS). LRS berfungsi untuk
 mencahkan paman dan kotoran, mencahkan sisa dan
 limbah, meningkatkan kapang air bersih, dan membuat
 kompos serta mengurangi limbah. Selain pembuatkan biopori
 ini sudah pipa paralon yg diberi lubang-lubang untuk resapan

- zir. dgn. panjang kira-kira 50 cm. yg. dikenam di tanah.
8. Insulasi. Pengalihan Air Limbah (IPAL) digunakan u/ mengolah air limbah menjadi air bersih. Sng. antara. expect. digunakan u/ mntz. rami, tenunan, Di. Batam. IPAL. turapapat. material kawat, batu zeolit, ijuk, pasir, batu kerol, dan arang. Tawas berfungsi sbg. koagulan. Koagulan ini menyerap keasam. Mula-mula partikel. Lumpur. dan partikel lain. yg. melayang. Di air. Sng. papak. diendapkan. Batu zeolit berfungsi u/ menurunkan kadar amoniak. Batam. air. kumpan. Batu. zeolit juga mampu menurunkan kandungan logam besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), dan timbal (Pb) yg. terdapat. Batam. air. Ijuk. berfungsi u/ menyaring partikel. yg. besar. Batam. lapisan penyaring. sebelumnya. dan meratakan aliran air. Pasir berfungsi u/ menahan endapan. Lumpur. Batu kerol berfungsi sbg. penyaring. dan membantu. aerasi. oksigen. Seangkan. arang. yg. permukaannya. berpori. berfungsi sbg. penyerap partikel halus, bau, dan warna. p2. air. 9. Simur. f. isapan. Simur. f. isapan. berfungsi u/ menyedot. air. yg. kotor. dan. gigitan. air. mmp. tabakan. dan. mningkatkan tinggi permukaan air tanah, mengurangi. erosi. dan. stabilisasi, mengurangi. / menahan intrusi. air. laut. bagi. daerah. yg. berdekatan. dgn. kawasan pantai, mencegah. panyusutan tanah. (land subsidence), dan mengurangi. konsentrasi. pensemoran. air. / tanah.
10. Tempat sampah kerpisah (sampah. B2in, sampah. plastik).
Sampah. kertas, dan. sampah. (limbah. logam).
11. Kukan. skaldh. (School forest). u/ ruang. kerukda. hijau. (RTH).
Sbg. penghasil. oksigen. bagi. warga. skaldh.
12. Green house. Green house. adalah. tempat. pembibitan. yg. berkaitan. rumah. dan. digunakan. u/ mengemas. bibit. / kacang. dan. pengemasan. bibit. yg. berifat. sementara. sampai. menjadi. bibit. yg. siap. tanam. di. lapangan. Mntz. media. menpakan. kegiatan. lanjutan. u/ menyalurkan. bibit. / ketamban. dalam. media. pot. / poly bag. p2. tempat. pembibitan. Sebarang. media. bibit. bibit. menpakan. memisahkan. atau. meminimalkan. bibit. dari. kelembapan. hingga. menjadi. tanaman. individu. dalam. suatu. wadah. tersendiri. sesuai. dgn. ukuran. pertumbuhan.
13. Tambon. panampung. air. A2. Manfaat. air. A2. expect. digunakan. u/ (a) mengirami. tanaman, (b) menambah. elektrolit. p2. a2u. (c) mengisi. air. reaktor. p2. kembangan. yg. efektif. (menghindari. korosi), (d) membersihkan. lantai. atau. kaca, (e) mencuci, (f) mengisi. aquadum. (u/ menghindari. lumut).
14. Taman. hoga. digunakan. siswa. u/ proses. pendidikan. lingkungan.

18. WHP khususnya belajar tentang nama-nama komponen dan fungsinya. Sbg meretas bisa menggunakan di rumah. Teknologi adalah sistem pengolahan sampah organik berbasis rumah tangga. Sbg menggunakan biogas, pupuk kompos.

Sedangkan teknologi ramah lingkungan yg telah ada di bengkel otomotif SMK Suman beresik adalah:

1. Exhaust gas recirculation (EGR)
EGR adalah sebuah katup yg dipasang pd exhaust manifold mobil bensin dan mobil diesel u/ merebusi emisi NOx yg dihasilkan di knalpot.
2. Positive Crankcase Ventilation (PCV)
PCV adalah sebuah katup sbg perantara emisi CO & HC yg dipasang pada WHP kepala silinder mobil u/ mencegah mengalirnya blow by gas ke udara luar.
3. Air Injection System (AIS)
Teknologi AIS digunakan u/ menginjeksikan udara segar ke lubang pembuangan mesin (exhaust port) pd 10-15 meter u/ merebusi emisi CO dan HC yg dihasilkan oleh mesin.
4. Exhauster
Exhauster adalah cerobong yg digunakan u/ mengalirkan gas buang dari knalpot menuju lingkungan sekitar.

Tabel 3. Limbah Saringan Oli Mesin Bekas (*Used Oil Filter*) di SMK Semen Gresik

| No | Jenis Kendaraan | Teknologi Mesin | Jumlah Engine Stand/Mesin (unit) | Jumlah Limbah Saringan Oli Bekas (<i>Used Oil Filter</i>)/Tahun (buah) |
|--------------|--|---|----------------------------------|--|
| 1 | Engine stand/ mesin bensin tanpa catalytic converter | Karburator dan EFI | 8 | 16 |
| 2 | Engine stand/ mesin bensin dgn catalytic converter | EFI | 4 | 8 |
| 3 | Engine stand/ mesin diesel tanpa DPF | konvensional (inline pump/ rotary pump) | 4 | 8 |
| Jumlah Total | | | | 32 |

Catatan Lapangan (*Field Note*):

Dari hasil observasi, limbah saringan oli mesin bekas (*used oil filter*) di SMK Semen Gresik terlihat bahwa saringan oli bekas tsb. dibuang begitu saja ke tempat sampah tanpa ada perlakuan (*treatment*) terlebih dahulu. Padahal, saringan oli mesin bekas tsb. masih mengandung limbah oli yg. dapat mencemari tanah dan air.

Dalam 1 (satu) buah limbah saringan oli mesin bekas tsb. masih terdapat rata-rata 0,5 liter limbah oli, sehingga potensi limbah oli yg. dihasilkan di SMK Semen Gresik adalah 0,5 liter x 32 buah saringan oli mesin bekas = 16 liter/tahun.

Dari hasil survey, tingkat kebisingan di bengkel otomotif SMK Semen Gresik dgn menggunakan alat Sound Level Meter (SLM) diketahui bahwa tingkat kebisingannya sebesar 81,9 - 100,7 dBA dgn rata-rata kebisingan sebesar 86,7 dBA sehingga sedikit di atas ambang batas kebisingan di tempat kerja (batas maksimal 85 dBA).

Gresik, 28 Juni 2016

Mengetahui,
Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik



Moh. Basjir, S.Pd.



Surveyor,



Warju

Menyetujui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan



Drs. Murtadlo

Lampiran 7

**SKRIP HASIL WAWANCARA TENTANG SARANA DAN PRASARANA
RAMAH LINGKUNGAN DI SMK SEMEN GRESIK**

Nama *Interviewee* : Moch. Basjir, S.Pd.
Nama Sekolah : SMK Semen Gresik
Alamat : Jl. Arif Rahman Hakim No. 90, Sidokumpul, Kec. Gresik,
Kab. Gresik, Jawa Timur, Kode Pos 61111
Jabatan : Kepala Bengkel Otomotif
Hari, Tanggal : Selasa, 28 Juni 2016
Waktu : 09.00 – 12.00 WIB

Interviewer:

Assalaamu'alaikum, Pak Basjir! Selamat Pagi, Pak!

Interviewee:

Wa'alaikumsalam, Pak Warju! Selamat Pagi, Pak!

Interviewer:

Apa kabar, Pak?

Interviewee:

Alhamdulillah, baik Pak Warju. Apa khabar juga, Pak?

Interviewer:

Alhamdulillah, baik juga Pak.

Interviewee:

Monggo.....duduk dulu, Pak Warju.!

Interviewer:

Oh inggih.....Matur nuwun, Pak.

Interviewer:

Pak Basjir, mohon maaf mengganggu jam kerjanya sebentar. Maksud kedatangan saya tadi ke sini ingin mohon ijin kepada Bapak untuk survey sarana dan prasarana ramah lingkungan yang ada di SMK Semen Gresik untuk kepentingan penelitian S3 saya Pak. Apa bisa dibantu ya Pak?

Interviewee:

Bisa, Pak Warju! Apa yang bisa dibantu? Kalau boleh tahu, penelitiannya tentang apa ya Pak?

Interviewer:

Alhamdulillah. Judul penelitian saya tentang pengembangan model sekolah hijau (*green school*) pada Program Keahlian Teknik Otomotif di SMK, Pak. Kebetulan kan SMK ini tahun 2012 kemarin sudah menjadi sekolah adiwiyata nasional dan tahun 2014 kemarin juga sudah menjadi sekolah adiwiyata mandiri ya Pak?

Interviewee:

Iya, Pak! Alhamdulillah.

Interviewer:

Pak Basjir, saya mohon ijin untuk observasi sarana dan prasarana ramah lingkungan yang ada di sekolah ya. Kalau *njenengan* tidak ada jam ngajar, apa bisa saya ditemani keliling sekolah sambil nanti saya tanya-tanya detailnya ke Bapak?

Interviewee:

Bisa, Pak! Monggo.....saya anter keliling-keliling di sekolah!

Interviewer:

Pak Basjir, inovasi apa saja ya Pak yang dihasilkan oleh sekolah ini untuk mendukung pengembangan sarana dan prasarana ramah lingkungan?

Interviewee:

Kita punya komposter aerob, Pak. Monggo kita lihat ke tempat pengomposan di sana.

Interviewer:

Oh....Monggo, Pak!

Interviewee:

Ini komposter aerob-nya, Pak. Kita punya beberapa unit di sini.

Interviewer:

Fungsi dari komposter aerob itu sendiri untuk apa ya Pak?

Interviewee:

Komposter aerob digunakan untuk membuat pupuk kompos dari sampah organik, Pak. Kebetulan di sekolah ini kan ada banyak sampah daun sehingga sampah daun ini kita olah menjadi pupuk kompos dengan bantuan starter EM4 ini. Hasil pengemasan pupuk komposnya kita beri nama "esgepride", Pak. Monggo.....ini contoh produk pupuk komposnya.

Interviewer:

Dijual berapaan Pak?

Interviewee:

Rp 5 ribu rupiah/paknya, Pak. Oh ya....kita juga punya mesin perajang sampahnya, lho! Bahkan telah kita daftarkan hak patennya ke Direktorat Jenderal Kekayaan Intelektual.

Interviewer:

Oh ya....kapan Pak?

Interviewee:

2010 yang lalu Pak. Mesin perajang sampahnya kita namakan "GHILAS", Pak.

Ini mesinnya.

Interviewer:

Wah....bagus ya Pak. Oh ya Pak? Fungsi dari mesin pejarang sampah ini apa ya?

Interviewee:

Mesin perajang sampah ini digunakan untuk mencacah sampah daun sehingga dapat kita buat menjadi pupuk kompos, Pak. Gak kebayang kan lamanya kalau kita potong secara manual semua sampah daun ini. Makanya dengan mesin ini, proses pengomposan akan menjadi lebih cepat selesai dan hasil yang lebih banyak.

Interviewer:

Apa lagi ya Pak, sarana ramah lingkungannya?



Interviewee:

Kita juga memasang Lubang Resapan Biopori (LRB) di tanah atau lapangan yang biasanya becek Pak terutama saat musim hujan.

Interviewer:

Fungsi dari Lubang Resapan Biopori (LRB) itu untuk apa ya Pak?

Interviewee:

LRB berfungsi untuk mencegah genangan dan banjir; mencegah erosi dan longsor; meningkatkan cadangan air bersih; dan membuat kompos serta menyuburkan tanah. Monggo kita lihat ke sana bioporinya! Nah, ini bioporinya. Di sebelah sana juga ada, Pak.

Interviewer:

Bahan biopori ini apa ya, Pak?

Interviewee:

Bahan pembuatan biopori ini adalah pipa paralon yang kita kasih lubang-lubang untuk resapan air dengan panjang kira-kira 50 cm yang ditanam di tanah, Pak. Biasanya siswa-siswa yang tergabung dalam Pramuka dan Pecinta Alam "Harpa" yang membuatnya.

Interviewer:

Oh gitu...Wah, sekarang berarti tidak banjir lagi ya Pak kalau hujan?



Interviewee:

Alhamdulillah, untuk sekarang aman, Pak.

Interviewer:

Ada lagi pak sarana ramah lingkungannya?

Interviewee:

Ada, Pak! Monggo kita ke sana, di samping ruang kelas itu.

Interviewer:

Monggo, Pak!

Interviewer:

Ini teknologi apa ya Pak?

Interviewee:

Nah...Kalau ini namanya Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), Pak. Kita siapkan untuk penilaian adiwiyata nasional tahun 2012 kemarin.

Interviewer:

Fungsi dari IPAL ini apa ya Pak?

Interviewee:

IPAL digunakan untuk mengolah air limbah menjadi air bersih sehingga airnya dapat digunakan untuk menyirami tanaman, Pak. Air limbahnya berasal dari toilet, air wudhu dan limbah dari bengkel/lab itu, Pak.

Interviewer:

Material/bahan di dalam IPAL ini apa saja ya Pak?

Interviewee:

IPAL didalamnya terdapat meterial tawas, batu zeolit, ijuk, pasir, batu koral, dan arang. Tawas berfungsi sebagai koagulan. Koagulan ini memperbesar ukuran partikel lumpur dan pertikel lain yang melayang di air sehingga dapat diendapkan. Batu zeolit berfungsi untuk menurunkan kandungan logam besi (Fe), mangan (Mn),

seng (Zn), dan timbal (Pb) yang terdapat dalam air. Batu zeolit juga mampu menurunkan kadar amoniak dalam air buangan. Ijuk berfungsi untuk menyaring partikel yang lolos dari lapisan penyaring sebelumnya dan meratakan aliran air. Pasir berfungsi untuk menahan endapan lumpur. Batu koral berfungsi sebagai penyaring dan membantu aerasi oksigen. Sedangkan arang yang permukaannya memiliki pori-pori berfungsi sebagai penyerap partikel halus, bau, dan warna pada air. Susunan material IPAL-nya dapat Bapak lihat di tangki atau wadahnya itu, Pak.

Interviewer:

Oh, iya.....Selain IPAL ini, apakah ada sarana ramah lingkungan yang lain ya Pak?

Interviewee:

Kita juga punya hutan sekolah (*school forest*), Pak. Monggo....Kita jalan ke belakang sekolah di sebelah sana!

Interviewer:

Monggo, Pak!

Interviewer:

Yang ditanam di hutan sekolah ini apa saja ya Pak?

Interviewee:

Ada berbagai jenis pohon, tanaman, dan yang khas di sini adalah tanaman jarak pagar, Pak. Kita bekerja sama dengan Pusat Pengembangan Lingkungan Hidup Semen Gresik Foundation untuk mengolah biji tanaman jarak pagar ini untuk dibuat menjadi biodiesel. Jadi, dari tanaman ini akan dihasilkan energi alternatif pengganti solar, Pak. Nanti kita bisa survey ke sana Pak kalau *njenengan* mau.

Interviewer:

Oh iya Pak, siap! Fungsi dari hutan sekolah (*school forest*) itu sendiri untuk apa ya Pak?

Interviewee:

Hutan sekolah (*school forest*) untuk Ruang Terbuka Hijau (RTH) sebagai penghasil oksigen bagi warga sekolah, Pak. Harapannya biar siswa merasa sejuk dan nyaman sekolah di sini sekaligus bisa belajar keanekaragaman hayati.

Interviewer:

Adakah sarana ramah lingkungan yang lain, Pak?

Interviewee:

Gini Pak, di semua kelas dan bengkel/lab kita beri tempat sampah terpisah juga.

Interviewer:

Fungsi tempat sampah terpisah itu untuk apa ya Pak?

Interviewee:

Tempat sampah terpisah ya digunakan untuk memilah sampah Pak, baik sampah organik maupun sampah anorganik. Kalau di depan kelas, kita beri 3 jenis tempat sampah terpisah Pak, yaitu sampah daun, sampah plastik, dan sampah kertas. Tapi kalau di bengkel/lab kita beri 4 tempat sampah terpisah dengan tambahan sampah logam. Ayo....kita ke depan kelas itu Pak! Biar kita bisa lihat secara langsung tempat sampah terpisahnya.

Interviewer:

Monggo, Pak!

Interviewee:

Nah ini Pak.....contoh tempat sampah terpisahnya. Nanti yang ada tempat sampah logamnya bisa dilihat langsung di bengkel otomotif ya.

Interviewer:

Oh...iya Pak, siap!

Interviewer:

Ada lagi Pak, sarana ramah lingkungannya?

Interviewee:

Ada, Pak! Kita juga punya sumur resapan. Monggo....kita menuju ke ujung sana!

Interviewer:

Monggo, Pak!

Interviewee:

Nah ini.....sumur resapannya, Pak.

Interviewer:

Fungsi sumur resapan ini apa ya Pak?

Interviewee:

Sumur resapan berfungsi untuk mengurangi aliran permukaan sehingga dapat mencegah/mengurangi terjadinya banjir dan genangan air, mempertahankan dan meningkatkan tinggi permukaan air tanah, mengurangi erosi dan sedimentasi, mengurangi/menahan intrusi air laut bagi daerah yang berdekatan kawasan pantai, mencegah penurunan tanah (*land subsidence*), dan mengurangi konsentrasi pencemaran air/tanah. Kita juga sudah memasang beberapa sumur resapan di sekolah ini, Pak.

Interviewer:

Oh gitu ya, Pak! Fungsinya mirip-mirip dengan lubang resapan biopori (LRB) ya Pak?

Interviewee:

Iya, Pak! Oh ya.....air hujan dari talang-talang itu, semuanya dialirkan ke sumur resapan ini, Pak melalui parit-parit yang telah kita sediakan.

Interviewer:

Ada lagi Pak, sarana ramah lingkungannya?

Interviewee:

Masih ada taman tanaman obat keluarga (toga) Pak. Monggo kita menuju ke sebelah sana. Dibalik ruang kelas itu.

Interviewer:

Oh gitu....Monggo, Pak!

Interviewee:

Nah ini Pak, taman toganya. Ada berbagai jenis tanaman toga yang kita tanam di sini. Ada kunyit, jahe, lidah buaya, jeruk purut, binahong, daun dewa, dan lain lain.

Interviewer:

Apa Pak fungsi disediakanya taman toga ini bagi siswa?



Interviewee:

Taman toga ini bisa digunakan siswa untuk proses pendidikan lingkungan hidup, khususnya belajar tentang nama tanaman obat dan fungsinya sehingga mereka bisa juga menanamnya di rumah, Pak.

Interviewer:

Apakah ada lagi pak, sarana dan prasarana ramah lingkungannya?

Interviewee:

Masih ada, Pak. Monggo kita ke pojok sana. Di sana ada bangunan *green house*.

Interviewer:

Oh gitu.....Monggo, Pak!

Interviewee:

Nah....ini Pak, *green house*-nya! Monggo....silahkan masuk dan dilihat-lihat tanamannya!

Interviewer:

Fungsi dari *green house* ini apa ya Pak?

Interviewee:

Green house adalah tempat pembibitan yang berbentuk rumah seperti ini dan digunakan untuk menyemai benih/kecambah dan penyapihan bibit yang bersifat sementara sampai menjadi bibit yang siap tanam di lapangan. Menyemai merupakan kegiatan untuk menumbuhkan benih/kecambah dalam media pot/*polybag* pada tempat pembibitan. Sedangkan menyapih bibit merupakan memisahkan atau memindahkan bibit dari kelompoknya hingga menjadi tanaman individu dalam suatu wadah tersendiri sesuai dengan ukuran pertumbuhannya. Atap *green house* menggunakan paranet seperti itu Pak, untuk mencegah sinar matahari dan air hujan secara langsung agar tidak merusak tanaman. Atap *green house* menggunakan paranet.

Interviewer:

Wah....besar juga ya Pak, *green house*-nya?

Interviewee:

Yah....lumayan lah Pak.

Interviewer:

Ada lagi Pak, sarana ramah lingkungan yang lain yang dimiliki oleh sekolah ini?

Interviewee:

Oh iya....saya lupa! Kita juga punya Takakura, Pak. Posisinya di dekat kantin sekolah. Monggo....Kita lihat ke sana!

Interviewer:

Oh gitu.....Monggo Pak!

Interviewee:

Nah, ini Pak....takakuranya.

Interviewer:

Kalau fungsi takakura itu sendiri apa ya Pak Basjir?

Interviewee:

Takakura adalah sistem pengolahan sampah organik berbasis rumah tangga dengan menggunakan biang berupa pupuk kompos. Mirip-mirip fungsinya kayak komposter aerob tadi, Pak. Cuma ini lebih sederhana dan kecil.

Interviewer:

Oh gitu, ya Pak?

Interviewee:

Ya...begitulah.

Interviewer:

Mungkin ada lagi sarana dan prasarana ramah lingkungan yang lain Pak Basjir?

Interviewee:

Kalau untuk sarana dan prasarana ramah lingkungan sebagai persyaratan sekolah adiwiyata kayaknya sudah semua ya Pak Warju. Sudah kita kunjungi semua tadi.

Interviewer:

Kalau tentang sarana ramah lingkungan di bidang otomotif Pak Basjir, adakah?

Interviewee:

Wah...Kalau itu, enaknya kita langsung ke bengkel otomotif saja ya Pak. *Njenengan* nanti bisa lihat langsung kondisinya di sana. Monggo kita ke bengkel otomotif saja sekarang!

Interviewer:

Baik, Pak.....Monggo!

Interviewee:

Ini Pak Warju, bengkel otomotif kita. Ya kayak gini ini kondisinya.

Interviewer:

Wah.....gedungnya panjang ya Pak?

Interviewee:

Iya Pak! Tapi kurang lebar ya kayaknya....Haaaaaa.....

Interviewer:

Pak Basjir, berbicara tentang teknologi otomotif ramah lingkungan, teknologi apa saja yang sudah dibuat oleh sekolah ini agar mesin-mesin/engine stand untuk praktiknya ini ramah lingkungan?

Interviewee:

Mobil/engine stand praktik di sini sudah ada yang berteknologi *electronic fuel injection* (EFI) Pak walaupun sebagian besar masih berteknologi karburator. Yang mesin EFI juga sudah dilengkapi dengan teknologi VVT-i, kayak *engine stand* Avanza ini, Pak. Idealnya juga semua mobil/engine stand berbahan bakar bensin ini juga dilengkapi dengan teknologi *catalytic converter* Pak agar ramah lingkungan. Tapi kami belum mengembangkannya.

Interviewer:

Kalau fungsi *catalytic converter* itu sendiri apa ya Pak?

Interviewee:

Catalytic converter adalah teknologi otomotif yang digunakan untuk mengurangi emisi gas buang CO, HC, dan NOx pada motor bensin. Semua mobil bensin

keluaran terbaru pasti telah menggunakan teknologi ini, Pak. Diantaranya adalah Toyota Avanza, Daihatsu Xenia, Mitsubishi Expander, Suzuki Ertiga, Honda Mobilio, dan lain-lain.

Interviewer:

Kalau dari sisi bahan *catalytic converter* yang digunakan selama ini apa ya Pak?

Interviewee:

Bahannya ceramic berlapis Platinum dan Rhodium, Pak biasanya.

Interviewer:

Berapa Pak harga rata-rata *catalytic converter* itu setahu Bapak?

Interviewee:

Harganya sekitar Rp. 15 jutaan mungkin. Saya hanya baca-baca di katalog *spareparts* saja. Saya sendiri malah belum pernah beli, Pak.

Interviewer:

Kalau kondisi mobil diesel/*engine stand* diesel-nya gimana Pak? Apa juga sudah dilengkapi dengan teknologi otomotif rendah emisi?

Interviewee:

Kalau mobil praktik/*engine stand*-nya di bengkel ini semuanya masih menggunakan teknologi konvensional Pak, seperti teknologi *inline pump* dan *rotary pump*. Kami belum memiliki yang berteknologi *common-rail system*. Idealnya juga mesin-mesin ini dilengkapi juga dengan teknologi *diesel particulate filter* (DPF) di knalpotnya ya Pak agar ramah lingkungan. Asapnya itu lho.....mengepul.....kayak *fogging* kalau mesinnya di gas....Haaaaa.....*Plepeken* Pak, apalagi pas putaran tinggi.

Interviewer:

Haaa..... kayak mesin dua tak ya Pak.....*fogging* keliling.

Interviewee:

Haaa.....bener itu!

Interviewer:

Kalau fungsi teknologi DPF itu sendiri untuk apa ya Pak Basjir?

Interviewee:

DPF adalah teknologi otomotif yang digunakan untuk mengurangi emisi partikulat pada motor diesel. Penggunaan DPF pada mobil terbaru diantaranya adalah Toyota Innova diesel, Mitsubishi Pajero Sport, dan Toyota Fortuner, Pak.

Interviewer:

Kalau bahan pembuatan DPF itu sendiri apa ya Pak Basjir? Kok bisa mereduksi emisi partikulat mesin diesel?

Interviewee:

Bahan DPF adalah alumina-silica berlapis Platinum dan Rhodium biasanya, Pak.

Interviewer:

Harga DPF itu sendiri menurut Bapak berapa ya?

Interviewee:

Harganya mungkin juga sekitar Rp. 15 jutaan Pak. Mirip-mirip dengan *catalytic converter* di mobil bensin ya. Saya sendiri juga belum pernah beli. Haaaaa.....

Interviewer:

Oh gitu ya, Pak! Selain teknologi *diesel particulate filter* dan *catalytic converter*, apakah ada teknologi otomotif ramah lingkungan yang lain di bengkel ini ya Pak?

Interviewee:

Ada, Pak! Kita punya teknologi *exhaust gas recirculation* (EGR) yang dipasang di mesin bensin dan mesin diesel itu.

Interviewer:

Apa Pak fungsi dari EGR itu sendiri?

Interviewee:

EGR adalah sebuah katup yang dipasang pada *exhaust manifold* mobil bensin dan mobil diesel untuk mereduksi emisi NOx yang dihasilkan di knalpot, Pak. Lha.....ini contoh EGR-nya. Di mobil itu juga ada, Pak.

Interviewer:

Selain teknologi EGR, apakah ada teknologi yang lain Pak Basjir?

Interviewee:

Teknologi *positive crankcase ventilation* (PCV) Pak, Biasanya dipasang pada tutup kepala silinder mobil bensin maupun mobil diesel. Monggo.....Kita lihat Toyota Kijang tipe 7K yang itu, Pak!

Interviewer:

Apa Pak fungsi dari teknologi PCV itu sendiri?

Interviewee:

PCV adalah sebuah katup sebagai pereduksi emisi CO dan HC yang dipasang pada tutup kepala silinder mobil untuk mencegah mengalirnya *blow by gas* ke udara luar. Bentuk katup PCV-nya kayak ini Pak. Nanti dia akan mengalirkan *blow by gas* ke *intake manifold* ini.

Interviewer:

Kalau berbicara tentang tingkat kebisingan (*noise level*) Pak Basjir, teknologi apa yang diaplikasikan di mobil-mobil ini agar ramah lingkungan?

Interviewee:

Nah ini.....masalahnya, Pak. Kebanyakan kan kita punya *engine stand*. Jadi, knalpotnya udah gak standar lagi karena dipotong menyesuaikan bentuk rangka *engine stand* itu sendiri. Akibatnya mesin-mesin disini cenderung bising suaranya. Harusnya dilengkapi dengan teknologi *eco-muffler* ya Pak untuk menghasilkan suara yang halus.

Interviewer:

Eco-muffler itu sendiri apa ya Pak Basjir?

Interviewee:

Eco-muffler adalah alat kontrol reduksi kebisingan kendaraan dengan cara menurunkan tekanan dan temperatur gas buang saat melewati *muffler*. *Eco-muffler* digunakan pada semua mobil keluaran terbaru agar didapatkan tingkat kebisingan yang rendah dan memenuhi baku mutu kebisingan, Pak.

Interviewer:

Bahan pembuatan *eco-muffler* itu sendiri apa ya Pak Basjir?

Interviewee:

Bahan *eco-muffler* adalah plat galvanis atau plat *stainless steel* biasanya, Pak.

Interviewer:

Berapa Pak kisaran harga *eco-muffler* setahu Bapak?

Interviewee:

Harga sekitar Rp 1.750.000-Rp. 2.000.000, Pak!

Interviewer:

Kalau tentang limbah filter oli bekas Pak, apa yang dilakukan oleh sekolah untuk menanggulangi limbah oli dari oil filter bekas tersebut?

Interviewee:

Wah, kita belum melakukan apa-apa, Pak. Biasanya filter oli bekas itu kita buang begitu saja ke tempat sampah logam di depan itu. Oh iya, mumpung ingat.....Monggo dilihat dulu tempat sampah terpisahnya di sana, Pak.

Interviewer:

Oh ya, Pak....Monggo!

Interviewee:

Nah...ini Pak, tempat sampah terpisahnya kalau di bengkel/lab. Ada 4 tempat sampah terpisahnya. Ada tempat sampah daun, sampah plastik, sampah kertas, dan sampah logam. Nah....filter oli bekas biasanya kita taruh di tempat sampah/limbah logam ini, Pak.

Interviewer:

Oh iya....ada 4 tempat sampah terpisah ya Pak.

Interviewer:

Ada lagi Pak, teknologi otomotif ramah lingkungannya?

Interviewee:

Oh ya.....Monggo kita ke unit sepeda motor praktik di sebelah sana itu Pak. Sepeda motor ini juga telah dilengkapi dengan teknologi *air injection system* (AIS), Pak. Nah....ini contoh teknologi AIS-nya, Pak!

Interviewer:

Apa Pak fungsi dari teknologi AIS ini?

Interviewee:

Teknologi AIS digunakan untuk menginjeksikan udara segar ke lubang pembuangan mesin (*exhaust port*) pada sepeda motor untuk mereduksi emisi CO dan HC yang dihasilkan oleh mesin. Timbulnya emisi CO dan HC kan karena pembakaran terjadi akibat kekurangan oksigen Pak sehingga dengan teknologi AIS ini, akan diinjeksikan udara segar (O₂) ke lubang pembuangan mesin sehingga reduksi emisi CO menjadi CO₂ dan HC menjadi H₂O akan lebih cepat tercapai. Gitu Pak.

Interviewer:

Oh...gitu ya, Pak!

Interviewer:

Ada lagi Pak sarana ramah lingkungan yang ada di bengkel otomotif ini?

Interviewee:

Kita juga punya *exhauster*, Pak.

Interviewer:

Fungsi *exhauster* itu sendiri untuk apa ya Pak Basjir?

Interviewee:

Exhauster adalah cerobong yang digunakan untuk mengalirkan asap gas buang dari knalpot menuju lingkungan sekitar, Pak. Asapnya kita alirkan ke taman sekolah yang di depan itu, Pak. Seperti kita ketahui, salah satu emisi gas buang kan CO₂. Nah.....emisi CO₂ tersebut kita alirkan ke taman sekolah itu. Proses fotosintesis tanaman kan membutuhkan sinar matahari dan emisi CO₂ di zat hijau daun (klorofil) tanaman ya Pak yang akan menghasilkan oksigen (O₂) sehingga bengkel ini tetap bisa ramah lingkungan karena menghasilkan oksige yang berlimpah.

Interviewer:

Wah....menarik sekali ya Pak Basjir idenya. Masih adakah sarana ramah lingkungan yang lain yang dimiliki oleh bengkel ini Pak?

Interviewee:

Sudah semua kayaknya, Pak Warju! Semua sudah kita kunjungi dan sudah saya jelaskan detailnya.

Interviewer:

Baik Pak Basjir. Terima kasih banyak atas waktu dan informasinya. Mohon maaf ya Pak menyita jam kerja Bapak.

Interviewee:

Wah, gak apa-apa, Pak Warju! Monggo kalau kurang data atau butuh apa-apa kontak lagi saya saja. Jangan sungkan-sungkan.

Interviewer:

Oh injih Pak Basjir, siap! Matur nuwun.

Interviewer:

Saya tak pamit balik dulu ke kampus ya Pak. Assalaamu'alaikum!

Interviewee:

Wa'alaikumsalam, Pak Warju! Hati-hati *Iho* Pak!

Interviewer:

Iya, Pak Basjir. Matur nuwun.

Mengetahui,
Interviewee
SMK Semen Gresik



Moch. Basjir, S.Pd.

Gresik, 28 Juni 2016

Interviewer,



Warju

Lampiran 8

INSTRUMEN ANALISIS KEBUTUHAN (NEEDS ASSESSMENT)
TENTANG TEKNOLOGI OTOMOTIF RAMAH LINGKUNGAN
DI SMK SEMEN GRESIK

| No. | Permasalahan Lingkungan | Analisis Kebutuhan (Needs Assessment) Tentang Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan | Aplikasi | Skala Prioritas |
|-----|--|---|---|--|
| 1 | Estimasi total beban emisi CO di sekolah sebesar 14,1 ton/thn, emisi HC sebesar 4,4 ton/thn, emisi NOx sebesar 0,8 ton/thn yg sangat berbahaya bagi kesehatan siswa, guru, tenaga kependidikan, polusi gas lainnya khusus, master kelas dan lingkungan | Teknologi Metallic Catalytic Converter atau reduksi emisi CO dan HC, tingkat kebisingan, dan konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor | Semua jenis sepeda motor dan mobil bensin | Mesin bensin Toyota Kijang Tipe 7K (1800 cc) |
| 2 | Estimasi total emisi PM10 sebesar 0,2 ton/thn dan emisi NOx sebesar 0,8 ton/thn yg sangat berbahaya bagi kesehatan siswa, guru, tenaga kependidikan, | Teknologi Diesel Particulate Filter (DPF) untuk mereduksi operasi gas buang (emisi PM), tingkat kebisingan, dan konsumsi bahan bakar mesin diesel | Semua jenis mesin diesel | Mesin diesel Isuzu C190 (1900 cc) |

| No. | Permasalahan Lingkungan | Analisis Kebutuhan (Needs Assessment) Tentang Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan | Aplikasi | Skala Prioritas |
|-----|---|--|---|--|
| | Pelayan khusus, motor- rakit dan lingkungan | | | |
| 3 | Tingkat kebisingan (noise level) di lingkungan di sekitar sekolah saat mesin-mesin praktik dihidupkan sebesar 81,9-106,7 dBA (kategori sangat bising sampai merugikan) terutama pada saat putaran mesin menengah hingga putaran mesin tinggi dan rata-rata kebisingan sebesar 86,7 dBA yang dapat menimbulkan gangguan fungsi pembelajaran bagi siswa, guru, tenaga kependidikan, dan pelayan khusus di sekolah | Teknologi muffler ramah lingkungan (eco-muffler) yang mengurangi tingkat kebisingan kendaraan bermotor | Semua jenis mobil bensin dan mobil diesel | Mesin bensin Toyota King Tipe SK (1500 cc) |

| No. | Permasalahan Lingkungan | Analisis Kebutuhan (Needs Assessment) Tentang Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan | Aplikasi | Skala Prioritas |
|-----|--|--|---|------------------------------------|
| 4 | Setiap tahun dihasilkan 32 busah sarungan oli mesin bekas (usia oli filter) yg dibuang begitu saja ke tempat sampah tanpa adanya perlakuan (treatment) terlebih dahulu dgn estimasi limbah oli sebesar 16 liter limbah oli/tahun yg akan mencemari tanah sm air. | Teknologi oil filter cleaner untuk merebusi limbah oli dari sarungan oli mesin bekas (usia oli filter) | Semua jenis oil filter bekas dari mesin bensin dan mesin diesel | oil filter bekas dari mesin bensin |

Mengetahui,
Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik

Moh. Basjir, S.Pd.

Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik

Des. Setiyo Budi

Gresik, 5 Januari 2017

Pengambil Data,

Warju

Menyetujui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan

Des. Murtadlo

Lampiran 9

DATA HASIL PENGUJIAN KNALPOT STANDAR MESIN TOYOTA
KIJANG TIPE 7K DI SMK SEMEN GRESIK

Hari, Tanggal Uji : Sem, 27 Februari 2017
 Lokasi Uji : Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Anif Rahman Hakim No 90, Sidokumpul kec.
 Gresik kab. Gresik Jawa Timur, kode pos 61111
 Telp./Fax : (031) 3984836

DATA KENDARAAN UJI

Merek : TOYOTA
 Tipe : Kijang
 Kapasitas Silinder : 1800 cc
 Tipe Mesin : 7K, 4 silinder inline over head valve (OHV)
 karburator, dan pendingin air
 Bahan Bakar : Pertalite
 Temperatur Oli Mesin : 60°C
 Temperatur Ruang Uji : 30°C

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Lambda dan Emisi CO

| Putaran Mesin (RPM) | Lambda (λ) | | | | Emisi CO (% Vol) | | | |
|---------------------------|----------------------|--------|--------|---------------|------------------|--------|--------|---------------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata- rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata- rata |
| 750 | 0,606 | 0,607 | 0,606 | 0,606 | 4,60 | 4,61 | 4,61 | 4,61 |
| 1000 | 0,775 | 0,775 | 0,776 | 0,775 | 4,28 | 4,27 | 4,27 | 4,27 |
| 1250 | 0,806 | 0,805 | 0,805 | 0,805 | 3,95 | 3,95 | 3,96 | 3,95 |
| 1500 | 0,872 | 0,872 | 0,871 | 0,872 | 3,89 | 3,89 | 3,89 | 3,89 |
| 1750 | 0,879 | 0,878 | 0,878 | 0,878 | 3,32 | 3,32 | 3,33 | 3,32 |
| 2000 | 0,890 | 0,890 | 0,889 | 0,890 | 3,13 | 3,14 | 3,14 | 3,14 |
| 2250 | 0,918 | 0,918 | 0,917 | 0,918 | 3,03 | 3,02 | 3,02 | 3,02 |
| 2500 | 0,927 | 0,928 | 0,928 | 0,928 | 2,97 | 2,97 | 2,96 | 2,97 |
| 2750 | 0,976 | 0,976 | 0,977 | 0,976 | 2,84 | 2,84 | 2,85 | 2,84 |
| 3000 | 0,982 | 0,981 | 0,981 | 0,981 | 2,66 | 2,67 | 2,67 | 2,67 |
| 3250 | 1,039 | 1,100 | 1,100 | 1,100 | 2,50 | 2,51 | 2,51 | 2,51 |
| 3500 | 1,372 | 1,372 | 1,371 | 1,372 | 2,13 | 2,13 | 2,12 | 2,13 |
| 3750 | 1,403 | 1,404 | 1,404 | 1,404 | 1,96 | 1,96 | 1,95 | 1,96 |
| 4000 | 1,410 | 1,410 | 1,409 | 1,410 | 1,78 | 1,78 | 1,77 | 1,78 |
| 4250 | 1,411 | 1,412 | 1,412 | 1,412 | 1,56 | 1,55 | 1,55 | 1,55 |
| 4500 | 1,424 | 1,424 | 1,423 | 1,424 | 1,39 | 1,39 | 1,40 | 1,39 |
| 4750 | 1,430 | 1,429 | 1,429 | 1,429 | 1,26 | 1,27 | 1,27 | 1,27 |
| 5000 | 1,448 | 1,449 | 1,449 | 1,449 | 1,16 | 1,15 | 1,15 | 1,15 |

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Temperatur dan Emisi COcor

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | | Emisi COcor (% Vol) | | | |
|---------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|---------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 107 | 107 | 107 | 107 | 4,60 | 4,61 | 4,61 | 4,61 |
| 1000 | 120 | 119 | 119 | 119 | 4,27 | 4,27 | 4,26 | 4,27 |
| 1250 | 136 | 137 | 137 | 137 | 3,94 | 3,95 | 3,95 | 3,95 |
| 1500 | 155 | 155 | 156 | 155 | 3,85 | 3,84 | 3,84 | 3,84 |
| 1750 | 170 | 171 | 171 | 171 | 3,32 | 3,32 | 3,33 | 3,32 |
| 2000 | 188 | 187 | 189 | 188 | 3,19 | 3,19 | 3,13 | 3,14 |
| 2250 | 204 | 207 | 203 | 203 | 3,03 | 3,02 | 3,02 | 3,02 |
| 2500 | 219 | 210 | 210 | 210 | 2,98 | 2,97 | 2,97 | 2,97 |
| 2750 | 246 | 245 | 245 | 245 | 2,84 | 2,84 | 2,85 | 2,84 |
| 3000 | 257 | 257 | 256 | 257 | 2,67 | 2,67 | 2,66 | 2,67 |
| 3250 | 285 | 285 | 284 | 285 | 2,50 | 2,51 | 2,51 | 2,51 |
| 3500 | 290 | 297 | 297 | 297 | 2,13 | 2,13 | 2,12 | 2,13 |
| 3750 | 303 | 304 | 304 | 304 | 1,95 | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| 4000 | 309 | 309 | 310 | 309 | 1,78 | 1,78 | 1,77 | 1,78 |
| 4250 | 311 | 311 | 310 | 311 | 1,54 | 1,55 | 1,55 | 1,55 |
| 4500 | 310 | 317 | 317 | 317 | 1,38 | 1,39 | 1,39 | 1,39 |
| 4750 | 345 | 346 | 346 | 346 | 1,26 | 1,27 | 1,27 | 1,27 |
| 5000 | 355 | 354 | 354 | 354 | 1,15 | 1,15 | 1,14 | 1,15 |

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Emisi CO₂ dan O₂

| Putaran Mesin (RPM) | Emisi CO ₂ (% Vol) | | | | Emisi O ₂ (% Vol) | | | |
|---------------------|-------------------------------|--------|--------|-----------|------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 4,16 | 4,15 | 4,15 | 4,15 | 4,5 | 4,9 | 4,5 | 4,5 |
| 1000 | 4,67 | 4,68 | 4,68 | 4,68 | 5,0 | 4,9 | 4,9 | 4,9 |
| 1250 | 5,43 | 5,43 | 5,42 | 5,43 | 5,2 | 5,3 | 5,2 | 5,3 |
| 1500 | 5,88 | 5,87 | 5,87 | 5,87 | 6,2 | 6,2 | 6,1 | 6,2 |
| 1750 | 6,12 | 6,12 | 6,11 | 6,12 | 6,3 | 6,2 | 6,3 | 6,3 |
| 2000 | 6,78 | 6,77 | 6,78 | 6,78 | 6,5 | 6,6 | 6,6 | 6,6 |
| 2250 | 7,17 | 7,18 | 7,18 | 7,18 | 6,6 | 6,6 | 6,6 | 6,6 |
| 2500 | 7,99 | 7,98 | 7,99 | 7,99 | 6,8 | 6,9 | 6,9 | 6,9 |
| 2750 | 8,22 | 8,23 | 8,23 | 8,23 | 7,1 | 7,0 | 7,1 | 7,1 |
| 3000 | 10,58 | 10,58 | 10,57 | 10,58 | 7,2 | 7,1 | 7,1 | 7,1 |
| 3250 | 11,75 | 11,76 | 11,76 | 11,76 | 7,1 | 7,2 | 7,1 | 7,1 |
| 3500 | 11,64 | 11,63 | 11,63 | 11,63 | 7,1 | 7,2 | 7,2 | 7,2 |
| 3750 | 11,18 | 11,17 | 11,18 | 11,18 | 7,3 | 7,2 | 7,2 | 7,2 |
| 4000 | 11,07 | 11,08 | 11,07 | 11,07 | 7,4 | 7,4 | 7,4 | 7,4 |
| 4250 | 10,60 | 10,59 | 10,60 | 10,60 | 7,5 | 7,4 | 7,4 | 7,4 |
| 4500 | 10,46 | 10,45 | 10,45 | 10,45 | 7,5 | 7,5 | 7,6 | 7,5 |
| 4750 | 9,35 | 9,36 | 9,36 | 9,36 | 7,6 | 7,5 | 7,5 | 7,5 |
| 5000 | 9,21 | 9,20 | 9,21 | 9,21 | 7,6 | 7,6 | 7,7 | 7,6 |

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Emisi HC dan SPL

| Putaran Mesin (RPM) | Emisi HC (ppm Vol) | | | | SPL (dBA) | | | |
|---------------------|--------------------|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 425 | 424 | 425 | 425 | 81,3 | 81,4 | 81,4 | 81,4 |
| 1000 | 400 | 399 | 399 | 399 | 84,7 | 84,6 | 84,7 | 84,7 |
| 1250 | 319 | 320 | 320 | 320 | 86,4 | 86,4 | 86,5 | 86,4 |
| 1500 | 275 | 274 | 275 | 275 | 88,3 | 88,2 | 88,2 | 88,2 |
| 1750 | 246 | 245 | 245 | 245 | 89,7 | 89,7 | 89,6 | 89,7 |
| 2000 | 213 | 212 | 213 | 213 | 90,5 | 90,6 | 90,6 | 90,6 |
| 2250 | 179 | 179 | 180 | 179 | 92,5 | 92,5 | 92,4 | 92,5 |
| 2500 | 137 | 138 | 138 | 138 | 93,0 | 92,9 | 92,9 | 92,9 |
| 2750 | 105 | 106 | 106 | 106 | 93,4 | 93,5 | 93,4 | 93,4 |
| 3000 | 87 | 87 | 88 | 87 | 95,9 | 95,8 | 95,8 | 95,8 |
| 3250 | 65 | 66 | 66 | 66 | 97,7 | 97,7 | 97,6 | 97,7 |
| 3500 | 75 | 74 | 75 | 75 | 99,3 | 99,4 | 99,4 | 99,4 |
| 3750 | 80 | 81 | 81 | 81 | 100,5 | 100,5 | 100,6 | 100,5 |
| 4000 | 95 | 94 | 94 | 94 | 101,7 | 101,8 | 101,8 | 101,8 |
| 4250 | 108 | 109 | 108 | 108 | 102,4 | 102,4 | 102,5 | 102,4 |
| 4500 | 130 | 129 | 129 | 129 | 103,0 | 102,9 | 102,9 | 102,9 |
| 4750 | 145 | 145 | 144 | 145 | 103,3 | 103,3 | 103,4 | 103,3 |
| 5000 | 200 | 201 | 201 | 201 | 104,0 | 103,9 | 103,9 | 103,9 |

Tabel 5. Data Hasil Pengukuran Tekanan Balik dan Konsumsi Bahan Bakar

| Putaran Mesin (RPM) | Tekanan Balik (kPa) | | | | Konsumsi Bahan Bakar (50 ml/detik) | | | |
|---------------------|---------------------|--------|--------|-----------|------------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 0,91 | 0,96 | 0,96 | 0,96 | 39,58 | 39,59 | 39,58 | 39,58 |
| 1000 | 1,63 | 1,62 | 1,62 | 1,62 | 37,60 | 37,61 | 37,61 | 37,61 |
| 1250 | 2,53 | 2,52 | 2,53 | 2,53 | 35,73 | 35,73 | 35,74 | 35,73 |
| 1500 | 3,12 | 3,13 | 3,13 | 3,13 | 34,60 | 34,61 | 34,61 | 34,61 |
| 1750 | 3,86 | 3,86 | 3,85 | 3,86 | 33,45 | 33,45 | 33,44 | 33,45 |
| 2000 | 4,77 | 4,77 | 4,76 | 4,77 | 32,38 | 32,39 | 32,39 | 32,39 |
| 2250 | 6,14 | 6,15 | 6,15 | 6,15 | 31,44 | 31,45 | 31,45 | 31,45 |
| 2500 | 7,67 | 7,67 | 7,67 | 7,67 | 30,97 | 30,97 | 30,96 | 30,97 |
| 2750 | 8,80 | 8,80 | 8,79 | 8,80 | 29,63 | 29,64 | 29,64 | 29,64 |
| 3000 | 9,64 | 9,65 | 9,65 | 9,65 | 25,51 | 25,51 | 25,50 | 25,51 |
| 3250 | 10,79 | 10,80 | 10,80 | 10,80 | 24,29 | 24,30 | 24,30 | 24,30 |
| 3500 | 11,62 | 11,62 | 11,63 | 11,62 | 23,69 | 23,68 | 23,69 | 23,69 |
| 3750 | 12,06 | 12,05 | 12,05 | 12,05 | 23,13 | 23,12 | 23,12 | 23,12 |
| 4000 | 13,23 | 13,22 | 13,23 | 13,23 | 22,56 | 22,55 | 22,56 | 22,56 |
| 4250 | 13,99 | 14,00 | 14,00 | 14,00 | 22,86 | 22,87 | 22,87 | 22,87 |
| 4500 | 14,78 | 14,77 | 14,78 | 14,78 | 22,40 | 22,40 | 22,39 | 22,40 |
| 4750 | 15,29 | 15,30 | 15,30 | 15,30 | 21,52 | 21,51 | 21,52 | 21,52 |
| 5000 | 17,78 | 17,77 | 17,78 | 17,78 | 20,30 | 20,29 | 20,30 | 20,30 |

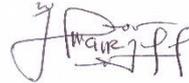
Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik



Moh. Basjir, S.Pd.



Gresik, 27 Februari 2017
Pengambil Data,



Warju

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan



Drs. Murtadlo

Lampiran 9

**DATA HASIL UJI COBA AWAL (PRELIMINARY FIELD TESTING)
METALLIC CATALYTIC CONVERTER BERBAHAN DASAR
PLAT KUNINGAN (Cu+Zn) DI SMK SEMEN GRESIK**

Hari, Tanggal Uji : Kamis, 16 Maret 2017
 Lokasi Uji : Komplek Otonomif SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arif Rahman Hakim No. 90, Sidakumpul,
 Kec. Gresik, Kab. Gresik, Jawa Timur, Kode Pos. 61111
 Telp./Fax : (031) 2404034

DATA KENDARAAN UJI

Merek : TOYOTA
 Tipe : Kijang
 Kapasitas Silinder : 1800 cc
 Tipe Mesin : 7K... a Silinder Intake Over head Valve (OHV),
 karburator dan Pendingin Air
 Bahan Bakar : Petrolite
 Temperatur Oli Mesin : 60 °C
 Temperatur Ruang Uji : 30 °C

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Lambda dan Emisi CO

| Putaran Mesin (RPM) | Lambda (λ) | | | | Emisi CO (% Vol) | | | |
|---------------------------|----------------------|--------|--------|---------------|------------------|--------|--------|---------------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata- rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata- rata |
| 750 | 0,1704 | 0,1703 | 0,1704 | 0,1704 | 0,93 | 0,94 | 0,94 | 0,94 |
| 1000 | 0,1826 | 0,1835 | 0,1835 | 0,1835 | 0,88 | 0,89 | 0,89 | 0,89 |
| 1250 | 0,1857 | 0,1857 | 0,1856 | 0,1857 | 0,88 | 0,88 | 0,88 | 0,88 |
| 1500 | 0,1876 | 0,1876 | 0,1875 | 0,1876 | 0,87 | 0,88 | 0,88 | 0,88 |
| 1750 | 0,1956 | 0,1957 | 0,1957 | 0,1957 | 0,66 | 0,67 | 0,66 | 0,66 |
| 2000 | 0,1971 | 0,1971 | 0,1970 | 0,1971 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |
| 2250 | 0,1970 | 0,1971 | 0,1971 | 0,1971 | 0,60 | 0,59 | 0,60 | 0,60 |
| 2500 | 0,1902 | 0,1902 | 0,1901 | 0,1902 | 0,58 | 0,59 | 0,59 | 0,59 |
| 2750 | 0,1996 | 0,1997 | 0,1997 | 0,1997 | 0,59 | 0,58 | 0,59 | 0,59 |
| 3000 | 0,1995 | 0,1995 | 0,1994 | 0,1995 | 0,49 | 0,48 | 0,48 | 0,48 |
| 3250 | 1,1050 | 1,1059 | 1,1059 | 1,1059 | 0,40 | 0,39 | 0,40 | 0,40 |
| 3500 | 1,1174 | 1,1174 | 1,1173 | 1,1174 | 0,33 | 0,34 | 0,34 | 0,34 |
| 3750 | 1,1179 | 1,1180 | 1,1180 | 1,1180 | 0,30 | 0,29 | 0,30 | 0,30 |
| 4000 | 1,1245 | 1,1245 | 1,1244 | 1,1245 | 0,25 | 0,24 | 0,24 | 0,24 |
| 4250 | 1,1250 | 1,1251 | 1,1251 | 1,1251 | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,18 |
| 4500 | 1,1277 | 1,1278 | 1,1277 | 1,1277 | 0,18 | 0,17 | 0,17 | 0,17 |
| 4750 | 1,1290 | 1,1291 | 1,1291 | 1,1291 | 0,16 | 0,16 | 0,15 | 0,16 |
| 5000 | 1,1304 | 1,1305 | 1,1304 | 1,1304 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Temperatur dan Emisi COcor

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | | Emisi COcor (% Vol) | | | |
|---------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|---------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 144 | 143 | 144 | 144 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| 1000 | 155 | 154 | 154 | 154 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 1250 | 164 | 164 | 165 | 164 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 1500 | 174 | 174 | 175 | 174 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 1750 | 185 | 184 | 184 | 184 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| 2000 | 207 | 208 | 207 | 207 | 0,06 | 0,05 | 0,06 | 0,06 |
| 2250 | 225 | 224 | 227 | 225 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| 2500 | 249 | 248 | 248 | 248 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,05 |
| 2750 | 261 | 262 | 262 | 262 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| 3000 | 282 | 281 | 282 | 282 | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,08 |
| 3250 | 300 | 301 | 301 | 301 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 3500 | 308 | 309 | 309 | 309 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 3750 | 310 | 310 | 311 | 310 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 4000 | 311 | 312 | 312 | 312 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 4250 | 317 | 318 | 318 | 318 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 4500 | 319 | 319 | 319 | 319 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 4750 | 380 | 381 | 381 | 381 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| 5000 | 392 | 392 | 392 | 392 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Emisi CO₂ dan O₂

| Putaran Mesin (RPM) | Emisi CO ₂ (% Vol) | | | | Emisi O ₂ (% Vol) | | | |
|---------------------|-------------------------------|--------|--------|-----------|------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 5,47 | 5,46 | 5,47 | 5,47 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,1 |
| 1000 | 5,50 | 5,51 | 5,51 | 5,51 | 3,4 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| 1250 | 6,23 | 6,22 | 6,22 | 6,22 | 4,0 | 3,9 | 4,0 | 4,0 |
| 1500 | 7,27 | 7,27 | 7,26 | 7,27 | 4,4 | 4,4 | 4,3 | 4,4 |
| 1750 | 7,30 | 7,30 | 7,31 | 7,30 | 4,8 | 4,7 | 4,7 | 4,7 |
| 2000 | 7,73 | 7,73 | 7,72 | 7,73 | 4,7 | 4,6 | 4,7 | 4,7 |
| 2250 | 8,75 | 8,76 | 8,76 | 8,76 | 4,6 | 4,7 | 4,7 | 4,7 |
| 2500 | 9,08 | 9,07 | 9,07 | 9,07 | 4,4 | 5,0 | 4,9 | 4,9 |
| 2750 | 10,08 | 10,08 | 10,09 | 10,08 | 5,0 | 4,9 | 4,9 | 4,9 |
| 3000 | 12,97 | 12,97 | 12,96 | 12,97 | 5,0 | 4,9 | 5,0 | 5,0 |
| 3250 | 14,13 | 14,12 | 14,12 | 14,12 | 5,1 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| 3500 | 13,57 | 13,57 | 13,58 | 13,57 | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 5,1 |
| 3750 | 13,02 | 13,03 | 13,03 | 13,03 | 5,2 | 5,3 | 5,3 | 5,3 |
| 4000 | 12,29 | 12,30 | 12,30 | 12,30 | 5,7 | 5,6 | 5,7 | 5,7 |
| 4250 | 11,05 | 11,05 | 11,06 | 11,05 | 5,8 | 5,9 | 5,9 | 5,9 |
| 4500 | 11,45 | 11,46 | 11,46 | 11,46 | 6,0 | 5,9 | 5,9 | 5,9 |
| 4750 | 10,17 | 10,17 | 10,16 | 10,17 | 6,3 | 6,2 | 6,3 | 6,3 |
| 5000 | 10,07 | 10,08 | 10,08 | 10,08 | 7,3 | 7,4 | 7,4 | 7,4 |

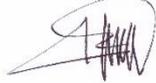
Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Emisi HC dan SPL

| Putaran Mesin (RPM) | Emisi HC (ppm Vol) | | | | SPL (dBA) | | | |
|---------------------|--------------------|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 109 | 110 | 110 | 110 | 74,2 | 74,1 | 74,1 | 74,2 |
| 1000 | 106 | 105 | 106 | 106 | 76,4 | 76,3 | 76,3 | 76,3 |
| 1250 | 95 | 96 | 96 | 96 | 79,6 | 79,5 | 79,6 | 79,6 |
| 1500 | 95 | 94 | 95 | 95 | 82,7 | 82,8 | 82,8 | 82,8 |
| 1750 | 90 | 91 | 91 | 91 | 83,6 | 83,5 | 83,6 | 83,6 |
| 2000 | 88 | 88 | 87 | 88 | 85,8 | 85,7 | 85,7 | 85,7 |
| 2250 | 81 | 80 | 81 | 81 | 86,8 | 86,7 | 86,8 | 86,8 |
| 2500 | 95 | 96 | 96 | 96 | 86,9 | 87,0 | 87,0 | 87,0 |
| 2750 | 91 | 91 | 90 | 91 | 87,1 | 87,0 | 87,1 | 87,1 |
| 3000 | 50 | 50 | 49 | 50 | 87,5 | 87,4 | 87,4 | 87,4 |
| 3250 | 33 | 32 | 32 | 32 | 89,2 | 89,2 | 89,3 | 89,2 |
| 3500 | 33 | 33 | 32 | 33 | 89,6 | 89,5 | 89,5 | 89,5 |
| 3750 | 40 | 39 | 39 | 39 | 90,0 | 89,9 | 89,9 | 89,9 |
| 4000 | 46 | 46 | 45 | 46 | 90,4 | 90,4 | 90,5 | 90,4 |
| 4250 | 51 | 52 | 52 | 52 | 91,2 | 91,1 | 91,1 | 91,1 |
| 4500 | 53 | 53 | 54 | 53 | 92,0 | 91,9 | 91,9 | 91,9 |
| 4750 | 60 | 59 | 59 | 59 | 93,1 | 93,1 | 93,0 | 93,1 |
| 5000 | 62 | 61 | 61 | 61 | 95,5 | 95,6 | 95,6 | 95,6 |

Tabel 5. Data Hasil Pengukuran Tekanan Balik dan Konsumsi Bahan Bakar

| Putaran Mesin (RPM) | Tekanan Balik (kPa) | | | | Konsumsi Bahan Bakar (50 ml/detik) | | | |
|---------------------|---------------------|--------|--------|-----------|------------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 1,21 | 1,20 | 1,21 | 1,21 | 40,45 | 40,45 | 40,44 | 40,45 |
| 1000 | 1,88 | 1,87 | 1,87 | 1,87 | 38,35 | 38,31 | 38,34 | 38,34 |
| 1250 | 2,93 | 2,93 | 2,94 | 2,93 | 36,68 | 36,67 | 36,67 | 36,67 |
| 1500 | 3,85 | 3,86 | 3,86 | 3,86 | 35,73 | 35,73 | 35,74 | 35,73 |
| 1750 | 4,23 | 4,22 | 4,22 | 4,22 | 34,66 | 34,65 | 34,65 | 34,65 |
| 2000 | 5,73 | 5,73 | 5,74 | 5,73 | 33,78 | 33,77 | 33,78 | 33,78 |
| 2250 | 6,63 | 6,63 | 6,62 | 6,63 | 32,60 | 32,61 | 32,61 | 32,61 |
| 2500 | 8,99 | 8,98 | 8,98 | 8,98 | 31,79 | 31,80 | 31,79 | 31,79 |
| 2750 | 9,30 | 9,31 | 9,31 | 9,31 | 28,44 | 28,45 | 28,45 | 28,45 |
| 3000 | 10,15 | 10,14 | 10,15 | 10,15 | 26,64 | 26,65 | 26,64 | 26,64 |
| 3250 | 11,66 | 11,65 | 11,65 | 11,65 | 25,12 | 25,13 | 25,13 | 25,13 |
| 3500 | 11,95 | 11,96 | 11,95 | 11,95 | 24,49 | 24,49 | 24,50 | 24,49 |
| 3750 | 12,69 | 12,70 | 12,70 | 12,70 | 23,77 | 23,78 | 23,78 | 23,78 |
| 4000 | 13,69 | 13,70 | 13,69 | 13,69 | 23,65 | 23,65 | 23,66 | 23,65 |
| 4250 | 14,49 | 14,50 | 14,50 | 14,50 | 23,45 | 23,44 | 23,44 | 23,44 |
| 4500 | 15,15 | 15,14 | 15,15 | 15,15 | 23,21 | 23,21 | 23,20 | 23,21 |
| 4750 | 15,81 | 15,82 | 15,82 | 15,82 | 22,66 | 22,67 | 22,67 | 22,67 |
| 5000 | 18,65 | 18,64 | 18,65 | 18,65 | 21,55 | 21,54 | 21,54 | 21,54 |

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik



Moh. Basjir, S.Pd.



Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik
Drs. Setiyo Budi

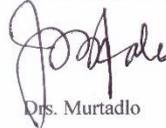
Gresik, 16 Maret 2017
Pengambil Data,



Warju

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan



Drs. Murtadlo

Lampiran 9

**DATA HASIL UJI LAPANGAN UTAMA (MAIN FIELD TESTING)
METALLIC CATALYTIC CONVERTER BERBAHAN DASAR
PLAT TEMBAGA (Cu) DI SMK SEMEN GRESIK**

Hari, Tanggal Uji : Rabu, 29 Maret 2017
 Lokasi Uji : Bangsal Otomotif SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arif Rahman Hakim No. 90, Sidokumpul
 Kec. Gresik, Kab. Gresik, Jawa Timur, Kode Pos 6111
 Telp./Fax : (031) 3981036

DATA KENDARAAN UJI

Merek : Toyota
 Tipe : Kijang
 Kapasitas Silinder : 1800 cc
 Tipe Mesin : 7 K, A silinder inline, over head valve (OHV),
 karburator dan pendinginan air
 Bahan Bakar : Pertalite
 Temperatur Oli Mesin : 60 °C
 Temperatur Ruang Uji : 30 °C

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Lambda dan Emisi CO

| Putaran Mesin (RPM) | Lambda (λ) | | | | Emisi CO (% Vol) | | | |
|---------------------------|----------------------|--------|--------|---------------|------------------|--------|--------|---------------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata- rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata- rata |
| 750 | 0,819 | 0,818 | 0,818 | 0,818 | 0,40 | 0,39 | 0,39 | 0,39 |
| 1000 | 0,852 | 0,853 | 0,852 | 0,852 | 0,35 | 0,36 | 0,36 | 0,36 |
| 1250 | 0,898 | 0,899 | 0,898 | 0,898 | 0,25 | 0,25 | 0,26 | 0,25 |
| 1500 | 0,920 | 0,921 | 0,921 | 0,921 | 0,25 | 0,24 | 0,24 | 0,24 |
| 1750 | 0,972 | 0,973 | 0,973 | 0,973 | 0,24 | 0,24 | 0,25 | 0,24 |
| 2000 | 0,981 | 0,980 | 0,981 | 0,981 | 0,15 | 0,14 | 0,14 | 0,14 |
| 2250 | 0,986 | 0,985 | 0,985 | 0,985 | 0,13 | 0,14 | 0,13 | 0,13 |
| 2500 | 0,991 | 0,990 | 0,991 | 0,991 | 0,13 | 0,13 | 0,12 | 0,13 |
| 2750 | 1,000 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,12 | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| 3000 | 1,079 | 1,079 | 1,080 | 1,079 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,11 |
| 3250 | 1,048 | 1,047 | 1,047 | 1,047 | 0,11 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| 3500 | 1,129 | 1,130 | 1,129 | 1,129 | 0,09 | 0,10 | 0,09 | 0,09 |
| 3750 | 1,149 | 1,143 | 1,143 | 1,143 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 4000 | 1,176 | 1,175 | 1,176 | 1,176 | 0,09 | 0,08 | 0,09 | 0,09 |
| 4250 | 1,245 | 1,244 | 1,244 | 1,244 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 4500 | 1,264 | 1,264 | 1,265 | 1,264 | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,08 |
| 4750 | 1,275 | 1,274 | 1,274 | 1,274 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| 5000 | 1,373 | 1,372 | 1,372 | 1,372 | 0,07 | 0,06 | 0,07 | 0,07 |

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Temperatur dan Emisi COcor

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | | Emisi COcor (% Vol) | | | |
|---------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|---------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 150 | 150 | 149 | 150 | 0,33 | 0,20 | 0,33 | 0,39 |
| 1000 | 160 | 159 | 159 | 159 | 0,35 | 0,36 | 0,36 | 0,36 |
| 1250 | 167 | 168 | 168 | 168 | 0,25 | 0,26 | 0,25 | 0,25 |
| 1500 | 179 | 180 | 179 | 179 | 0,25 | 0,24 | 0,24 | 0,24 |
| 1750 | 221 | 222 | 222 | 222 | 0,24 | 0,23 | 0,24 | 0,24 |
| 2000 | 239 | 235 | 239 | 239 | 0,15 | 0,14 | 0,14 | 0,14 |
| 2250 | 265 | 266 | 266 | 266 | 0,13 | 0,14 | 0,13 | 0,13 |
| 2500 | 279 | 280 | 279 | 279 | 0,12 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| 2750 | 283 | 282 | 282 | 282 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| 3000 | 283 | 283 | 283 | 283 | 0,10 | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| 3250 | 306 | 305 | 305 | 305 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| 3500 | 331 | 330 | 331 | 331 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 3750 | 346 | 347 | 347 | 347 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 4000 | 352 | 353 | 352 | 352 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 4250 | 375 | 374 | 374 | 374 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 4500 | 395 | 394 | 395 | 395 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 4750 | 405 | 404 | 404 | 404 | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,08 |
| 5000 | 423 | 423 | 424 | 423 | 0,06 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Emisi CO₂ dan O₂

| Putaran Mesin (RPM) | Emisi CO ₂ (% Vol) | | | | Emisi O ₂ (% Vol) | | | |
|---------------------|-------------------------------|--------|--------|-----------|------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 5,09 | 5,09 | 5,09 | 5,09 | 3,0 | 2,9 | 3,0 | 3,0 |
| 1000 | 6,05 | 6,04 | 6,04 | 6,04 | 3,3 | 3,2 | 3,2 | 3,2 |
| 1250 | 7,19 | 7,20 | 7,19 | 7,19 | 3,8 | 3,7 | 3,7 | 3,7 |
| 1500 | 7,60 | 7,61 | 7,61 | 7,61 | 3,8 | 3,9 | 3,8 | 3,8 |
| 1750 | 7,69 | 7,70 | 7,69 | 7,69 | 4,0 | 4,1 | 4,1 | 4,1 |
| 2000 | 8,45 | 8,46 | 8,46 | 8,46 | 4,1 | 4,2 | 4,2 | 4,2 |
| 2250 | 9,47 | 9,48 | 9,47 | 9,47 | 4,5 | 4,6 | 4,6 | 4,6 |
| 2500 | 10,65 | 10,66 | 10,66 | 10,66 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 |
| 2750 | 11,67 | 11,66 | 11,67 | 11,67 | 4,7 | 4,8 | 4,7 | 4,7 |
| 3000 | 13,11 | 13,10 | 13,11 | 13,11 | 4,8 | 4,9 | 4,8 | 4,8 |
| 3250 | 14,17 | 14,17 | 14,17 | 14,17 | 4,9 | 4,9 | 5,0 | 4,9 |
| 3500 | 13,05 | 13,06 | 13,06 | 13,06 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| 3750 | 13,32 | 13,33 | 13,32 | 13,32 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| 4000 | 13,25 | 13,26 | 13,26 | 13,26 | 5,1 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| 4250 | 13,24 | 13,24 | 13,25 | 13,24 | 5,1 | 5,1 | 5,2 | 5,1 |
| 4500 | 12,00 | 12,01 | 12,01 | 12,01 | 5,3 | 5,2 | 5,2 | 5,2 |
| 4750 | 11,30 | 11,33 | 11,33 | 11,33 | 5,4 | 5,4 | 5,3 | 5,4 |
| 5000 | 11,19 | 11,20 | 11,19 | 11,19 | 5,4 | 5,5 | 5,5 | 5,5 |

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Emisi HC dan SPL

| Putaran Mesin (RPM) | Emisi HC (ppm Vol) | | | | SPL (dBA) | | | |
|---------------------|--------------------|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 104 | 105 | 104 | 104 | 31,8 | 31,9 | 31,8 | 31,8 |
| 1000 | 100 | 101 | 101 | 101 | 31,9 | 31,3 | 31,3 | 31,3 |
| 1250 | 90 | 79 | 80 | 80 | 36,2 | 36,3 | 36,2 | 36,2 |
| 1500 | 76 | 75 | 75 | 75 | 37,9 | 37,8 | 37,8 | 37,8 |
| 1750 | 73 | 72 | 73 | 73 | 39,0 | 39,0 | 39,0 | 39,0 |
| 2000 | 70 | 71 | 71 | 71 | 39,5 | 39,4 | 39,4 | 39,4 |
| 2250 | 65 | 65 | 66 | 65 | 31,1 | 31,0 | 31,1 | 31,1 |
| 2500 | 60 | 61 | 61 | 61 | 31,8 | 31,7 | 31,7 | 31,7 |
| 2750 | 35 | 36 | 36 | 36 | 33,1 | 33,0 | 33,1 | 33,1 |
| 3000 | 20 | 20 | 19 | 20 | 33,5 | 33,4 | 33,4 | 33,4 |
| 3250 | 18 | 17 | 17 | 17 | 34,7 | 34,8 | 34,7 | 34,7 |
| 3500 | 22 | 22 | 21 | 22 | 36,9 | 37,0 | 37,0 | 37,0 |
| 3750 | 25 | 26 | 26 | 26 | 37,3 | 37,4 | 37,3 | 37,3 |
| 4000 | 29 | 29 | 28 | 28 | 39,9 | 39,8 | 39,8 | 39,8 |
| 4250 | 35 | 35 | 34 | 35 | 40,2 | 40,3 | 40,2 | 40,2 |
| 4500 | 38 | 37 | 37 | 37 | 41,8 | 41,8 | 41,9 | 41,8 |
| 4750 | 52 | 52 | 53 | 52 | 43,0 | 42,9 | 42,9 | 42,9 |
| 5000 | 54 | 55 | 55 | 55 | 45,5 | 45,4 | 45,4 | 45,4 |

Tabel 5. Data Hasil Pengukuran Tekanan Balik dan Konsumsi Bahan Bakar

| Putaran Mesin (RPM) | Tekanan Balik (kPa) | | | | Konsumsi Bahan Bakar (50 ml/detik) | | | |
|---------------------|---------------------|--------|--------|-----------|------------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 1,01 | 1,00 | 1,01 | 1,01 | 40,67 | 40,66 | 40,67 | 40,67 |
| 1000 | 2,15 | 2,14 | 2,14 | 2,14 | 38,99 | 38,98 | 38,98 | 38,98 |
| 1250 | 3,13 | 3,13 | 3,12 | 3,13 | 36,86 | 36,86 | 36,85 | 36,86 |
| 1500 | 4,17 | 4,17 | 4,17 | 4,17 | 36,00 | 35,99 | 35,99 | 35,99 |
| 1750 | 5,00 | 5,00 | 4,99 | 5,00 | 34,83 | 34,83 | 34,84 | 34,83 |
| 2000 | 6,00 | 6,00 | 6,00 | 6,00 | 33,93 | 33,92 | 33,92 | 33,92 |
| 2250 | 7,50 | 7,50 | 7,49 | 7,50 | 32,89 | 32,90 | 32,89 | 32,89 |
| 2500 | 9,16 | 9,15 | 9,15 | 9,15 | 31,98 | 31,97 | 31,97 | 31,97 |
| 2750 | 10,50 | 10,40 | 10,49 | 10,40 | 28,65 | 28,66 | 28,66 | 28,66 |
| 3000 | 11,66 | 11,67 | 11,67 | 11,67 | 26,86 | 26,85 | 26,86 | 26,86 |
| 3250 | 12,73 | 12,70 | 12,70 | 12,70 | 25,80 | 25,79 | 25,79 | 25,79 |
| 3500 | 13,01 | 13,01 | 13,00 | 13,01 | 24,64 | 24,65 | 24,64 | 24,64 |
| 3750 | 13,22 | 13,23 | 13,23 | 13,23 | 24,00 | 24,01 | 24,01 | 24,01 |
| 4000 | 14,03 | 14,00 | 14,03 | 14,03 | 23,82 | 23,83 | 23,82 | 23,82 |
| 4250 | 15,15 | 15,14 | 15,14 | 15,14 | 23,66 | 23,67 | 23,67 | 23,67 |
| 4500 | 16,04 | 16,03 | 16,03 | 16,03 | 23,45 | 23,44 | 23,45 | 23,45 |
| 4750 | 16,55 | 16,55 | 16,56 | 16,55 | 22,88 | 22,89 | 22,89 | 22,89 |
| 5000 | 20,00 | 20,01 | 20,01 | 20,01 | 21,77 | 21,76 | 21,77 | 21,77 |

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik



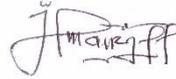
Moh. Basjir, S.Pd.

Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik



Drs. Setiyo Budi

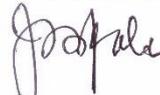
Gresik, 29 Maret 2017
Pengambil Data,



Warju

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan



Drs. Murtadlo

Lampiran 9

DATA HASIL UJI LAPANGAN OPERASIONAL (OPERATIONAL FIELD TESTING) METALLIC CATALYTIC CONVERTER BERBAHAN DASAR PLAT TEMBAGA BERLAPIS KROM (Cu+Cr) DI SMK SEMEN GRESIK

Hari, Tanggal Uji : Selasa, 18 April 2017
 Lokasi Uji : Berakel Dhamah, SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arif Rahman Hakim No. 50, Sidokumpul, Kec. Gresik, Kab. Gresik, Jawa Timur, Kode Pos. 61111
 Telp./Fax : (031) 3904036

DATA KENDARAAN UJI

Merek : TOYOTA
 Tipe : Kijang
 Kapasitas Silinder : 1000 cc
 Tipe Mesin : 4 silinder, inline, over head valve (OHV) karburator dan pendorong oli
 Bahan Bakar : Pertamax
 Temperatur Oli Mesin : 60°C
 Temperatur Ruang Uji : 30°C

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Lambda dan Emisi CO

| Putaran Mesin (RPM) | Lambda (λ) | | | | Emisi CO (% Vol) | | | |
|---------------------|----------------------|--------|--------|-----------|------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 0,092 | 0,092 | 0,092 | 0,092 | 0,123 | 0,123 | 0,124 | 0,123 |
| 1000 | 0,076 | 0,075 | 0,075 | 0,075 | 0,122 | 0,121 | 0,121 | 0,121 |
| 1250 | 0,096 | 0,096 | 0,095 | 0,096 | 0,121 | 0,121 | 0,121 | 0,121 |
| 1500 | 1,095 | 1,096 | 1,096 | 1,096 | 0,116 | 0,116 | 0,115 | 0,116 |
| 1750 | 1,079 | 1,079 | 1,080 | 1,079 | 0,114 | 0,115 | 0,115 | 0,115 |
| 2000 | 1,036 | 1,040 | 1,040 | 1,040 | 0,113 | 0,113 | 0,114 | 0,113 |
| 2250 | 1,040 | 1,039 | 1,039 | 1,039 | 0,113 | 0,113 | 0,113 | 0,113 |
| 2500 | 1,037 | 1,036 | 1,037 | 1,037 | 0,111 | 0,112 | 0,112 | 0,112 |
| 2750 | 1,022 | 1,023 | 1,023 | 1,023 | 0,110 | 0,110 | 0,111 | 0,110 |
| 3000 | 1,004 | 1,004 | 1,005 | 1,004 | 0,110 | 0,110 | 0,110 | 0,110 |
| 3250 | 1,003 | 1,002 | 1,002 | 1,002 | 0,110 | 0,110 | 0,109 | 0,110 |
| 3500 | 1,101 | 1,100 | 1,101 | 1,101 | 0,109 | 0,109 | 0,109 | 0,109 |
| 3750 | 1,120 | 1,119 | 1,119 | 1,119 | 0,108 | 0,108 | 0,108 | 0,108 |
| 4000 | 1,165 | 1,165 | 1,166 | 1,165 | 0,108 | 0,108 | 0,107 | 0,108 |
| 4250 | 1,233 | 1,232 | 1,232 | 1,232 | 0,108 | 0,108 | 0,108 | 0,108 |
| 4500 | 1,240 | 1,239 | 1,240 | 1,240 | 0,108 | 0,107 | 0,108 | 0,108 |
| 4750 | 1,244 | 1,245 | 1,245 | 1,245 | 0,107 | 0,108 | 0,108 | 0,108 |
| 5000 | 1,302 | 1,303 | 1,302 | 1,302 | 0,107 | 0,107 | 0,107 | 0,107 |

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Temperatur dan Emisi COcor

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | | Emisi COcor (% Vol) | | | |
|---------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|---------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 154 | 153 | 153 | 153 | 0,23 | 0,22 | 0,23 | 0,23 |
| 1000 | 165 | 166 | 165 | 165 | 0,20 | 0,21 | 0,21 | 0,21 |
| 1250 | 187 | 188 | 188 | 188 | 0,21 | 0,20 | 0,21 | 0,21 |
| 1500 | 206 | 206 | 205 | 206 | 0,15 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| 1750 | 269 | 270 | 270 | 270 | 0,15 | 0,14 | 0,15 | 0,15 |
| 2000 | 326 | 326 | 325 | 326 | 0,14 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| 2250 | 350 | 349 | 349 | 349 | 0,13 | 0,12 | 0,13 | 0,13 |
| 2500 | 372 | 372 | 373 | 372 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,12 |
| 2750 | 375 | 374 | 374 | 374 | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,10 |
| 3000 | 375 | 375 | 374 | 374 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| 3250 | 389 | 388 | 388 | 388 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| 3500 | 390 | 390 | 389 | 390 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| 3750 | 409 | 405 | 405 | 405 | 0,08 | 0,07 | 0,09 | 0,08 |
| 4000 | 419 | 420 | 419 | 419 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| 4250 | 424 | 425 | 425 | 425 | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,08 |
| 4500 | 449 | 450 | 450 | 450 | 0,07 | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| 4750 | 465 | 465 | 466 | 465 | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,08 |
| 5000 | 473 | 472 | 472 | 472 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Emisi CO₂ dan O₂

| Putaran Mesin (RPM) | Emisi CO ₂ (% Vol) | | | | Emisi O ₂ (% Vol) | | | |
|---------------------|-------------------------------|--------|--------|-----------|------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 6,45 | 6,44 | 6,44 | 6,44 | 2,7 | 2,7 | 2,6 | 2,7 |
| 1000 | 6,57 | 6,58 | 6,57 | 6,57 | 2,9 | 2,8 | 2,8 | 2,8 |
| 1250 | 7,60 | 7,59 | 7,59 | 7,59 | 3,0 | 3,0 | 2,9 | 3,0 |
| 1500 | 8,60 | 8,60 | 8,60 | 8,60 | 3,1 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| 1750 | 9,80 | 9,79 | 9,80 | 9,80 | 3,4 | 3,4 | 3,5 | 3,4 |
| 2000 | 9,88 | 9,87 | 9,87 | 9,87 | 3,5 | 3,4 | 3,4 | 3,4 |
| 2250 | 10,02 | 10,01 | 10,02 | 10,02 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| 2500 | 11,11 | 11,12 | 11,12 | 11,12 | 3,7 | 3,6 | 3,6 | 3,6 |
| 2750 | 12,26 | 12,26 | 12,25 | 12,26 | 3,8 | 3,8 | 3,7 | 3,8 |
| 3000 | 13,88 | 13,87 | 13,87 | 13,87 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,8 |
| 3250 | 14,99 | 14,99 | 15,00 | 14,99 | 3,8 | 3,9 | 3,9 | 3,9 |
| 3500 | 14,82 | 14,83 | 14,83 | 14,83 | 3,9 | 3,9 | 4,0 | 3,9 |
| 3750 | 14,85 | 14,86 | 14,86 | 14,86 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| 4000 | 13,55 | 13,60 | 13,59 | 13,59 | 4,2 | 4,1 | 4,2 | 4,2 |
| 4250 | 13,75 | 13,74 | 13,74 | 13,74 | 4,2 | 4,3 | 4,3 | 4,3 |
| 4500 | 12,89 | 13,89 | 13,89 | 13,89 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | 4,3 |
| 4750 | 11,95 | 11,96 | 11,96 | 11,96 | 4,4 | 4,3 | 4,3 | 4,3 |
| 5000 | 11,30 | 11,30 | 11,27 | 11,30 | 4,7 | 4,7 | 4,6 | 4,7 |

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Emisi HC dan SPL

| Putaran Mesin (RPM) | Emisi HC (ppm Vol) | | | | SPL (dBA) | | | |
|---------------------|--------------------|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 77 | 77 | 78 | 77 | 68,5 | 68,6 | 68,5 | 68,5 |
| 1000 | 70 | 71 | 71 | 71 | 69,5 | 69,6 | 69,6 | 69,6 |
| 1250 | 62 | 62 | 63 | 62 | 72,2 | 72,1 | 72,2 | 72,2 |
| 1500 | 51 | 52 | 52 | 52 | 76,0 | 76,1 | 76,1 | 76,1 |
| 1750 | 50 | 49 | 50 | 50 | 76,3 | 76,2 | 76,3 | 76,3 |
| 2000 | 48 | 48 | 47 | 48 | 77,0 | 76,9 | 76,9 | 76,9 |
| 2250 | 44 | 45 | 45 | 45 | 78,1 | 78,0 | 78,1 | 78,1 |
| 2500 | 37 | 36 | 37 | 37 | 78,9 | 78,8 | 78,8 | 78,8 |
| 2750 | 14 | 15 | 15 | 15 | 81,5 | 81,6 | 81,5 | 81,5 |
| 3000 | 13 | 13 | 13 | 13 | 82,7 | 82,8 | 82,8 | 82,8 |
| 3250 | 12 | 13 | 12 | 12 | 83,4 | 83,5 | 83,4 | 83,4 |
| 3500 | 15 | 16 | 16 | 16 | 85,6 | 85,7 | 85,7 | 85,7 |
| 3750 | 18 | 18 | 17 | 18 | 86,9 | 86,4 | 87,0 | 86,9 |
| 4000 | 20 | 19 | 19 | 19 | 87,8 | 87,7 | 87,7 | 87,7 |
| 4250 | 25 | 24 | 24 | 24 | 89,3 | 89,2 | 89,3 | 89,3 |
| 4500 | 23 | 23 | 22 | 23 | 91,1 | 91,2 | 91,2 | 91,2 |
| 4750 | 26 | 25 | 25 | 25 | 92,3 | 92,3 | 92,4 | 92,3 |
| 5000 | 41 | 42 | 42 | 42 | 95,0 | 95,0 | 95,0 | 95,0 |

Tabel 5. Data Hasil Pengukuran Tekanan Balik dan Konsumsi Bahan Bakar

| Putaran Mesin (RPM) | Tekanan Balik (kPa) | | | | Konsumsi Bahan Bakar (50 ml/detik) | | | |
|---------------------|---------------------|--------|--------|-----------|------------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 193 | 192 | 193 | 193 | 41,12 | 41,11 | 41,12 | 41,12 |
| 1000 | 2,86 | 2,87 | 2,87 | 2,87 | 39,58 | 39,57 | 39,57 | 39,57 |
| 1250 | 3,35 | 3,35 | 3,34 | 3,35 | 37,91 | 37,90 | 37,91 | 37,91 |
| 1500 | 4,92 | 4,93 | 4,93 | 4,93 | 26,83 | 26,82 | 26,82 | 26,82 |
| 1750 | 5,62 | 5,63 | 5,62 | 5,62 | 33,94 | 33,95 | 33,94 | 33,94 |
| 2000 | 7,83 | 7,82 | 7,82 | 7,86 | 24,94 | 24,85 | 24,83 | 24,85 |
| 2250 | 8,65 | 8,65 | 8,66 | 8,65 | 33,69 | 33,70 | 33,69 | 33,69 |
| 2500 | 10,66 | 10,67 | 10,67 | 10,67 | 32,77 | 32,78 | 32,78 | 32,78 |
| 2750 | 12,65 | 12,65 | 12,64 | 12,65 | 29,14 | 29,15 | 29,14 | 29,14 |
| 3000 | 13,35 | 13,36 | 13,36 | 13,36 | 27,90 | 27,45 | 27,49 | 27,48 |
| 3250 | 13,88 | 13,88 | 13,87 | 13,88 | 25,72 | 26,61 | 26,62 | 26,62 |
| 3500 | 14,35 | 14,36 | 14,36 | 14,36 | 25,88 | 25,87 | 25,87 | 25,87 |
| 3750 | 14,70 | 14,69 | 14,69 | 14,69 | 25,09 | 25,10 | 25,09 | 25,09 |
| 4000 | 15,78 | 15,78 | 15,79 | 15,78 | 24,44 | 24,45 | 24,45 | 24,45 |
| 4250 | 16,76 | 16,75 | 16,75 | 16,75 | 24,01 | 24,01 | 24,00 | 24,01 |
| 4500 | 17,89 | 17,89 | 17,89 | 17,89 | 23,85 | 23,86 | 23,86 | 23,86 |
| 4750 | 18,34 | 18,33 | 18,33 | 18,33 | 23,34 | 23,34 | 23,35 | 23,34 |
| 5000 | 20,41 | 20,40 | 20,41 | 20,41 | 22,88 | 22,87 | 22,87 | 22,87 |

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik



Moh. Basjir, S.Pd.



Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik

Drs. Setiyo Budi

Gresik 18 April 2017.

Pengambil Data,



Warju

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan



Drs. Murtdlo

Lampiran 9

DATA HASIL PENGUJIAN KNALPOT STANDAR MESIN TOYOTA
KIJANG TIPE 5K DI SMK SEMEN GRESIK

Hari, Tanggal Uji : Kamis, 4 Mei 2017
 Lokasi Uji : Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arif Rahman Hakim No. 90, Sidokumpul, Kec.
 Gresik, Kab. Gresik, Jawa Timur, Kode Pos 61111
 Telp./Fax : (031) 3984836

DATA KENDARAAN UJI

Merek : TOYOTA
 Tipe : Kijang
 Kapasitas Silinder : 1500 cc
 Tipe Mesin : sk. 4 silinder inline, over head valve (OHV),
 karburator, dan pendingin air
 Bahan Bakar : Pertamax
 Temperatur Oli Mesin : 60°C
 Temperatur Ruang Uji : 30°C

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Temperatur Gas Buang dan SPL

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | | SPL (dBA) | | | |
|---------------------------|---------------------------|--------|--------|---------------|-----------|--------|--------|---------------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata- rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata- rata |
| 750 | 139,6 | 134,5 | 130,6 | 134,6 | 93,0 | 92,9 | 93,0 | 93,0 |
| 1000 | 167,1 | 167,2 | 167,2 | 167,2 | 99,0 | 99,1 | 99,1 | 99,1 |
| 1250 | 179,2 | 179,2 | 179,3 | 179,2 | 99,9 | 99,9 | 99,5 | 99,9 |
| 1500 | 194,5 | 194,4 | 194,4 | 194,4 | 95,5 | 95,6 | 95,6 | 95,6 |
| 1750 | 200,1 | 200,0 | 200,1 | 200,1 | 96,4 | 96,5 | 96,9 | 96,9 |
| 2000 | 202,9 | 202,8 | 202,8 | 202,8 | 96,9 | 97,0 | 97,0 | 97,0 |
| 2250 | 207,1 | 207,1 | 207,0 | 207,1 | 98,1 | 98,0 | 98,1 | 98,1 |
| 2500 | 209,4 | 210,0 | 210,0 | 210,0 | 98,5 | 98,4 | 98,4 | 98,4 |
| 2750 | 223,1 | 223,1 | 223,0 | 223,1 | 99,6 | 99,5 | 99,6 | 99,6 |
| 3000 | 224,9 | 225,0 | 225,0 | 225,0 | 100,7 | 100,8 | 100,8 | 100,8 |
| 3250 | 225,1 | 225,1 | 225,0 | 225,1 | 101,5 | 101,5 | 101,6 | 101,5 |
| 3500 | 233,4 | 234,0 | 234,0 | 234,0 | 102,7 | 102,8 | 102,8 | 102,8 |
| 3750 | 234,3 | 234,2 | 234,2 | 234,2 | 103,8 | 103,8 | 103,9 | 103,8 |
| 4000 | 242,1 | 242,1 | 242,0 | 242,1 | 105,0 | 104,9 | 104,9 | 104,9 |
| 4250 | 263,0 | 263,1 | 263,1 | 263,1 | 105,0 | 105,0 | 105,0 | 105,0 |
| 4500 | 276,0 | 276,0 | 275,9 | 276,0 | 105,3 | 105,2 | 105,2 | 105,2 |
| 4750 | 276,6 | 276,5 | 276,5 | 276,5 | 106,5 | 106,5 | 106,5 | 106,5 |
| 5000 | 281,9 | 282,0 | 282,0 | 282,0 | 106,8 | 106,7 | 106,7 | 106,7 |

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Tekanan Balik Pada Muffler

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | |
|---------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 1,89 | 1,88 | 1,88 | 1,88 |
| 1000 | 2,82 | 2,82 | 2,81 | 2,82 |
| 1250 | 3,29 | 3,30 | 3,30 | 3,30 |
| 1500 | 4,88 | 4,88 | 4,87 | 4,88 |
| 1750 | 5,58 | 5,57 | 5,57 | 5,57 |
| 2000 | 7,78 | 7,78 | 7,77 | 7,78 |
| 2250 | 8,59 | 8,60 | 8,60 | 8,60 |
| 2500 | 10,62 | 10,62 | 10,63 | 10,62 |
| 2750 | 11,99 | 12,00 | 12,00 | 12,00 |
| 3000 | 13,31 | 13,31 | 13,30 | 13,31 |
| 3250 | 13,82 | 13,83 | 13,83 | 13,83 |
| 3500 | 14,31 | 14,31 | 14,30 | 14,31 |
| 3750 | 14,65 | 14,64 | 14,64 | 14,64 |
| 4000 | 15,73 | 15,73 | 15,72 | 15,73 |
| 4250 | 16,69 | 16,70 | 16,70 | 16,70 |
| 4500 | 17,85 | 17,84 | 17,84 | 17,84 |
| 4750 | 18,28 | 18,28 | 18,29 | 18,28 |
| 5000 | 20,35 | 20,36 | 20,36 | 20,36 |

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik

Moh. Basjir, S.Pd.

Gresik, 4 Mei 2017
Pengambil Data,

Warju



Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik

Drs. Setiyo Budi

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan

Drs. Murtadlo

Lampiran 9

**DATA HASIL UJI COBA AWAL (PRELIMINARY FIELD TESTING)
ECO-MUFFLER JENIS STRAIGHT-THROUGH TYPE MUFFLER
DI SMK SEMEN GRESIK**

Hari, Tanggal Uji : Rabu, 17 Mei 2017
 Lokasi Uji : Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arif. Rahman. Hakim No. 90, Sido Kumpul,
 Kec. Gresik, Kab. Gresik, Jawa Timur, kode pos 61111
 Telp./Fax : (031) 3984 836

DATA KENDARAAN UJI

Merek : TOYOTA
 Tipe : Kijang
 Kapasitas Silinder : 1.500 cc
 Tipe Mesin : 5K... 1 silinder inline, over head valve (OHV),
 Karburator, dan pendingin air
 Bahan Bakar : Pertalite
 Temperatur Oli Mesin : 60°C
 Temperatur Ruang Uji : 30°C

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Temperatur Gas Buang dan SPL

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | | SPL (dBA) | | | |
|---------------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 126,8 | 126,8 | 126,7 | 126,8 | 82,7 | 82,7 | 82,8 | 82,7 |
| 1000 | 145,5 | 145,6 | 145,6 | 145,6 | 83,0 | 83,0 | 82,9 | 83,0 |
| 1250 | 151,9 | 151,5 | 151,4 | 151,4 | 83,4 | 83,4 | 83,3 | 83,4 |
| 1500 | 155,9 | 155,9 | 155,5 | 155,9 | 83,7 | 83,8 | 83,8 | 83,8 |
| 1750 | 160,6 | 160,1 | 160,1 | 160,1 | 84,7 | 84,7 | 84,8 | 84,7 |
| 2000 | 175,9 | 175,5 | 175,9 | 175,9 | 85,3 | 85,2 | 85,2 | 85,2 |
| 2250 | 176,1 | 176,2 | 176,2 | 176,2 | 85,8 | 85,8 | 85,9 | 85,8 |
| 2500 | 177,1 | 177,0 | 177,1 | 177,1 | 86,5 | 86,4 | 86,4 | 86,4 |
| 2750 | 177,6 | 177,5 | 177,5 | 177,5 | 86,8 | 86,8 | 86,9 | 86,8 |
| 3000 | 177,8 | 177,8 | 177,7 | 177,8 | 87,7 | 87,8 | 87,8 | 87,8 |
| 3250 | 181,6 | 181,5 | 181,5 | 181,5 | 88,2 | 88,2 | 88,3 | 88,2 |
| 3500 | 190,1 | 190,0 | 190,1 | 190,1 | 88,6 | 88,5 | 88,5 | 88,5 |
| 3750 | 192,8 | 192,7 | 192,7 | 192,7 | 89,7 | 89,7 | 89,8 | 89,7 |
| 4000 | 193,1 | 193,0 | 193,1 | 193,1 | 90,7 | 90,8 | 90,8 | 90,8 |
| 4250 | 193,9 | 193,5 | 193,5 | 193,5 | 91,1 | 91,1 | 91,0 | 91,1 |
| 4500 | 195,9 | 195,3 | 195,3 | 195,3 | 92,3 | 92,2 | 92,2 | 92,2 |
| 4750 | 197,5 | 197,6 | 197,5 | 197,5 | 92,7 | 92,7 | 92,8 | 92,7 |
| 5000 | 199,6 | 199,5 | 199,6 | 199,6 | 93,6 | 93,5 | 93,5 | 93,5 |

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Tekanan Balik Pada Muffler

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | |
|---------------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 1,76 | 1,76 | 1,75 | 1,76 |
| 1000 | 2,10 | 2,09 | 2,09 | 2,09 |
| 1250 | 3,09 | 3,08 | 3,08 | 3,08 |
| 1500 | 4,22 | 4,22 | 4,23 | 4,22 |
| 1750 | 4,95 | 4,94 | 4,93 | 4,93 |
| 2000 | 6,03 | 6,02 | 6,02 | 6,02 |
| 2250 | 7,45 | 7,45 | 7,46 | 7,45 |
| 2500 | 9,09 | 9,10 | 9,10 | 9,10 |
| 2750 | 10,45 | 10,45 | 10,44 | 10,45 |
| 3000 | 11,63 | 11,62 | 11,62 | 11,62 |
| 3250 | 12,25 | 12,25 | 12,26 | 12,25 |
| 3500 | 12,92 | 12,96 | 12,96 | 12,96 |
| 3750 | 13,17 | 13,18 | 13,18 | 13,18 |
| 4000 | 14,82 | 14,82 | 14,81 | 14,82 |
| 4250 | 15,30 | 15,29 | 15,29 | 15,29 |
| 4500 | 15,99 | 15,98 | 15,98 | 15,98 |
| 4750 | 16,50 | 16,50 | 16,49 | 16,50 |
| 5000 | 18,95 | 18,96 | 18,96 | 18,96 |

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik

Moh. Basjir, S.Pd.

Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik

Drs. Setiyo Budi

Gresik, 17 Mei 2017
Pengambil Data,

Warju

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan

Drs. Murtadlo

Lampiran 9

**DATA HASIL UJI LAPANGAN UTAMA (MAIN FIELD TESTING)
ECO-MUFFLER JENIS THREE PASS TUBE TYPE MUFFLER
DI SMK SEMEN GRESIK**

Hari, Tanggal Uji : Kamis, 13 Juli 2017
 Lokasi Uji : Bengkel... di lokasi SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arit Rohman Hakim No. 90, Sidokumpul, kec
 Gresik... Kab... Gresik... Jawa Timur... Kode Pos 61111
 Telp./Fax : 031 7390036

DATA KENDARAAN UJI

Merek : TOYOTA
 Tipe : Kijang
 Kapasitas Silinder : 1500 cc
 Tipe Mesin : Sil. 4 silinder inline Over head Valve (OHV)
 Karburator dan Pendorong A/F
 Bahan Bakar : Pertamax
 Temperatur Oli Mesin : 60°C
 Temperatur Ruang Uji : 30°C

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Temperatur Gas Buang dan SPL

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | | SPL (dBA) | | | |
|---------------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 101,1 | 101,1 | 101,0 | 101,1 | 82,5 | 82,5 | 82,6 | 82,5 |
| 1000 | 101,5 | 101,4 | 101,4 | 101,4 | 82,7 | 82,8 | 82,8 | 82,8 |
| 1250 | 105,1 | 105,1 | 105,0 | 105,1 | 83,0 | 83,0 | 82,9 | 83,0 |
| 1500 | 120,6 | 120,5 | 120,5 | 120,5 | 83,5 | 83,6 | 83,6 | 83,6 |
| 1750 | 147,9 | 147,9 | 148,0 | 147,9 | 84,0 | 83,9 | 84,0 | 84,0 |
| 2000 | 161,4 | 161,3 | 161,3 | 161,3 | 84,4 | 84,5 | 84,5 | 84,5 |
| 2250 | 166,8 | 166,7 | 166,8 | 166,8 | 85,1 | 85,0 | 85,1 | 85,1 |
| 2500 | 168,7 | 168,8 | 168,8 | 168,8 | 85,5 | 85,4 | 85,4 | 85,4 |
| 2750 | 173,0 | 172,9 | 173,0 | 173,0 | 86,7 | 86,7 | 86,7 | 86,7 |
| 3000 | 176,8 | 176,9 | 176,8 | 176,8 | 87,0 | 87,1 | 87,1 | 87,1 |
| 3250 | 178,0 | 177,9 | 177,9 | 177,9 | 87,8 | 87,7 | 87,8 | 87,8 |
| 3500 | 179,3 | 179,4 | 179,3 | 179,3 | 88,5 | 88,4 | 88,4 | 88,4 |
| 3750 | 186,0 | 185,9 | 185,9 | 185,9 | 88,7 | 88,8 | 88,7 | 88,7 |
| 4000 | 186,1 | 186,0 | 186,1 | 186,1 | 89,5 | 89,4 | 89,4 | 89,4 |
| 4250 | 186,7 | 186,8 | 186,8 | 186,8 | 89,8 | 89,8 | 89,8 | 89,8 |
| 4500 | 194,9 | 194,0 | 194,9 | 194,9 | 90,3 | 90,2 | 90,2 | 90,2 |
| 4750 | 197,0 | 196,9 | 196,9 | 196,9 | 90,4 | 90,5 | 90,5 | 90,5 |
| 5000 | 198,5 | 198,4 | 198,5 | 198,5 | 91,2 | 91,2 | 91,2 | 91,2 |

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Tekanan Balik Pada Muffler

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | |
|---------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 1,16 | 1,16 | 1,15 | 1,16 |
| 1000 | 1,81 | 1,82 | 1,82 | 1,82 |
| 1250 | 2,88 | 2,88 | 2,89 | 2,88 |
| 1500 | 3,80 | 3,81 | 3,81 | 3,81 |
| 1750 | 4,17 | 4,17 | 4,17 | 4,17 |
| 2000 | 5,67 | 5,68 | 5,68 | 5,68 |
| 2250 | 6,58 | 6,59 | 6,58 | 6,58 |
| 2500 | 8,92 | 8,93 | 8,93 | 8,93 |
| 2750 | 9,26 | 9,26 | 9,25 | 9,26 |
| 3000 | 10,09 | 10,10 | 10,10 | 10,10 |
| 3250 | 11,60 | 11,60 | 11,59 | 11,60 |
| 3500 | 11,89 | 11,90 | 11,90 | 11,90 |
| 3750 | 12,65 | 12,65 | 12,66 | 12,65 |
| 4000 | 13,65 | 13,69 | 13,64 | 13,64 |
| 4250 | 14,44 | 14,45 | 14,45 | 14,45 |
| 4500 | 15,10 | 15,09 | 15,10 | 15,10 |
| 4750 | 15,76 | 15,77 | 15,77 | 15,77 |
| 5000 | 18,59 | 18,60 | 18,60 | 18,60 |

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik

Moh. Basjir, S.Pd.

Gresik, 13 Juli 2017
Pengambil Data,

Warju

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan

Drs. Murtadlo

Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik

Drs. Setiyo Budi

Lampiran 9

DATA HASIL UJI LAPANGAN OPERASIONAL (OPERATIONAL FIELD TESTING) ECO-MUFFLER JENIS OFF-SET TUBE TYPE MUFFLER DI SMK SEMEN GRESIK

Hari, Tanggal Uji : *Jumat, 4 Agustus 2017*
 Lokasi Uji : *Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik*
 Alamat : *Jl. Arif Rahman Hakim No.90, Sidokumpul, Kec. Gresik, Kab. Gresik, Jawa Timur, Kode Pos 61111*
 Telp./Fax : *(031) 3984836*

DATA KENDARAAN UJI

Merek : *TOYOTA*
 Tipe : *Kijang*
 Kapasitas Silinder : *1.500 cc*
 Tipe Mesin : *5 K, 4 silinder inline, over head valve (OHV), Karburator dan pendingin air*
 Bahan Bakar : *peralatan*
 Temperatur Oli Mesin : *60°C*
 Temperatur Ruang Uji : *30°C*

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Temperatur Gas Buang dan SPL

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | | SPL (dBA) | | | |
|---------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 100,6 | 100,5 | 100,6 | 100,6 | 81,9 | 82,0 | 82,0 | 82,0 |
| 1000 | 101,3 | 101,2 | 101,2 | 101,2 | 82,3 | 82,2 | 82,3 | 82,3 |
| 1250 | 103,9 | 104,0 | 103,9 | 103,9 | 82,5 | 82,6 | 82,6 | 82,6 |
| 1500 | 111,4 | 111,3 | 111,3 | 111,3 | 83,2 | 83,1 | 83,2 | 83,2 |
| 1750 | 115,5 | 113,5 | 113,6 | 113,5 | 83,8 | 83,7 | 83,7 | 83,7 |
| 2000 | 125,5 | 125,4 | 125,4 | 125,4 | 84,3 | 84,3 | 84,3 | 84,3 |
| 2250 | 137,8 | 137,7 | 137,7 | 137,7 | 84,5 | 84,6 | 84,6 | 84,6 |
| 2500 | 145,8 | 145,8 | 145,8 | 145,8 | 84,9 | 85,0 | 84,9 | 84,9 |
| 2750 | 149,9 | 149,3 | 149,3 | 149,3 | 84,9 | 85,0 | 85,0 | 85,0 |
| 3000 | 152,9 | 153,0 | 153,0 | 153,0 | 85,4 | 85,5 | 85,4 | 85,4 |
| 3250 | 155,9 | 155,9 | 156,0 | 155,9 | 85,6 | 85,5 | 85,5 | 85,5 |
| 3500 | 158,5 | 158,6 | 158,6 | 158,6 | 85,7 | 85,6 | 85,7 | 85,7 |
| 3750 | 167,8 | 167,9 | 167,8 | 167,8 | 86,0 | 85,9 | 85,9 | 85,9 |
| 4000 | 179,4 | 179,3 | 179,3 | 179,3 | 86,5 | 86,4 | 86,4 | 86,4 |
| 4250 | 182,7 | 182,6 | 182,7 | 182,7 | 86,6 | 86,6 | 86,5 | 86,6 |
| 4500 | 188,0 | 188,1 | 188,1 | 188,1 | 86,9 | 87,0 | 87,0 | 87,0 |
| 4750 | 192,9 | 193,0 | 192,9 | 192,9 | 87,2 | 87,3 | 87,2 | 87,2 |
| 5000 | 193,9 | 194,0 | 193,9 | 193,9 | 87,6 | 87,5 | 87,5 | 87,5 |

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Tekanan Balik Pada Muffler

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | |
|---------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 0,90 | 0,91 | 0,91 | 0,91 |
| 1000 | 1,57 | 1,58 | 1,57 | 1,57 |
| 1250 | 2,47 | 2,48 | 2,44 | 2,48 |
| 1500 | 3,08 | 3,07 | 3,08 | 3,08 |
| 1750 | 3,80 | 3,81 | 3,81 | 3,81 |
| 2000 | 4,78 | 4,72 | 4,71 | 4,72 |
| 2250 | 6,10 | 6,10 | 6,09 | 6,10 |
| 2500 | 7,61 | 7,62 | 7,62 | 7,62 |
| 2750 | 8,75 | 8,76 | 8,75 | 8,75 |
| 3000 | 9,59 | 9,60 | 9,60 | 9,60 |
| 3250 | 10,75 | 10,74 | 10,75 | 10,75 |
| 3500 | 11,56 | 11,57 | 11,57 | 11,57 |
| 3750 | 12,00 | 12,00 | 11,99 | 12,00 |
| 4000 | 13,19 | 13,18 | 13,18 | 13,18 |
| 4250 | 13,50 | 13,49 | 13,50 | 13,50 |
| 4500 | 14,72 | 14,73 | 14,73 | 14,73 |
| 4750 | 15,25 | 15,25 | 15,21 | 15,25 |
| 5000 | 17,77 | 17,78 | 17,78 | 17,78 |

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik

Moh. Basjir, S.Pd.

Gresik, 9 Agustus 2017
Pengambil Data,

Warju

Mengetahui,

Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik

Drs. Setiyo Budi

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan

Drs. Murtadlo

Lampiran 9

DATA HASIL PENGUJIAN KNALPOT STANDAR MESIN ISUZU C190
DI SMK SEMEN GRESIK

Hari, Tanggal Uji : Senin, 27 Februari 2017
 Lokasi Uji : Bangkai Otomotif SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arif Rahman Hakim No. 90, Sidokumpul, Kec.
 Gresik, Kab. Gresik Jawa Timur, Kode Pos. 61111
 Telp./Fax : (031) 3909226

DATA KENDARAAN UJI

Merek : ISUZU
 Tipe : C190
 Kapasitas Silinder : 1900 cc
 Tipe Mesin : Empat (4) silinder segaris inline pump
 indirect injection dan pendingin air
 Bahan Bakar : Solar
 Temperatur Oli Mesin : 60°C
 Temperatur Ruang Uji : 30°C

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Opasitas Gas Buang

| Putaran Mesin (RPM) | K-Value | | | | Opasitas Gas Buang (% HSU) | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|---------------|----------------------------|-----------|-----------|---------------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata- rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata- rata |
| Putaran mesin diakselerasi tanpa beban | 10,15 | 10,16 | 10,16 | 10,16 | 95,00 | 95,10 | 95,10 | 95,07 |

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Kebisingan dan Tekanan Balik Pada
Muffler

| Putaran Mesin (RPM) | SPL (dBA) | | | | Tekanan Balik Pada Muffler (kPa) | | | |
|---------------------------|-----------|--------|--------|---------------|----------------------------------|--------|--------|---------------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata- rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata- rata |
| 750 | 84,00 | 84,00 | 84,10 | 84,03 | 3,00 | 3,01 | 3,02 | 3,01 |
| 1250 | 86,20 | 86,40 | 86,20 | 86,27 | 5,71 | 5,83 | 6,20 | 5,91 |
| 1750 | 90,60 | 90,60 | 90,90 | 90,70 | 8,86 | 8,96 | 9,06 | 8,96 |
| 2250 | 93,50 | 93,50 | 93,30 | 93,43 | 13,52 | 13,62 | 13,72 | 13,62 |
| 2750 | 96,00 | 96,00 | 96,10 | 96,03 | 17,73 | 17,85 | 17,94 | 17,84 |
| 3250 | 97,80 | 97,80 | 97,60 | 97,73 | 21,45 | 21,57 | 21,66 | 21,56 |
| 3750 | 99,70 | 99,90 | 99,80 | 99,80 | 27,50 | 27,64 | 27,72 | 27,62 |
| 4250 | 101,20 | 101,30 | 101,30 | 101,27 | 29,30 | 29,42 | 29,51 | 29,41 |
| 4750 | 103,80 | 103,80 | 103,70 | 103,77 | 30,78 | 30,90 | 30,99 | 30,89 |
| 5250 | 104,00 | 104,10 | 104,00 | 104,03 | 32,61 | 32,69 | 32,80 | 32,70 |

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar dan Tekanan Balik Pada DPF

| Putaran Mesin (RPM) | Konsumsi Bahan Bakar (50 ml/detik) | | | | Tekanan Balik Pada DPF (kPa) | | | |
|---------------------|------------------------------------|--------|--------|-----------|------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 9,65 | 9,57 | 9,45 | 9,56 | 2,11 | 2,08 | 2,04 | 2,09 |
| 1250 | 9,09 | 9,04 | 9,07 | 9,07 | 3,99 | 3,98 | 3,96 | 3,98 |
| 1750 | 8,09 | 8,05 | 8,11 | 8,08 | 6,97 | 6,99 | 6,98 | 6,98 |
| 2250 | 7,40 | 7,41 | 7,45 | 7,42 | 9,64 | 9,68 | 9,70 | 9,67 |
| 2750 | 6,27 | 6,35 | 6,18 | 6,27 | 10,65 | 10,68 | 10,70 | 10,68 |
| 3250 | 6,12 | 6,07 | 6,08 | 6,09 | 12,68 | 12,75 | 12,80 | 12,74 |
| 3750 | 5,82 | 5,85 | 5,79 | 5,82 | 15,76 | 15,82 | 15,90 | 15,83 |
| 4250 | 5,41 | 5,45 | 5,52 | 5,46 | 16,85 | 16,86 | 16,87 | 16,86 |
| 4750 | 5,09 | 5,05 | 5,07 | 5,07 | 17,92 | 17,94 | 17,98 | 17,95 |
| 5250 | 4,45 | 4,40 | 4,42 | 4,42 | 20,85 | 20,90 | 20,95 | 20,90 |

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Temperatur Gas Buang

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | |
|---------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 72,39 | 72,40 | 72,43 | 72,41 |
| 1250 | 77,77 | 77,79 | 77,83 | 77,80 |
| 1750 | 90,49 | 90,50 | 90,58 | 90,52 |
| 2250 | 97,59 | 97,60 | 97,61 | 97,60 |
| 2750 | 102,17 | 101,21 | 101,25 | 101,54 |
| 3250 | 103,75 | 103,80 | 103,88 | 103,81 |
| 3750 | 111,17 | 112,21 | 111,25 | 111,54 |
| 4250 | 123,58 | 124,60 | 123,61 | 123,93 |
| 4750 | 145,75 | 146,80 | 145,88 | 146,14 |
| 5250 | 150,15 | 151,13 | 150,26 | 150,51 |

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik

Moh. Basjir, S.Pd.

Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik

Drs. Setiyo Budi

Gresik, 27 Februari 2017
Pengambil Data,

Warju

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan

Mrs. Murtadlo

Lampiran 9

**DATA HASIL UJI COBA AWAL (PRELIMINARY FIELD TESTING)
DIESEL PARTICULATE FILTER (DPF) BERBAHAN DASAR PLAT
STAINLESS STEEL DAN 110 gr GLASSWOOL DI SMK SEMEN GRESIK**

Hari, Tanggal Uji : Rabu, 6 September 2017
 Lokasi Uji : Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arief Rahman Hakim No. 90, Setokan Pul. kec. Gresik, Kab. Gresik, Jawa Timur, Kode Pos 61111
 Telp./Fax : (031) 36041836

DATA KENDARAAN UJI

Merek : Suzuki
 Tipe : C180
 Kapasitas Silinder : 1800 cc
 Tipe Mesin : Empat (4) silinder segaris inline pump, indirect injection dan pendingin air
 Bahan Bakar : Solar
 Temperatur Oli Mesin : 60 °C
 Temperatur Ruang Uji : 30 °C

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Opasitas Gas Buang

| Putaran Mesin (RPM) | K-Value | | | | Opasitas Gas Buang (% HSU) | | | |
|--|---------|--------|--------|-----------|----------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| Putaran mesin diakselerasi tanpa beban | 0,63 | 0,64 | 0,63 | 0,63 | 17,00 | 17,30 | 17,00 | 17,10 |

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Kebisingan dan Tekanan Balik Pada Muffler

| Putaran Mesin (RPM) | SPL (dBA) | | | | Tekanan Balik Pada Muffler (kPa) | | | |
|---------------------|-----------|--------|--------|-----------|----------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 76,20 | 76,30 | 76,70 | 76,23 | 2,70 | 2,75 | 2,30 | 2,29 |
| 1250 | 85,70 | 85,50 | 85,70 | 85,63 | 4,40 | 4,65 | 4,80 | 4,62 |
| 1750 | 86,00 | 86,30 | 86,00 | 86,10 | 7,74 | 7,83 | 7,84 | 7,84 |
| 2250 | 93,10 | 93,30 | 93,70 | 93,20 | 12,67 | 12,27 | 12,32 | 12,22 |
| 2750 | 98,70 | 94,30 | 95,70 | 94,40 | 16,16 | 16,29 | 12,36 | 14,99 |
| 3250 | 96,20 | 96,50 | 96,20 | 96,30 | 19,77 | 19,86 | 19,88 | 19,87 |
| 3750 | 97,00 | 99,00 | 101,00 | 99,00 | 25,65 | 25,81 | 25,88 | 25,78 |
| 4250 | 101,00 | 102,00 | 100,00 | 101,00 | 28,10 | 28,22 | 28,31 | 28,21 |
| 4750 | 101,80 | 101,70 | 101,50 | 101,50 | 29,30 | 29,42 | 29,57 | 29,41 |
| 5250 | 101,90 | 101,80 | 101,90 | 101,87 | 30,75 | 30,87 | 30,96 | 30,86 |

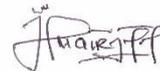
Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar dan Tekanan Balik Pada DPF

| Putaran Mesin (RPM) | Konsumsi Bahan Bakar (50 ml/detik) | | | | Tekanan Balik Pada DPF (kPa) | | | |
|---------------------|------------------------------------|--------|--------|-----------|------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 10,44 | 10,33 | 10,38 | 10,38 | 2,25 | 2,30 | 2,35 | 2,30 |
| 1250 | 9,23 | 9,19 | 9,15 | 9,19 | 4,00 | 4,02 | 4,023 | 4,02 |
| 1750 | 8,29 | 8,35 | 8,17 | 8,27 | 7,20 | 7,23 | 7,25 | 7,23 |
| 2250 | 7,59 | 7,55 | 7,97 | 7,70 | 10,11 | 10,12 | 10,13 | 10,12 |
| 2750 | 6,45 | 6,57 | 6,65 | 6,56 | 11,68 | 11,70 | 11,75 | 11,71 |
| 3250 | 6,26 | 6,33 | 6,34 | 6,31 | 13,20 | 13,22 | 13,25 | 13,22 |
| 3750 | 6,35 | 6,15 | 6,25 | 6,25 | 16,28 | 16,34 | 16,36 | 16,33 |
| 4250 | 5,72 | 5,74 | 5,80 | 5,77 | 17,35 | 17,39 | 17,41 | 17,38 |
| 4750 | 5,15 | 5,29 | 5,37 | 5,27 | 18,40 | 18,45 | 18,50 | 18,45 |
| 5250 | 4,66 | 4,88 | 4,59 | 4,71 | 21,68 | 21,71 | 21,73 | 21,71 |

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Temperatur Gas Buang

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | |
|---------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 173,77 | 173,81 | 173,85 | 173,81 |
| 1250 | 176,55 | 176,61 | 176,66 | 176,61 |
| 1750 | 183,48 | 183,52 | 183,58 | 183,53 |
| 2250 | 191,79 | 191,80 | 191,83 | 191,81 |
| 2750 | 217,00 | 221,00 | 225,00 | 221,00 |
| 3250 | 248,77 | 248,81 | 248,84 | 248,81 |
| 3750 | 268,36 | 268,42 | 268,46 | 268,41 |
| 4250 | 312,52 | 312,60 | 312,61 | 312,58 |
| 4750 | 395,10 | 395,23 | 395,24 | 395,22 |
| 5250 | 445,23 | 445,32 | 445,35 | 445,30 |

Gresik, 6 September 2017
Pengambil Data,



Warju

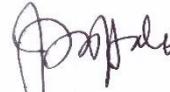
Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik



Moh. Basjir, S.Pd.

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan



Drs. Murtadlo



Lampiran 9

**DATA HASIL UJI LAPANGAN UTAMA (MAIN FIELD TESTING)
DIESEL PARTICULATE FILTER (DPF) BERBAHAN DASAR PLAT
STAINLESS STEEL DAN 150 gr GLASSWOOL DI SMK SEMEN GRESIK**

Hari, Tanggal Uji : Rabu, 18 Oktober 2017
 Lokasi Uji : Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arie Rohman Hakim No. 90 Sidokumpul,
 Kec. Gresik, Kab. Gresik, Jawa Timur, kode pos 61111
 Telp./Fax : (031) 2984836

DATA KENDARAAN UJI

Merek : ISUZU
 Tipe : C190
 Kapasitas Silinder : 1900 CC
 Tipe Mesin : Empat (4) Silinder Segaris, Intake Pump,
 Indirect Injection, dan Pendingin air
 Bahan Bakar : Solar
 Temperatur Oli Mesin : 60°C
 Temperatur Ruang Uji : 30°C

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Opasitas Gas Buang

| Putaran Mesin (RPM) | K-Value | | | | Opasitas Gas Buang (% HSU) | | | |
|--|---------|--------|--------|-----------|----------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| Putaran mesin diakselerasi tanpa beban | 0,48 | 0,48 | 0,49 | 0,48 | 13,20 | 13,20 | 13,50 | 13,30 |

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Kebisingan dan Tekanan Balik Pada Muffler

| Putaran Mesin (RPM) | SPL (dBA) | | | | Tekanan Balik Pada Muffler (kPa) | | | |
|---------------------|-----------|--------|--------|-----------|----------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 75,16 | 75,00 | 75,16 | 75,07 | 1,60 | 1,80 | 2,03 | 1,81 |
| 1250 | 83,40 | 83,50 | 82,80 | 83,90 | 3,82 | 3,90 | 3,94 | 3,89 |
| 1750 | 85,30 | 85,40 | 85,50 | 85,40 | 6,65 | 6,75 | 6,85 | 6,75 |
| 2250 | 88,00 | 88,00 | 89,00 | 89,00 | 9,65 | 9,76 | 9,87 | 9,76 |
| 2750 | 91,40 | 91,60 | 91,40 | 91,47 | 14,35 | 14,47 | 14,56 | 14,46 |
| 3250 | 94,90 | 94,70 | 94,50 | 94,70 | 16,77 | 16,87 | 16,96 | 16,87 |
| 3750 | 95,10 | 95,40 | 95,10 | 95,20 | 23,22 | 23,31 | 23,40 | 23,31 |
| 4250 | 97,70 | 97,50 | 98,30 | 97,90 | 26,00 | 26,14 | 26,22 | 26,12 |
| 4750 | 98,90 | 98,80 | 99,80 | 99,17 | 27,66 | 27,74 | 27,82 | 27,72 |
| 5250 | 99,40 | 99,50 | 99,50 | 99,47 | 29,30 | 29,41 | 29,52 | 29,41 |

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar dan Tekanan Balik Pada DPF

| Putaran Mesin (RPM) | Konsumsi Bahan Bakar (50 ml/detik) | | | | Tekanan Balik Pada DPF (kPa) | | | |
|---------------------|------------------------------------|--------|--------|-----------|------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 8,60 | 8,52 | 8,31 | 8,48 | 3,00 | 3,01 | 3,01 | 3,01 |
| 1250 | 8,04 | 8,01 | 8,02 | 8,02 | 5,57 | 5,54 | 5,55 | 5,54 |
| 1750 | 7,01 | 7,01 | 7,03 | 7,02 | 11,65 | 11,70 | 11,75 | 11,70 |
| 2250 | 6,25 | 6,24 | 6,25 | 6,24 | 13,47 | 13,49 | 13,52 | 13,48 |
| 2750 | 5,17 | 5,15 | 5,17 | 5,16 | 13,97 | 13,98 | 13,99 | 13,98 |
| 3250 | 5,02 | 5,04 | 5,02 | 5,03 | 16,57 | 16,57 | 16,61 | 16,57 |
| 3750 | 4,75 | 4,71 | 4,73 | 4,73 | 18,55 | 18,60 | 18,75 | 18,63 |
| 4250 | 4,35 | 4,33 | 4,36 | 4,35 | 20,60 | 20,65 | 20,70 | 20,65 |
| 4750 | 4,02 | 4,01 | 4,01 | 4,01 | 22,77 | 22,79 | 22,75 | 22,79 |
| 5250 | 3,32 | 3,31 | 3,35 | 3,33 | 26,62 | 26,64 | 26,66 | 26,64 |

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Temperatur Gas Buang

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | |
|---------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 175,45 | 175,50 | 175,59 | 175,51 |
| 1250 | 186,59 | 186,60 | 186,61 | 186,60 |
| 1750 | 197,70 | 197,80 | 197,86 | 197,81 |
| 2250 | 206,25 | 206,30 | 206,37 | 206,31 |
| 2750 | 240,20 | 240,31 | 240,36 | 240,32 |
| 3250 | 254,33 | 254,40 | 254,49 | 254,41 |
| 3750 | 277,41 | 277,49 | 277,53 | 277,48 |
| 4250 | 329,66 | 329,69 | 329,72 | 329,69 |
| 4750 | 405,48 | 405,50 | 405,55 | 405,51 |
| 5250 | 509,00 | 511,00 | 515,00 | 511,67 |

Gresik, 18 Oktober 2017
Pengambil Data,



Warju

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik



Moh. Basjir, S.Pd.

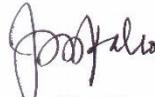
Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik



Drs. Setiyo Budi

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan



Drs. Murtadlo

Lampiran 9

DATA HASIL UJI LAPANGAN OPERASIONAL (OPERATIONAL FIELD TESTING) DIESEL PARTICULATE FILTER (DPF) BERBAHAN DASAR PLAT STAINLESS STEEL DAN 130 gr GLASSWOOL DI SMK SEMEN GRESIK

Hari, Tanggal Uji : Rabu, 1 November 2017
 Lokasi Uji : Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arief Pahman Hakim No. 90, Gedokumpul, Kec. Gresik, Kab. Gresik, Jawa Timur, Kode Pos 61111 (031) 39 89836
 Telp./Fax. :

DATA KENDARAAN UJI

Merek : ISUZU
 Tipe : C19D
 Kapasitas Silinder : 1900 cc
 Tipe Mesin : Empat (4) silinder segaris inline pump, indirect injection, dan pendingin air
 Bahan Bakar : Solar
 Temperatur Oli Mesin : 60 °C
 Temperatur Ruang Uji : 30 °C

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Opasitas Gas Buang

| Putaran Mesin (RPM) | K-Value | | | | Opasitas Gas Buang (% HSU) | | | |
|--|---------|--------|--------|-----------|----------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| Putaran mesin diakselerasi tanpa beban | 0,30 | 0,31 | 0,31 | 0,31 | 8,50 | 8,80 | 8,80 | 8,70 |

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Kebisingan dan Tekanan Balik Pada Muffler

| Putaran Mesin (RPM) | SPL (dBA) | | | | Tekanan Balik Pada Muffler (kPa) | | | |
|---------------------|-----------|--------|--------|-----------|----------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 75,00 | 75,40 | 75,80 | 75,83 | 2,00 | 2,05 | 2,10 | 2,05 |
| 1250 | 83,20 | 83,60 | 83,40 | 83,40 | 4,39 | 4,52 | 4,59 | 4,50 |
| 1750 | 85,00 | 85,60 | 85,70 | 85,76 | 7,55 | 7,65 | 7,75 | 7,65 |
| 2250 | 93,00 | 92,00 | 91,00 | 92,00 | 11,02 | 11,12 | 11,22 | 11,12 |
| 2750 | 92,90 | 92,50 | 92,40 | 92,60 | 15,45 | 15,55 | 15,65 | 15,55 |
| 3250 | 96,00 | 95,40 | 95,70 | 95,70 | 18,00 | 18,08 | 18,16 | 18,08 |
| 3750 | 96,60 | 96,40 | 96,50 | 96,50 | 23,01 | 23,03 | 23,00 | 23,01 |
| 4250 | 98,00 | 98,10 | 98,10 | 98,07 | 27,23 | 27,30 | 27,46 | 27,33 |
| 4750 | 99,50 | 99,40 | 99,40 | 99,43 | 28,47 | 28,55 | 28,70 | 28,57 |
| 5250 | 99,70 | 99,60 | 99,70 | 99,67 | 30,00 | 30,01 | 30,02 | 30,01 |

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar dan Tekanan Balik Pada DPF

| Putaran Mesin (RPM) | Konsumsi Bahan Bakar (50 ml/detik) | | | | Tekanan Balik Pada DPF (kPa) | | | |
|---------------------|------------------------------------|--------|--------|-----------|------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 10,49 | 10,47 | 10,47 | 10,48 | 2,40 | 2,38 | 2,40 | 2,39 |
| 1250 | 10,05 | 10,05 | 10,06 | 10,05 | 4,15 | 4,20 | 4,17 | 4,17 |
| 1750 | 9,07 | 9,07 | 9,09 | 9,06 | 7,50 | 7,45 | 7,45 | 7,47 |
| 2250 | 8,18 | 8,49 | 8,45 | 8,47 | 10,85 | 10,80 | 10,95 | 10,87 |
| 2750 | 7,48 | 7,45 | 7,43 | 7,45 | 11,90 | 11,90 | 11,95 | 11,92 |
| 3250 | 7,25 | 7,27 | 7,25 | 7,26 | 13,86 | 13,87 | 13,82 | 13,85 |
| 3750 | 6,85 | 6,90 | 6,83 | 6,86 | 17,02 | 17,03 | 17,02 | 17,02 |
| 4250 | 6,63 | 6,68 | 6,71 | 6,67 | 18,26 | 18,30 | 18,33 | 18,30 |
| 4750 | 6,19 | 6,22 | 6,20 | 6,20 | 18,90 | 18,85 | 18,90 | 18,88 |
| 5250 | 5,55 | 5,53 | 5,45 | 5,51 | 21,95 | 21,90 | 21,90 | 21,92 |

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Temperatur Gas Buang

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | |
|---------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 174,79 | 174,80 | 174,81 | 174,80 |
| 1250 | 186,18 | 186,20 | 186,24 | 186,21 |
| 1750 | 186,55 | 186,60 | 186,65 | 186,60 |
| 2250 | 205,05 | 205,10 | 205,13 | 205,09 |
| 2750 | 239,00 | 240,00 | 241,00 | 240,00 |
| 3250 | 251,29 | 251,30 | 251,33 | 251,31 |
| 3750 | 274,55 | 274,60 | 274,65 | 274,60 |
| 4250 | 320,79 | 320,80 | 320,85 | 320,81 |
| 4750 | 409,17 | 409,20 | 409,24 | 409,20 |
| 5250 | 483,00 | 487,00 | 490,00 | 486,67 |

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik

Moh. Basjir, S.Pd.

Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik

Drs. Setiyo Budi

Gresik, 1 November 2017
Pengambil Data,

Warju

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan

Drs. Murtadlo

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar dan Tekanan Balik Pada DPF

| Putaran Mesin (RPM) | Konsumsi Bahan Bakar (50 ml/detik) | | | | Tekanan Balik Pada DPF (kPa) | | | |
|---------------------|------------------------------------|--------|--------|-----------|------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 10,49 | 10,47 | 10,47 | 10,48 | 2,40 | 2,38 | 2,40 | 2,39 |
| 1250 | 10,05 | 10,05 | 10,06 | 10,05 | 9,15 | 9,20 | 9,17 | 9,17 |
| 1750 | 9,07 | 9,07 | 9,09 | 9,06 | 7,50 | 7,45 | 7,45 | 7,47 |
| 2250 | 8,18 | 8,49 | 8,45 | 8,47 | 10,85 | 10,80 | 10,95 | 10,87 |
| 2750 | 7,48 | 7,45 | 7,43 | 7,45 | 11,90 | 11,90 | 11,95 | 11,92 |
| 3250 | 7,25 | 7,27 | 7,25 | 7,26 | 13,86 | 13,87 | 13,82 | 13,85 |
| 3750 | 6,85 | 6,90 | 6,83 | 6,86 | 17,02 | 17,03 | 17,02 | 17,02 |
| 4250 | 6,63 | 6,68 | 6,71 | 6,67 | 18,26 | 18,30 | 18,33 | 18,30 |
| 4750 | 6,19 | 6,22 | 6,20 | 6,20 | 18,90 | 18,85 | 18,90 | 18,88 |
| 5250 | 5,55 | 5,53 | 5,45 | 5,51 | 21,95 | 21,90 | 21,90 | 21,92 |

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Temperatur Gas Buang

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | |
|---------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 750 | 174,39 | 174,00 | 174,01 | 174,00 |
| 1250 | 186,18 | 186,20 | 186,24 | 186,21 |
| 1750 | 186,55 | 186,60 | 186,65 | 186,60 |
| 2250 | 205,05 | 205,10 | 205,17 | 205,09 |
| 2750 | 239,00 | 240,00 | 241,00 | 240,00 |
| 3250 | 251,29 | 251,30 | 251,33 | 251,31 |
| 3750 | 274,55 | 274,60 | 274,65 | 274,60 |
| 4250 | 320,79 | 320,80 | 320,85 | 320,81 |
| 4750 | 409,17 | 409,20 | 409,24 | 409,20 |
| 5250 | 483,00 | 487,00 | 490,00 | 486,67 |

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik

Moh. Basjir, S.Pd.

Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik

Drs. Setiyo Budi

Gresik, 1 November 2017
Pengambil Data,

Warju

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan

Drs. Murtadlo

Lampiran 9

**DATA HASIL UJI COBA AWAL (PRELIMINARY FIELD TESTING)
OIL FILTER CLEANER DI SMK SEMEN GRESIK**

Hari, Tanggal Uji : Kamis, 30 November 2017
 Lokasi Uji : Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arif Rahman No. 90, Sempokumpul
 Kota Gresik, Jawa Timur, Kode Pos 61111
 Telp./Fax : (031) 3984836

DATA OIL FILTER BEKAS

Merek Oil Filter : TOYOTA
 Jenis Saringan Oil Filter : Elemen Kertas
 Tipe : 90915 - F2221
 Temperatur Ruang Uji : 30°C

**Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Limbah Oli Dengan Penggunaan Teknologi
Oil Filter Cleaner**

| Waktu Pembersihan Oil Filter Bekas (menit) | Temperatur Air (°C) | Tekanan Air (kg/cm ²) | Limbah Oli yang Dihasilkan | | | |
|--|---------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------|----------------|-------------------|
| | | | Test 1 (liter) | Test 2 (liter) | Test 3 (liter) | Rata-rata (liter) |
| 5 | 90 | 0,7 | 0,20 | 0,18 | 0,22 | 0,20 |
| 10 | 90 | 0,7 | 0,50 | 0,48 | 0,52 | 0,50 |
| 15 | 90 | 0,7 | 0,53 | 0,49 | 0,48 | 0,50 |
| 20 | 90 | 0,7 | 0,51 | 0,51 | 0,49 | 0,50 |

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik

Moh. Basjir, S.Pd.

Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik

Drs. Setiyo Budi

Gresik, 30 November 2017

Pengambil Data,

Warju

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan

Drs. Murtadlo

Lampiran 9

DATA HASIL UJI LAPANGAN UTAMA (MAIN FIELD TESTING)
OIL FILTER CLEANER DI SMK SEMEN GRESIK

Hari, Tanggal Uji : Rabu, 6 Desember 2017
 Lokasi Uji : Perakel... Dikamotif... SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arit. Rahman HAKIM No. 90, Sisketumpal, kec.
 Gresik, kab. Gresik, Jawa Timur, kode. Pos. 61111
 Telp./Fax : (031) 39.04036

DATA OIL FILTER BEKAS

Merek Oil Filter : Toyota
 Jenis Saringan Oil Filter : Elemen kertas
 Tipe : 90915-Y-2221
 Temperatur Ruang Uji : 30°C

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Limbah Oli Dengan Penggunaan Teknologi Oil Filter Cleaner

| Waktu Pembersihan Oil Filter Bekas (menit) | Temperatur Air (°C) | Tekanan Air (kg/cm ²) | Limbah Oli yang Dihasilkan | | | |
|--|---------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------|----------------|-------------------|
| | | | Test 1 (liter) | Test 2 (liter) | Test 3 (liter) | Rata-rata (liter) |
| 5 | 80 | 0,7 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,15 |
| 10 | 80 | 0,7 | 0,30 | 0,40 | 0,42 | 0,40 |
| 15 | 80 | 0,7 | 0,39 | 0,41 | 0,40 | 0,40 |
| 20 | 80 | 0,7 | 0,43 | 0,40 | 0,38 | 0,40 |

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik

Moh. Basjir, S.Pd.

Kepala Sekolah
SMK Semen Gresik

Mrs. Setyo Budi

Gresik, 6 Desember 2017
Pengambil Data,

Warju

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan

Mrs. Murtadlo

Lampiran 9

DATA HASIL UJI LAPANGAN OPERASIONAL (*OPERATIONAL FIELD TESTING*) OIL FILTER CLEANER DI SMK SEMEN GRESIK

Hari, Tanggal Uji : Kamis, 14 Desember 2017
 Lokasi Uji : Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arief Rahman Hakim No. 90 Sidokumpul, Kec. Gresik, Kab. Gresik, Jawa Timur, Kode. Pos. 61111
 Telp./Fax : (031) 3089076

DATA OIL FILTER BEKAS

Merek Oil Filter : TOYOTA
 Jenis Saringan Oil Filter : Elemen kertas
 Tipe : 40915-73221
 Temperatur Ruang Uji : 30°C

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Limbah Oli Dengan Penggunaan Teknologi Oil Filter Cleaner

| Waktu Pembersihan Oil Filter Bekas (menit) | Temperatur Air (°C) | Tekanan Air (kg/cm ²) | Limbah Oli yang Dihasilkan | | | |
|--|---------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------|----------------|-------------------|
| | | | Test 1 (liter) | Test 2 (liter) | Test 3 (liter) | Rata-rata (liter) |
| 5 | 85 | 0,7 | 0,7 | 0,72 | 0,71 | 0,70 |
| 10 | 85 | 0,7 | 0,50 | 0,49 | 0,50 | 0,50 |
| 15 | 85 | 0,7 | 0,52 | 0,48 | 0,49 | 0,50 |
| 20 | 85 | 0,7 | 0,47 | 0,50 | 0,52 | 0,50 |

Kepala Bengkel Otomotif
 SMK Semen Gresik

Moh. Basjir, S.Pd.

Kepala Sekolah
 SMK Semen Gresik

Drs. Setiyo Budi

Gresik, 14 Desember 2017

Pengambil Data,

Warju

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
 Teknik Kendaraan Ringan

Drs. Murtadlo

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Emisi CO₂ dan O₂

| Putaran Mesin (RPM) | Emisi CO ₂ (% Vol) | | | | Emisi O ₂ (% Vol) | | | |
|---------------------|-------------------------------|--------|--------|-----------|------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 1000 | 4,22 | 4,22 | 4,21 | 4,22 | 2,4 | 2,5 | 2,4 | 2,4 |
| 2000 | 6,77 | 6,78 | 6,78 | 6,78 | 2,7 | 2,8 | 2,8 | 2,8 |
| 3000 | 8,72 | 8,71 | 8,72 | 8,72 | 3,0 | 3,0 | 2,9 | 3,0 |
| 4000 | 9,89 | 9,88 | 9,88 | 9,88 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,1 |
| 5000 | 10,46 | 10,45 | 10,46 | 10,46 | 3,2 | 3,2 | 3,3 | 3,2 |
| 6000 | 12,60 | 12,61 | 12,61 | 12,61 | 4,5 | 4,4 | 4,4 | 4,4 |
| 7000 | 11,53 | 11,54 | 11,53 | 11,53 | 4,9 | 4,9 | 5,0 | 4,9 |
| 8000 | 10,19 | 10,20 | 10,20 | 10,20 | 4,9 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| 9000 | 9,88 | 9,88 | 9,89 | 9,88 | 5,5 | 5,5 | 5,4 | 5,5 |

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Emisi HC dan SPL

| Putaran Mesin (RPM) | Emisi HC (ppm Vol) | | | | SPL (dBA) | | | |
|---------------------|--------------------|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 1000 | 620 | 619 | 620 | 620 | 70,9 | 70,9 | 71,0 | 70,9 |
| 2000 | 449 | 448 | 448 | 448 | 76,8 | 76,7 | 76,7 | 76,7 |
| 3000 | 425 | 425 | 424 | 425 | 80,8 | 80,7 | 80,8 | 80,8 |
| 4000 | 278 | 277 | 277 | 277 | 83,0 | 83,1 | 83,1 | 83,1 |
| 5000 | 220 | 220 | 219 | 220 | 85,6 | 85,5 | 85,6 | 85,6 |
| 6000 | 191 | 192 | 192 | 192 | 91,4 | 91,3 | 91,3 | 91,3 |
| 7000 | 233 | 234 | 233 | 233 | 94,3 | 94,4 | 94,3 | 94,3 |
| 8000 | 244 | 345 | 345 | 345 | 96,9 | 97,0 | 97,0 | 97,0 |
| 9000 | 354 | 354 | 353 | 354 | 97,7 | 97,6 | 97,7 | 97,7 |

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik

Moh. Basjir, S.Pd.

Gresik, 2 Juni 2017
Pengambil Data,

Warju

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan

Dps. Murtadlo



Lampiran 9

**DATA HASIL PENGUJIAN KNALPOT EKSPERIMEN SEPEDA MOTOR
YAMAHA JUPITER MX BERTEKNOLOGI METALLIC CATALYTIC
CONVERTER TEMBAGA BERLAPIS KROM DI SMK SEMEN GRESIK**

Hari, Tanggal Uji : Jumat, 9 Juni 2017
 Lokasi Uji : Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik
 Alamat : Jl. Arif Rahman Hakim No. 90, Sidokumpul, Kec. Gresik, Kab. Gresik, Jawa Timur, kode Pos 61111
 Telp./Fax. : 031 3984836
DATA SEPEDA MOTOR UJI
 Merek : Yamaha
 Tipe : Jupiter MX
 Kapasitas Silinder : 135 cc
 Tipe Mesin : Single cylinder, OHV, pendinginan air
 Bahan Bakar : Pertalite
 Temperatur Oli Mesin : 60°C
 Temperatur Ruang Uji : 30°C

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Lambda dan Emisi CO

| Putaran Mesin (RPM) | Lambda (λ) | | | | Emisi CO (% Vol) | | | |
|---------------------|----------------------|--------|--------|-----------|------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 1000 | 0,897 | 0,897 | 0,898 | 0,897 | 1,12 | 1,11 | 1,12 | 1,12 |
| 2000 | 0,975 | 0,974 | 0,974 | 0,974 | 1,10 | 1,09 | 1,09 | 1,09 |
| 3000 | 0,981 | 0,981 | 0,980 | 0,981 | 1,05 | 1,05 | 1,04 | 1,05 |
| 4000 | 1,050 | 1,051 | 1,051 | 1,051 | 1,00 | 1,01 | 1,01 | 1,01 |
| 5000 | 1,046 | 1,046 | 1,047 | 1,046 | 0,98 | 0,98 | 0,99 | 0,98 |
| 6000 | 1,011 | 1,012 | 1,012 | 1,012 | 0,72 | 0,73 | 0,73 | 0,73 |
| 7000 | 1,158 | 1,158 | 1,159 | 1,158 | 0,67 | 0,67 | 0,66 | 0,67 |
| 8000 | 1,465 | 1,466 | 1,466 | 1,466 | 0,30 | 0,31 | 0,31 | 0,31 |
| 9000 | 1,481 | 1,480 | 1,481 | 1,481 | 0,15 | 1,14 | 0,15 | 0,15 |

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Temperatur dan Emisi COcor

| Putaran Mesin (RPM) | Temperatur Gas Buang (°C) | | | | Emisi COcor (% Vol) | | | |
|---------------------|---------------------------|--------|--------|-----------|---------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 1000 | 108,2 | 108,1 | 108,2 | 108,2 | 1,32 | 1,32 | 1,33 | 1,32 |
| 2000 | 108,5 | 108,6 | 108,6 | 108,6 | 1,30 | 1,31 | 1,31 | 1,31 |
| 3000 | 108,8 | 108,7 | 108,8 | 108,8 | 1,25 | 1,25 | 1,24 | 1,25 |
| 4000 | 111,5 | 111,6 | 111,6 | 111,6 | 1,20 | 1,21 | 1,21 | 1,21 |
| 5000 | 113,0 | 112,9 | 113,0 | 113,0 | 1,17 | 1,17 | 1,18 | 1,17 |
| 6000 | 117,0 | 116,9 | 117,0 | 116,9 | 1,16 | 1,15 | 1,15 | 1,15 |
| 7000 | 133,0 | 133,0 | 132,9 | 133,0 | 1,05 | 1,05 | 1,04 | 1,05 |
| 8000 | 165,0 | 165,1 | 165,1 | 165,1 | 1,05 | 1,06 | 1,06 | 1,06 |
| 9000 | 219,5 | 219,6 | 219,5 | 219,5 | 0,95 | 0,95 | 0,94 | 0,95 |

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Emisi CO₂ dan O₂

| Putaran Mesin (RPM) | Emisi CO ₂ (% Vol) | | | | Emisi O ₂ (% Vol) | | | |
|---------------------|-------------------------------|--------|--------|-----------|------------------------------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 1000 | 6,31 | 6,30 | 6,31 | 6,31 | 1,5 | 1,4 | 1,5 | 1,5 |
| 2000 | 8,70 | 8,69 | 8,69 | 8,69 | 1,7 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| 3000 | 10,81 | 10,81 | 10,80 | 10,81 | 1,9 | 1,9 | 2,0 | 1,9 |
| 4000 | 12,70 | 12,69 | 12,69 | 12,69 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| 5000 | 14,21 | 14,21 | 14,20 | 14,21 | 2,0 | 2,0 | 2,1 | 2,0 |
| 6000 | 14,80 | 14,79 | 14,79 | 14,79 | 2,8 | 2,9 | 2,9 | 2,9 |
| 7000 | 13,04 | 13,03 | 13,04 | 13,04 | 3,9 | 3,9 | 4,0 | 3,9 |
| 8000 | 12,87 | 12,88 | 12,88 | 12,88 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 |
| 9000 | 11,13 | 11,13 | 11,12 | 11,13 | 4,5 | 4,6 | 4,6 | 4,6 |

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Emisi HC dan SPL

| Putaran Mesin (RPM) | Emisi HC (ppm Vol) | | | | SPL (dBA) | | | |
|---------------------|--------------------|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|
| | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Rata-rata |
| 1000 | 242 | 242 | 241 | 242 | 69,1 | 69,1 | 69,0 | 69,1 |
| 2000 | 200 | 201 | 201 | 201 | 74,5 | 74,4 | 74,4 | 74,4 |
| 3000 | 170 | 170 | 170 | 170 | 75,7 | 75,6 | 75,7 | 75,7 |
| 4000 | 112 | 113 | 113 | 113 | 80,0 | 80,1 | 80,1 | 80,1 |
| 5000 | 66 | 65 | 66 | 66 | 82,2 | 82,3 | 82,2 | 82,2 |
| 6000 | 63 | 64 | 64 | 64 | 87,3 | 87,3 | 87,2 | 87,3 |
| 7000 | 98 | 99 | 98 | 98 | 91,0 | 91,0 | 91,0 | 91,0 |
| 8000 | 111 | 112 | 112 | 112 | 91,3 | 91,3 | 91,2 | 91,3 |
| 9000 | 169 | 168 | 169 | 169 | 96,6 | 96,7 | 96,7 | 96,7 |

Kepala Bengkel Otomotif
SMK Semen Gresik

Moh. Basjir, S.Pd.

Gresik, 9 Juni 2017.....
Pengambil Data,

Warju

Mengetahui,

Ketua Kompetensi Keahlian
Teknik Kendaraan Ringan

Drs. Murtadlo



Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

PENGUJIAN KNALPOT STANDAR MESIN TOYOTA KIJANG TIPE 7K (1800 cc) DI SMK SEMEN GRESIK



Gambar 1. Proses Pengambilan Data Emisi Gas Buang, Tingkat Kebisingan, Putaran Mesin, dan Temperatur Knalpot Standar Mesin Toyota Kijang Tipe 5K



Gambar 2. *Exhaust Gas Analyzer* Untuk Mengukur Emisi Gas Buang Mobil Bensin



Gambar 3. Mengukur Tingkat Kebisingan Knalpot Standar Dengan Menggunakan *Sound Level Meter (SLM)*



Gambar 4. Mengukur Putaran Mesin Dengan Menggunakan *Digital Tachometer*



Gambar 5. Mengukur Temperatur Gas Buang Dengan Menggunakan *Digital Thermometer*



Gambar 6. *Sound Level Meter* (SLM) Untuk Mengukur Kebisingan Knalpot Standar Mesin Toyota Kijang Tipe 7K

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI *METALLIC CATALYTIC CONVERTER*
PLAT KUNINGAN DI SMK SEMEN GRESIK**



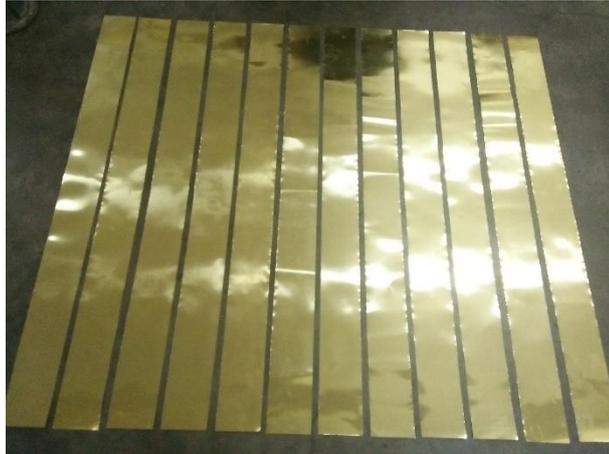
Gambar 1. Plat Kuningan (Cu+Zn) Sebagai Bahan Dasar Pembuatan *Metallic Catalytic Converter*



Gambar 2. Pemotongan Plat Kuningan oleh Siswa



Gambar 3. Pemotongan Plat Kuningan oleh Teknisi SMK Semen Gresik



Gambar 4. Hasil Potongan Plat Kuningan



Gambar 5. Membuat Tinggi Lekukan 2 mm Pada Plat Kuningan



Gambar 6. Proses Pembuatan Tinggi Lekukan 2 mm Pada Plat Kuningan



Gambar 7. Hasil Pembuatan Tinggi Lekukan 2 mm Pada Plat Kuningan



Gambar 8. Pembuatan Pin *Metallic Catalytic Converter* dari Pipa *Stainless Steel*



Gambar 9. Pin *Metallic Catalytic Converter*



Gambar 10. Penggulungan Lekukan Plat Kuningan Sebagai *Metallic Catalytic Converter*



Gambar 11. Tabung *Metallic Catalytic Converter*



Gambar 12. *Metallic Catalytic Converter* Berbahan Dasar Plat Kuningan



Gambar 13. Proses Kalsinasi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan Pada Temperatur 100°C Selama 30 Menit



Gambar 14. Proses Kalsinasi *Metallic Catalytic Converter* Plat Kuningan Pada Temperatur 120°C Selama 12 Jam dan 550°C Selama 6 Jam



Gambar 15. *Metallic Catalytic Converter* Casing

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**UJI COBA AWAL (*PRELIMINARY FIELD TESTING*) TEKNOLOGI
METALLIC CATALYTIC CONVERTER DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Pemasangan *Metallic Catalytic Converter* Kuningan ke dalam *Casing*



Gambar 2. Pemasangan *Metallic Catalytic Converter* Kuningan ke dalam Knalpot Mesin Toyota Kijang Tipe 7K



Gambar 3. Pemasangan *Exhaust Wrap* Pada Knalpot Mesin Toyota Kijang Tipe 7K



Gambar 4. Pengujian *Metallic Catalytic Converter* Kuningan di SMK Semen Gresik



Gambar 5. Pengujian Temperatur Gas Buang Mesin Toyota Kijang Tipe 7K



Gambar 6. Pengujian Emisi Gas Buang Mesin Toyota Kijang Tipe 7K



Gambar 7. Pengujian Kebisingan Mesin Toyota Kijang Tipe 7K



Gambar 8. Emisi Gas Buang yang Terukur di *Exhaust Gas Analyzer*



Gambar 9. Tim Pengambil Data di SMK Semen Gresik

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI *METALLIC CATALYTIC CONVERTER*
PLAT TEMBAGA DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Plat Tembaga (Cu) Sebagai Bahan Dasar Pembuatan *Metallic Catalytic Converter*



Gambar 2. Pemotongan Plat Tembaga oleh Siswa



Gambar 3. Pemotongan Plat Tembaga oleh Guru SMK Semen Gresik



Gambar 4. Hasil Potongan Plat Tembaga



Gambar 5. Membuat Tinggi Lekukan 2 mm Pada Plat Tembaga



Gambar 6. Proses Pembuatan Tinggi Lekukan 2 mm Pada Plat Tembaga



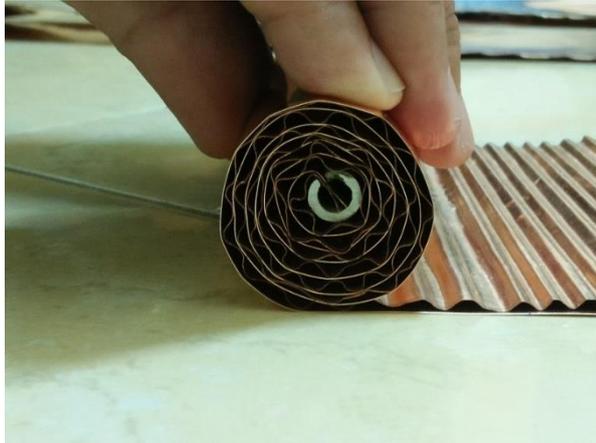
Gambar 7. Hasil Pembuatan Tinggi Lekukan 2 mm Pada Plat Tembaga



Gambar 8. Pembuatan Pin *Metallic Catalytic Converter* dari Pipa *Stainless Steel*



Gambar 9. Pin *Metallic Catalytic Converter*



Gambar 10. Penggulungan Lekukan Plat Tembaga Sebagai *Metallic Catalytic Converter*



Gambar 11. Tabung *Metallic Catalytic Converter*



Gambar 12. *Metallic Catalytic Converter* Berbahan Dasar Plat Tembaga



Gambar 13. Proses Kalsinasi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Pada Temperatur 100°C Selama 30 Menit



Gambar 14. Proses Kalsinasi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Pada Temperatur 120°C Selama 12 Jam dan 550°C Selama 6 Jam



Gambar 15. *Metallic Catalytic Converter* Casing

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**UJI LAPANGAN UTAMA (MAIN FIELD TESTING) TEKNOLOGI
METALLIC CATALYTIC CONVERTER DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Pemasangan *Metallic Catalytic Converter* Tembaga ke dalam *Casing*



Gambar 2. Pemasangan *Metallic Catalytic Converter* Tembaga ke dalam Knalpot Mesin Toyota Kijang Tipe 7K



Gambar 3. Pemasangan *Exhaust Wrap* Pada Knalpot Mesin Toyota Kijang Tipe 7K



Gambar 4. Pengujian *Metallic Catalytic Converter* Tembaga di SMK Semen Gresik



Gambar 5. Pengujian Temperatur Gas Buang Mesin Toyota Kijang Tipe 7K



Gambar 6. Pengujian Emisi Gas Buang Mesin Toyota Kijang Tipe 7K



Gambar 7. Pengujian Kebisingan Mesin Toyota Kijang Tipe 7K



Gambar 8. Emisi Gas Buang yang Terukur di *Exhaust Gas Analyzer*



Gambar 9. Tim Pengambil Data di SMK Semen Gresik

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI *METALLIC CATALYTIC CONVERTER*
PLAT TEMBAGA BERLAPIS KROM DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Plat Tembaga (Cu) Sebagai Bahan Dasar Pembuatan *Metallic Catalytic Converter*



Gambar 2. Pemotongan Plat Tembaga oleh Siswa



Gambar 3. Pemotongan Plat Tembaga oleh Guru SMK Semen Gresik



Gambar 4. Hasil Potongan Plat Tembaga



Gambar 5. Membuat Tinggi Lekukan 2 mm Pada Plat Tembaga



Gambar 6. Proses Pembuatan Tinggi Lekukan 2 mm Pada Plat Tembaga



Gambar 7. Hasil Pembuatan Tinggi Lekukan 2 mm Pada Plat Tembaga



Gambar 8. Pin *Metallic Catalytic Converter*



Gambar 9. *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom



Gambar 10. Penggulungan Lekukan Plat Tembaga Berlapis Krom Sebagai *Metallic Catalytic Converter*



Gambar 11. Tabung *Metallic Catalytic Converter*



Gambar 12. *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom



Gambar 13. Proses Kalsinasi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom Pada Temperatur 100°C Selama 30 Menit



Gambar 14. Proses Kalsinasi *Metallic Catalytic Converter* Plat Tembaga Berlapis Krom Pada Temperatur 120°C Selama 12 Jam dan 550°C Selama 6 Jam



Gambar 15. *Metallic Catalytic Converter* Casing

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**UJI LAPANGAN OPERASIONAL (*OPERATIONAL FIELD TESTING*)
METALLIC CATALYTIC CONVERTER DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Pemasangan *Metallic Catalytic Converter* Cu+Cr ke dalam *Casing*



Gambar 2. Pemasangan *Metallic Catalytic Converter* Tembaga Berlapis Krom ke dalam Knalpot Mesin Toyota Kijang Tipe 7K



Gambar 3. Pemasangan *Exhaust Wrap* Pada Knalpot Mesin Toyota Kijang Tipe 7K



Gambar 4. Pengujian *Metallic Catalytic Converter* Tembaga Berlapis Krom di SMK Semen Gresik



Gambar 5. Pengujian Temperatur Gas Buang Mesin Toyota Kijang Tipe 7K



Gambar 6. Pengujian Emisi Gas Buang Mesin Toyota Kijang Tipe 7K



Gambar 7. Pengujian Kebisingan Mesin Toyota Kijang Tipe 7K



Gambar 8. Emisi Gas Buang yang Terukur di *Exhaust Gas Analyzer*



Gambar 9. Tim Pengambil Data di SMK Semen Gresik

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**PENGUJIAN KNALPOT STANDAR MESIN TOYOTA KIJANG TIPE 5K
(1500 cc) DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Penyetelan Timing Pengapian Mesin Toyota Kijang Tipe 5K



Gambar 2. Pemasangan *Thermocouple* Pada Knalpot



Gambar 3. Pemasangan *Digital Thermometer* Untuk Mengukur Suhu Gas Buang



Gambar 4. Mengukur Putaran Mesin Dengan Menggunakan *Digital Tachometer*



Gambar 5. Mengeset *Sound Level Meter (SLM)* Sebelum Pengujian



Gambar 6. *Sound Level Meter (SLM)* untuk Mengukur Kebisingan Knalpot Standar Mesin Toyota Kijang Tipe 5K

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI *ECO-MUFFLER* JENIS *STRAIGHT-THROUGH TYPE MUFFLER* DI SMK SEMEN GRESIK



Gambar 1. Proses Penyambungan Pipa Knalpot



Gambar 2. Penyambungan *Front Pipe* dan *Muffler*



Gambar 3. Penyambungan *Elbow* Pipa Gas Buang



Gambar 4. Pengelasan *Elbow*



Gambar 5. Pembuatan *Straight-Through Type Muffler*

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

UJI COBA AWAL (*PRELIMINARY FIELD TESTING*) TEKNOLOGI *STRAIGHT-THROUGH TYPE MUFFLER* DI SMK SEMEN GRESIK



Gambar 1. Pengujian *Straight-Through Type Muffler* di SMK Semen Gresik



Gambar 2. Pengujian Temperatur Gas Buang Pada Knalpot Mesin Toyota Kijang Tipe 5K



Gambar 3. Pengukuran Temperatur Gas Buang Pada Knalpot Mesin Toyota Kijang Tipe 5K



Gambar 4. Pengujian Kebisingan Mesin Toyota Kijang Type 5K



Gambar 5. Pengujian Mesin Toyota Kijang Tipe 5K



Gambar 6. Pengujian Emisi Gas Buang Mesin Toyota Kijang Tipe 5K

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI *ECO-MUFFLER* JENIS *THREE PASS TUBE TYPE MUFFLER* DI SMK SEMEN GRESIK



Gambar 1. Pembuatan *Three Pass Tube Type Muffler*



Gambar 2. Pemotongan *Tail Pipe Muffler*



Gambar 3. Penghalusan Sambungan *Elbow*

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**UJI LAPANGAN UTAMA (MAIN FIELD TESTING) TEKNOLOGI
THREE PASS TUBE TYPE MUFFLER DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Pengujian *Three Pass Tube Type Muffler* di SMK Semen Gresik



Gambar 2. Pengujian Temperatur Gas Buang Pada Knalpot Mesin Toyota Kijang Tipe 5K



Gambar 3. Pengukuran Temperatur Gas Buang Pada Knalpot Mesin Toyota Kijang Tipe 5K



Gambar 4. Pengujian Kebisingan Mesin Toyota Kijang Tipe 5K



Gambar 5. Pengaturan Putaran Mesin Toyota Kijang Tipe 5K



Gambar 6. Pengujian Emisi Gas Buang Mesin Toyota Kijang Tipe 5K

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI *ECO-MUFFLER* JENIS *OFF-SET TUBE TYPE MUFFLER* DI SMK SEMEN GRESIK



Gambar 1. Pembuatan *Off-Set Tube Type Muffler*



Gambar 2. Pengelasan *Elbow Muffler*



Gambar 3. Pembuatan Dudukan *Muffler*

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**UJI LAPANGAN OPERASIONAL (*OPERATIONAL FIELD TESTING*)
OFF-SET TUBE TYPE MUFFLER DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Pemasangan *Off-Set Tube Type Muffler* Pada Knalpot Mesin



Gambar 2. Pemasangan Karet Peredam Pada Knalpot



Gambar 3. Proses Pengambilan Data Mesin Toyota Kijang Tipe 5K



Gambar 4. Pengujian Kebisingan Mesin Toyota Kijang Tipe 5K



Gambar 5. Pengaturan Putaran Mesin Toyota Kijang Tipe 5K



Gambar 6. Pengujian Emisi Gas Buang Mesin Toyota Kijang Tipe 5K



Gambar 7. Pengujian Temperatur Gas Buang Mesin Toyota Kijang Tipe 5K



Gambar 8. Tim Pengambil Data di SMK Semen Gresik

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**PENGUJIAN KNALPOT STANDAR MESIN ISUZU C190 (1900 cc)
DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Proses Pengambilan Data Knalpot Standar Mesin Isuzu C190



Gambar 2. *Smoke Opacymeter* untuk Mengukur Opasitas Gas Buang Mobil Diesel



Gambar 3. Memasukkan *Gas Probe* ke dalam Knalpot Standar Untuk Mengukur Opasitas Gas Buang



Gambar 4. Mengukur Putaran Mesin Dengan Menggunakan *Digital Tachometer*



Gambar 5. Mengukur Opasitas Gas Buang Mesin Isuzu C190



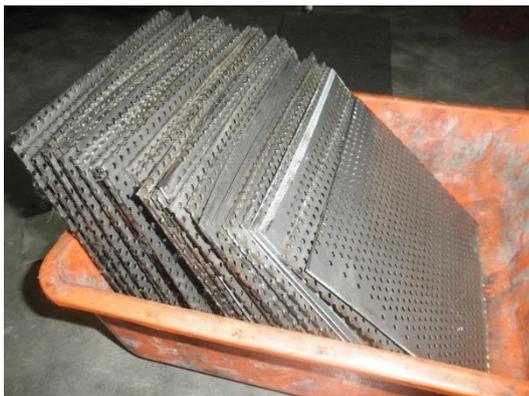
Gambar 6. Mengukur Konsumsi Bahan Bakar Mesin Isuzu C190

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

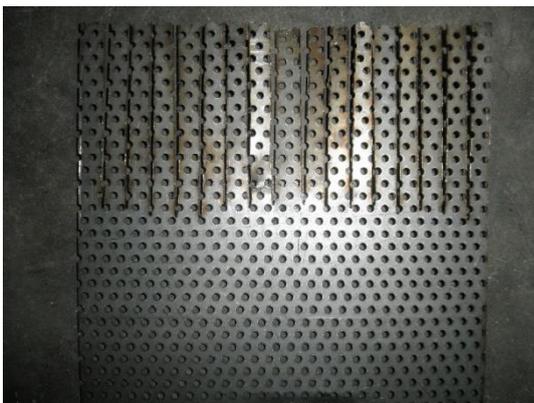
PENGEMBANGAN TEKNOLOGI *DIESEL PARTICULATE FILTER PLAT STAINLESS STEEL + 110 gr GLASSWOOL* DI SMK SEMEN GRESIK



Gambar 1. Pemotongan Plat *Perforated Stainless Steel* (Fe+Cr)



Gambar 2. Hasil Potongan Plat *Perforated Stainless Steel* (Fe+Cr)



Gambar 3. Membuat Alur Dengan Jarak 10 mm Pada Plat *Perforated Stainless Steel* (Fe+Cr)



Gambar 4. Merangkai Plat *Perforated Stainless Steel* yang Telah Diberi Alur



Gambar 5. Tabung *Diesel Particulate Filter (DPF)*



Gambar 6. Merangkai DPF ke dalam Tabung



Gambar 7. Menimbang *Glasswool* Sebanyak 110 gr



Gambar 8. Menimbang DPF Pada Timbangan Digital



Gambar 9. *Diesel Particulate Filter (DPF) Casing*

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**UJI COBA AWAL (*PRELIMINARY FIELD TESTING*) TEKNOLOGI DPF
STAINLESS STEEL + 110 gr *GLASSWOOL* DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Memasukkan DPF *Stainless Steel* + 110 gr *Glasswool* ke dalam *Casing*



Gambar 2. Memasang Knalpot Mobil Diesel Isuzu C190



Gambar 3. Memasang *Exhaust Wrap* Pada DPF *Casing*



Gambar 4. Mengukur Temperatur Gas Buang Dengan *Digital Thermometer*



Gambar 5. Mengukur Opasitas Gas Buang Mesin Isuzu C190



Gambar 6. Mengukur Konsumsi Bahan Bakar Mesin Isuzu C190

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI *DIESEL PARTICULATE FILTER PLAT STAINLESS STEEL + 150 gr GLASSWOOL* DI SMK SEMEN GRESIK



Gambar 1. Pemotongan Plat *Perforated Stainless Steel* (Fe+Cr)



Gambar 2. Hasil Potongan Plat *Perforated Stainless Steel* (Fe+Cr)



Gambar 3. Membuat Alur Dengan Jarak 10 mm Pada Plat *Perforated Stainless Steel* (Fe+Cr)



Gambar 4. Merangkai Plat *Perforated Stainless Steel* yang Telah Diberi Alur



Gambar 5. Tabung *Diesel Particulate Filter (DPF)*



Gambar 6. Merangkai DPF ke dalam Tabung



Gambar 7. Menimbang *Glasswool* Sebanyak 150 gr



Gambar 8. Menimbang DPF Pada Timbangan Digital



Gambar 9. *Diesel Particulate Filter (DPF) Casing*

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**UJI LAPANGAN UTAMA (MAIN FIELD TESTING) TEKNOLOGI DPF
STAINLESS STEEL + 150 gr GLASSWOOL DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Memasukkan DPF *Stainless Steel* + 150 gr *Glasswool* ke dalam *Casing*



Gambar 2. Memasang Knalpot Mobil Diesel Isuzu C190



Gambar 3. Memasang *Exhaust Wrap* Pada DPF *Casing*



Gambar 4. Mengukur Temperatur Gas Buang Dengan *Digital Thermometer*



Gambar 5. Mengukur Opasitas Gas Buang dan Kebisingan Mesin Isuzu C190



Gambar 6. Kondisi DPF *Stainless Steel* + 150 gr *Glasswool* Setelah Pengujian

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI *DIESEL PARTICULATE FILTER PLAT STAINLESS STEEL + 130 gr GLASSWOOL* DI SMK SEMEN GRESIK



Gambar 1. Pemotongan Plat *Perforated Stainless Steel* (Fe+Cr)



Gambar 2. Hasil Potongan Plat *Perforated Stainless Steel* (Fe+Cr)



Gambar 3. Membuat Alur Dengan Jarak 10 mm Pada Plat *Perforated Stainless Steel* (Fe+Cr)



Gambar 4. Merangkai Plat *Perforated Stainless Steel* yang Telah Diberi Alur



Gambar 5. Tabung *Diesel Particulate Filter (DPF)*



Gambar 6. Merangkai DPF ke dalam Tabung



Gambar 7. Menimbang *Glasswool* Sebanyak 130 gr



Gambar 8. Menimbang DPF Pada Timbangan Digital



Gambar 9. *Diesel Particulate Filter (DPF) Casing*

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**UJI LAPANGAN OPERASIONAL (*OPERATIONAL FIELD TESTING*)
DPF *STAINLESS STEEL* + 130 gr *GLASSWOOL* DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Memasukkan DPF *Stainless Steel* + 130 gr *Glasswool* ke dalam *Casing*



Gambar 2. Mengencangkan Baut Pengikat DPF *Casing*



Gambar 3. Memasang *Exhaust Wrap* Pada DPF *Casing*



Gambar 4. Mengukur Temperatur Gas Buang Dengan *Digital Thermometer*



Gambar 5. Mengukur Opasitas Gas Buang dan Kebisingan Mesin Isuzu C190



Gambar 6. Tim Pengambil Data di SMK Semen Gresik

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI *OIL FILTER CLEANER*
DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Pembuatan Rangka *Oil Filter Cleaner*



Gambar 2. Pemberian Cat Dasar Pada Rangka *Oil Filter Cleaner*



Gambar 3. Pembuatan *Nozzle Oil Filter Cleaner*



Gambar 4. Pemasangan *Nozzle* Pada Rangka *Oil Filter Cleaner*



Gambar 5. Instalasi Pompa Air dan *Pressure Gauge* Pada Rangka *Oil Filter Cleaner*



Gambar 6. Instalasi Bak Penampung Air dan Bak Penampung Limbah Oli



Gambar 7. Pemberian Cat Warna Pada Rangka *Oil Filter Cleaner*



Gambar 8. Tempat Menaruh *Oil Filter* Bekas yang Telah Dibersihkan Dengan *Oil Filter Cleaner*



Gambar 9. Produk Final *Oil Filter Cleaner*

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**UJI COBA AWAL (*PRELIMINARY FIELD TESTING*) TEKNOLOGI
OIL FILTER CLEANER DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Memasang *Oil Filter* Bekas ke dalam *Nozzle*



Gambar 2. Mengencangkan *Oil Filter* Bekas yang Akan Dibersihkan



Gambar 3. Mengatur Temperatur Pembersihan *Oil Filter* Bekas Sebesar 90°C

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**UJI LAPANGAN UTAMA (MAIN FIELD TESTING) TEKNOLOGI
OIL FILTER CLEANER DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Memasang *Oil Filter* Bekas ke dalam *Nozzle*



Gambar 2. Mengatur *Timer* Pompa Air pada *Oil Filter Cleaner*



Gambar 3. Mengatur Temperatur Pembersihan *Oil Filter* Bekas Sebesar 80°C

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**UJI LAPANGAN OPERASIONAL (*OPERATIONAL FIELD TESTING*)
TEKNOLOGI *OIL FILTER CLEANER* DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Memasang *Oil Filter* Bekas ke dalam *Nozzle*



Gambar 2. Mengatur *Timer* Pompa Air Pada *Oil Filter Cleaner*



Gambar 3. Mengatur Temperatur Pembersihan *Oil Filter* Bekas Sebesar 85°C

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**PENGUJIAN KNALPOT STANDAR SEPEDA MOTOR
YAMAHA JUPITER MX DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Uji Emisi Gas Buang Knalpot Standar Yamaha Jupiter MX



Gambar 2. Hasil Uji Emisi di *Exhaust Gas Analyzer*



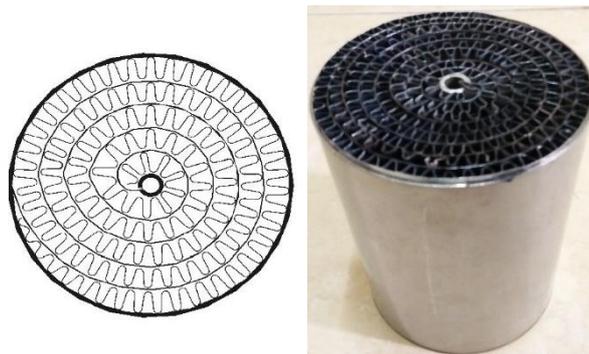
Gambar 3. Uji Tingkat Kebisingan Knalpot Sepeda Motor Yamaha Jupiter MX

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI *METALLIC CATALYTIC CONVERTER*
BERBAHAN DASAR PLAT TEMBAGA BERLAPIS KROM PADA
KNALPOT EKSPERIMEN YAMAHA JUPITER MX
DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Knalpot Eksperimen Yamaha Jupiter MX Dengan *Catalytic Converter*



Gambar 2. *Metallic Catalytic Converter* Berbahan Dasar Tembaga Berlapis Krom



Gambar 3. Knalpot Eksperimen Yamaha Jupiter MX Dengan *Catalytic Converter*

Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian dan Pengembangan

**PENGUJIAN KNALPOT EKSPERIMEN SEPEDA MOTOR
YAMAHA JUPITER MX BERTEKNOLOGI METALLIC CATALYTIC
CONVERTER TEMBAGA BERLAPIS KROM DI SMK SEMEN GRESIK**



Gambar 1. Uji Emisi Gas Buang Knalpot Eksperimen Yamaha Jupiter MX



Gambar 2. Uji Temperatur Gas Buang



Gambar 3. Uji Tingkat Kebisingan Knalpot Sepeda Motor Yamaha Jupiter MX

Lampiran 11. Sertifikat Kalibrasi *Exhaust Gas Analyzer*



PT. EQUIP NEXT GENERATION

Jl. Tongkol No. 6AA - 6AB Jakarta 14430 Indonesia Telp. (+62) 21 6902708-6919773 Fax. (+62) 21 6902709

LAPORAN HASIL KALIBRASI

NO. UNESA-SBY/UM/AGS 688/081008000055/KAL/17/II/146

Alat ukur gas buang dengan data tersebut di bawah ini :

Nama : **MULTIGAS ANALYZER**
Merk / Model : **BRAIN BEE / AGS 688**
Nomor Seri : **081008000055**
Nama Pemilik : **UNIVERSITAS NEGRI SURABAYA (UNESA)**
Alamat : **Kampus Ketintang 2 (Gedung G2) Fakultas Teknik Surabaya**

Alat tersebut telah di kalibrasi pada :

Hari / Tanggal : **Senin / 6 Februari 2017**
Teknisi : **Aprianto**
Perusahaan / Distributor : **PT. EQUIP NEXT GENERATION**
Berlaku s/d : **Rabu / 6 Februari 2018**

NILAI KALIBRASI

NO. SERTIPIKAT GAS : 452/08/2015

| PARAMETER | PROPANE | PEF | NILAI GAS KALIBRASI | PENGUKURAN | | | RATA2 | BAIK/TDK |
|-----------------------|---------|-------|---------------------|------------|---|---|-------|----------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | | |
| CO % | xx | xx | 4.59 | 4.58 | | | 4.58 | BAIK |
| CO ₂ % | xx | xx | 10.8 | 10.8 | | | 10.8 | BAIK |
| HC _{propane} | 3064 | 0.496 | 1520 | 1519 | | | 1519 | BAIK |

Dengan demikian alat tersebut diyakini telah memenuhi standard.

Jakarta, 7 Februari 2017
PT. EQUIP NEXT GENERATION



(**Suparwandi**)
Service Dept

Lampiran 11. Sertifikat Kalibrasi *Exhaust Gas Analyzer*



PT. EQUIP NEXT GENERATION

Jl. Tongkol No. 6AA - 6AB Jakarta 14430 Indonesia Telp. (+62) 21 6902708-6919773 Fax. (+62) 21 6902709

LAPORAN HASIL KALIBRASI

NO. UNESA/UM/AGS688/081008000055/KAL/18/I/016

Alat ukur gas buang dengan data tersebut di bawah ini :

Nama : **MULTIGAS ANALYZER**
Merk / Model : **BRAIN BEE / AGS 688**
Nomor Seri : **081008000055**
Nama Pemilik : **UNIVERSITAS NEGRI SURABAYA (UNESA)
FAKULTAS TEKNIK NEGRI SURABAYA
JURUSAN TEKNIK MESIN**
Alamat : **Jl. Ketintang
Surabaya**

Alat tersebut telah di kalibrasi pada :

Hari / Tanggal : **Selasa / 23 Januari 2018**
Teknisi : **Sukarmin**
Perusahaan / Distributor : **PT. EQUIP NEXT GENERATION**
Berlaku s/d : **Jum'at / 18 Januari 2019**

NILAI KALIBRASI

NO. SERTIPIKAT GAS : 011/01/2017

| PARAMETER | PROPANE | PEF | NILAI GAS KALIBRASI | PENGUKURAN | | | RATA2 | BAIK/TDK |
|-----------------------|---------|-------|---------------------|------------|---|---|-------|----------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | | |
| CO % | xx | xx | 4.82 | 4.82 | | | 4.82 | BAIK |
| CO ₂ % | xx | xx | 10.6 | 10.6 | | | 10.6 | BAIK |
| HC _{propane} | 3095 | 0.488 | 1510 | 1510 | | | 1510 | BAIK |

Dengan demikian alat tersebut diyakini telah memenuhi standard.

Jakarta, 24 Januari 2018

PT. EQUIP NEXT GENERATION



(Suparwandi)
Service Dept

Lampiran 11. Sertifikat Kalibrasi *Smoke Opacity Meter*



PT. EQUIP NEXT GENERATION

Jl. Tongkol No. 6AA - 6AB Jakarta 14430 Indonesia Telp. (+62) 21 6902513-6902708 Fax. (+62) 21 6902709

LAPORAN HASIL KALIBRASI

NO. UNESA/UM/G820/8140255032/14/VI/001

Alat ukur gas buang dengan data tersebut di bawah ini :

Nama : **OPACITY METER**
Merk / Model : **TECNOMOTOR / G820**
Nomor Seri : **8140255032**
Nama Pemilik : **UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA**
Alamat : Fakultas Teknik Kampus Ketintang 2 (Gedung G2)
Jl. Ketintang
Surabaya

Alat tersebut telah di kalibrasi pada :

Hari / Tanggal : **Senin / 13 Juni 2016**
Teknisi : **Apriyanto**
Perusahaan / Distributor : **PT. EQUIP NEXT GENERATION**
Berlaku sampai dengan : **Selasa / 13 Juni 2017**

NILAI KALIBRASI

NO. SERTIPIKAT : 1,72 km⁻¹

| FILTER VALUE | TOLERANSI ± 4% | | PENUNJUKAN ALAT | HASIL BAIK / TIDAK BAIK |
|--------------|----------------|-------|-----------------|-------------------------|
| | -4% | + 4% | | |
| 1,72 | 1,68 % | 1,76% | 1,71 | BAIK |

Dengan demikian alat tersebut diyakini memenuhi standard.

Jakarta, 13 Juni 2016

PT. EQUIP NEXT GENERATION



(**Suparwandi**)
Service Dept

Lampiran 11. Sertifikat Kalibrasi *Smoke Opacity Meter*



PT. EQUIP NEXT GENERATION

Jl. Tongkol No. 6AA - 6AB Jakarta 14430 Indonesia Telp. (+62) 21 6902513-6902708 Fax. (+62) 21 6902709

LAPORAN HASIL KALIBRASI

NO. UNESA/UM/G820/8140255032/14/VI/002

Alat ukur gas buang dengan data tersebut di bawah ini :

Nama : **OPACITY METER**
Merk / Model : **TECNOMOTOR / G820**
Nomor Seri : **8140255032**
Nama Pemilik : **UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA**
Alamat : Fakultas Teknik Kampus Ketintang 2 (Gedung G2)
Jl. Ketintang
Surabaya

Alat tersebut telah di kalibrasi pada :

Hari / Tanggal : **Senin / 12 Juni 2017**
Teknisi : **Apriyanto**
Perusahaan / Distributor : **PT. EQUIP NEXT GENERATION**
Berlaku sampai dengan : **Selasa / 12 Juni 2018**

NILAI KALIBRASI

NO. SERTIPIKAT : 1,72 km⁻¹

| FILTER VALUE | TOLERANSI ± 4% | | PENUNJUKAN ALAT | HASIL BAIK / TIDAK BAIK |
|--------------|----------------|-------|-----------------|-------------------------|
| | -4% | + 4% | | |
| 1,72 | 1,68 % | 1,76% | 1,71 | BAIK |

Dengan demikian alat tersebut diyakini memenuhi standard.

Jakarta, 12 Juni 2017

PT. EQUIP NEXT GENERATION



(**Suparwandi**)
Service Dept

Lampiran 12. Skema Pengembangan Instrumen

| No | Jenis Instrumen | Variabel | Indikator | Sumber Rujukan |
|----|---|--|--|--|
| 1 | Lembar Survey Konsumsi Bahan Bakar di Bengkel Otomotif SMK Semen Gresik | Kendaraan berbahan bakar premium | <ol style="list-style-type: none"> 1. Nama engine 2. Kapasitas silinder 3. Tipe mesin 4. Teknologi mesin 5. Jumlah 6. Konsumsi bahan bakar | <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Software Tool 18: Fleet Inventory and Options Tool</i> (UNEP & TNT, 2006) 2. UU No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja 3. UU No. 32 Tahun 2009 tentang PPLH 4. Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata 5. ISO 14001 tentang SML 6. OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| | | Kendaraan serbahan bakar Solar | <ol style="list-style-type: none"> 1. Nama engine 2. Kapasitas silinder 3. Tipe mesin 4. Teknologi mesin 5. Jumlah 6. Konsumsi bahan bakar | <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Software Tool 18: Fleet Inventory and Options Tool</i> (UNEP & TNT, 2006) 2. UU No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja 3. UU No. 32 Tahun 2009 tentang PPLH 4. Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata 5. ISO 14001 tentang SML 6. OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| 2 | Kuesioner Perhitungan Beban Emisi | <ol style="list-style-type: none"> 1. Nama pemilik kendaraan 2. Pekerjaan 3. Jenis Transportasi 4. Nomor polisi 5. Tahun pembuatan 6. Jarak tempuh (km/tahun) 7. Teknologi mesin 8. Jenis bahan bakar 9. Rata-rata konsumsi bahan bakar (ton/tahun) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Emisi CO 2. Emisi HC 3. Emisi NOx 4. Emisi SOx 5. Emisi PM₁₀ 6. Emisi CO₂ | <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Software Tool 18: Fleet Inventory and Options Tool</i> (UNEP & TNT, 2006) 2. Robert Bosch GmbH (1999) tentang <i>Gasoline Engine Management</i> 3. SNI 09.7118.1.2005 4. SNI 09.7118.2.2005 5. SNI 09.7118.3.2005 6. EEA (2002) 7. EEA (2005) 8. EEA (2013) 9. IPCC (2006a) 10. IPCC (2006b) 11. ISO 14001 tentang SML 12. OHSAS 18001 tentang SMK3 |

| No | Jenis Instrumen | Variabel | Indikator | Sumber Rujukan |
|----|---|---|---|---|
| 3 | Lembar Survey Sarana Ramah Lingkungan di Dunia Usaha/Dunia Industri | Ketersediaan sarana ramah lingkungan di DU/DI | <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Catalytic converter</i> 2. <i>Diesel particulate filter</i> (DPF) 3. <i>Positive crankcase ventilation</i> (PCV) 4. <i>Exhaust gas recirculation</i> (EGR) 5. <i>Eco-muffler</i> 6. <i>Oil filter cleaner</i> 7. <i>Exhauster</i> 8. <i>Mesin perajang sampah</i> 9. Tempat sampah terpisah 10. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Robert Bosch Gmbh (1999) 2. Warju (2013) 3. UU No. 32 Tahun 2009 tentang PPLH 4. Permen LH No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama 5. Permen LH No. 04 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru 6. Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan 7. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja 8. Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru 9. Permen Pekerjaan Umum No. 06/PRT/M/2011 Tahun 2011 tentang Penyediaan Air Bersih 10. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 11. ISO 14001 tentang SML 12. OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| 4 | Lembar Survey Sarana Ramah Lingkungan di SMK Semen Gresik | Ketersediaan sarana ramah lingkungan di sekolah | <ol style="list-style-type: none"> 1. Komposter aerob 2. Mesin perajang sampah 3. Lubang resapan biopori (LRB) 4. Hutan sekolah | <ol style="list-style-type: none"> 1. Robert Bosch Gmbh (1999) 2. Warju (2013) 3. Permendiknas No. 40 Tahun 2008 tentang Standar Sarana dan Prasarana di SMK 4. UU No. 32 Tahun 2009 tentang PPLH 5. Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata |

| No | Jenis Instrumen | Variabel | Indikator | Sumber Rujukan |
|----|--|--|---|---|
| | | | 5. Tempat sampah terpisah 6. IPAL 7. Sumur resapan 8. <i>Green house</i> 9. Taman toga 10. Takakura 11. <i>Positive crankcase ventilation (PCV)</i> 12. <i>Exhaust gas recirculation (EGR)</i> 13. <i>Air injection system</i> 14. <i>Exhauster</i> 15. <i>Catalytic converter</i> 16. <i>Diesel particulate filter (DPF)</i> 17. <i>Eco-muffler</i> 18. <i>Oil filter cleaner</i> | 6. Permen LH No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama 7. Permen LH No. 04 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru 8. Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan 9. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja 10. Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru 11. Permen Pekerjaan Umum No. 06/PRT/M/2011 Tahun 2011 tentang Penyediaan Air Bersih 12. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 13. ISO 14001 tentang SML 14. OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| 5 | Instrumen Analisis Kebutuhan (<i>Needs Assessment</i>) Tentang Teknologi Otomotif Ramah Lingkungan di SMK Semen Gresik | Sarana ramah lingkungan bidang otomotif di sekolah | 1. <i>Catalytic converter</i> 2. <i>Diesel particulate filter (DPF)</i> 3. <i>Eco-muffler</i> 4. <i>Oil filter cleaner</i> | 1. Robert Bosch Gmbh (1999) 2. Warju (2013) 3. Permendiknas No. 40 Tahun 2008 tentang Standar Sarana dan Prasarana di SMK 4. UU No. 32 Tahun 2009 tentang PPLH 5. Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata 6. Permen LH No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama 7. Permen LH No. 04 Tahun 2007 tentang Ambang Batas |

| No | Jenis Instrumen | Variabel | Indikator | Sumber Rujukan |
|----|---|---|---|---|
| | | | | <p>Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru</p> <p>8. Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan</p> <p>9. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja</p> <p>10. Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru</p> <p>11. Permen Pekerjaan Umum No. 06/PRT/M/2011 Tahun 2011 tentang Penyediaan Air Bersih</p> <p>12. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja</p> <p>13. ISO 14001 tentang SML</p> <p>14. OHSAS 18001 tentang SMK3</p> |
| 6 | Instrumen Pengujian Knalpot Standar Mesin Toyota Kijang Tipe 7K di SMK Semen Gresik | <ol style="list-style-type: none"> Putaran mesin Campuran udara-bahan bakar Emisi gas buang Temperatur gas buang Tingkat kebisingan Tekanan balik Konsumsi bahan bakar | <ol style="list-style-type: none"> Rpm Lambda (λ) Emisi CO Emisi COcor Emisi CO₂ Emisi O₂ Emisi HC Temperatur gas buang (°C) SPL (dBA) Tekanan balik (kPa) Konsumsi bahan bakar (50 ml/detik) | <ol style="list-style-type: none"> SNI 09.7118.1.2005 ISO/FDIS 5130:2006(E) SNI 7554:2010 Robert Bosch GmbH (1999) Warju (2009) Warju (2013) Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata Permen LH No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja |

| No | Jenis Instrumen | Variabel | Indikator | Sumber Rujukan |
|----|---|--|---|--|
| | | | | 11. Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru 12. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 13. ISO 14001 tentang SML 14. OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| 7 | Instrumen Uji Coba Awal (<i>Preliminary Field Testing</i>) <i>Metallic Catalytic Converter</i> Berbahan Dasar Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik | 1. Putaran mesin 2. Campuran udara-bahan bakar 3. Emisi gas buang 4. Temperatur gas buang 5. Tingkat kebisingan 6. Tekanan balik 7. Konsumsi bahan bakar | 1. Rpm 2. Lambda (λ) 3. Emisi CO 4. Emisi COcor 5. Emisi CO ₂ 6. Emisi O ₂ 7. Emisi HC 8. Temperatur gas buang (°C) 9. SPL (dBA) 10. Tekanan balik (kPa) 11. Konsumsi bahan bakar (50 ml/detik) | 1. SNI 09.7118.1.2005 2. ISO/FDIS 5130:2006(E) 3. SNI 7554:2010 4. Robert Bosch GmbH (1999) 5. Warju (2009) 6. Warju (2013) 7. Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata 8. Permen LH No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama 9. Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan 10. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja 11. Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru 12. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 13. ISO 14001 tentang SML 14. OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| 8 | Instrumen Uji Lapangan Utama (<i>Main</i>) | 1. Putaran mesin | 1. Rpm 2. Lambda (λ) 3. Emisi CO | 1. SNI 09.7118.1.2005 2. ISO/FDIS 5130:2006(E) 3. SNI 7554:2010 |

| No | Jenis Instrumen | Variabel | Indikator | Sumber Rujukan |
|----|---|--|---|---|
| | <i>Field Testing) Metallic Catalytic Converter</i> Berbahan Dasar Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik | 2. Campuran udara-bahan bakar 3. Emisi gas buang 4. Temperatur gas buang 5. Tingkat kebisingan 6. Tekanan balik 7. Konsumsi bahan bakar | 4. Emisi COcor 5. Emisi CO ₂ 6. Emisi O ₂ 7. Emisi HC 8. Temperatur gas buang (°C) 9. SPL (dBA) 10. Tekanan balik (kPa) 11. Konsumsi bahan bakar (50 ml/detik) | 4. Robert Bosch Gmbh (1999) 5. Warju (2009) 6. Warju (2013) 7. Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata 8. Permen LH No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama 9. Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan 10. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja 11. Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru 12. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 13. ISO 14001 tentang SML 14. OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| 9 | Instrumen Uji Lapangan Operasional (<i>Operational Field Testing) Metallic Catalytic Converter</i> Berbahan Dasar Plat Kuningan (Cu+Zn) di SMK Semen Gresik | 1. Putaran mesin 2. Campuran udara-bahan bakar 3. Emisi gas buang 4. Temperatur gas buang 5. Tingkat kebisingan 6. Tekanan balik 7. Konsumsi bahan bakar | 1. Rpm 2. Lambda (λ) 3. Emisi CO 4. Emisi COcor 5. Emisi CO ₂ 6. Emisi O ₂ 7. Emisi HC 8. Temperatur gas buang (°C) 9. SPL (dBA) 10. Tekanan balik (kPa) 11. Konsumsi bahan bakar (50 ml/detik) | 1. SNI 09.7118.1.2005 2. ISO/FDIS 5130:2006(E) 3. SNI 7554:2010 4. Robert Bosch Gmbh (1999) 5. Warju (2009) 6. Warju (2013) 7. Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata 8. Permen LH No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama 9. Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang |

| No | Jenis Instrumen | Variabel | Indikator | Sumber Rujukan |
|----|---|--|--|--|
| | | | | Berhubungan Dengan Kesehatan 10. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja 11. Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru 12. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 13. ISO 14001 tentang SML 14. OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| 10 | Instrumen Pengujian Knalpot Standar Mesin Toyota Kijang Tipe 5K di SMK Semen Gresik | 1. Temperatur gas buang 2. Tingkat kebisingan 3. Tekanan balik | 1. Temperatur gas buang (°C) 2. SPL (dBA) 3. Tekanan balik (kPa) | 1. ISO/FDIS 5130:2006(E) 2. Baxa (1982) 3. Warju (2009) 4. Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata 5. Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan 6. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja 7. Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru 8. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 9. ISO 14001 tentang SML 10. OHSAS 18001 tentang SMK3 |

| No | Jenis Instrumen | Variabel | Indikator | Sumber Rujukan |
|----|---|--|--|--|
| 11 | Instrumen Uji Coba Awal (<i>Preliminary Field Testing</i>) Eco-Muffler Jenis <i>Straight-Through Type Muffler</i> di SMK Semen Gresik | <ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatur gas buang 2. Tingkat kebisingan 3. Tekanan balik | <ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatur gas buang (°C) 2. SPL (dBA) 3. Tekanan balik (kPa) | <ol style="list-style-type: none"> 1. ISO/FDIS 5130:2006(E) 2. Baxa (1982) 3. Warju (2009) 4. Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata 5. Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan 6. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja 7. Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru 8. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 9. ISO 14001 tentang SML 10. OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| 12 | Instrumen Uji Lapangan Utama (<i>Main Field Testing</i>) Eco-Muffler Jenis <i>Three Pass Tube Type Muffler</i> di SMK Semen Gresik | <ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatur gas buang 2. Tingkat kebisingan 3. Tekanan balik | <ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatur gas buang (°C) 2. SPL (dBA) 3. Tekanan balik (kPa) | <ol style="list-style-type: none"> 1. ISO/FDIS 5130:2006(E) 2. Baxa (1982) 3. Warju (2009) 4. Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata 5. Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan 6. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja 7. Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas |

| No | Jenis Instrumen | Variabel | Indikator | Sumber Rujukan |
|----|---|---|--|--|
| | | | | <p>Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru</p> <p>8. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja</p> <p>9. ISO 14001 tentang SML</p> <p>10. OHSAS 18001 tentang SMK3</p> |
| 13 | Instrumen Uji Lapangan Operasional (<i>Operational Field Testing</i>) Eco-Muffler Jenis Off-Set Tube Type Muffler di SMK Semen Gresik | <ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatur gas buang 2. Tingkat kebisingan 3. Tekanan balik | <ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatur gas buang (°C) 2. SPL (dBA) 3. Tekanan balik (kPa) | <ol style="list-style-type: none"> 1. ISO/FDIS 5130:2006(E) 2. Baxa (1982) 3. Warju (2009) 4. Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata 5. Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan 6. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja 7. Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru 8. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 9. ISO 14001 tentang SML 10. OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| 14 | Instrumen Pengujian Knalpot Standar Mesin Isuzu C190 di SMK Semen Gresik | <ol style="list-style-type: none"> 1. Opasitas gas buang 2. Tingkat kebisingan 3. Tekanan balik 4. Konsumsi bahan bakar | <ol style="list-style-type: none"> 1. K-Value 2. Opasitas gas buang (%HSU) 3. SPL (dBA) 4. Tekanan balik pada <i>muffler</i> (kPa) | <ol style="list-style-type: none"> 1. SNI 09.7118.2.2005 2. ISO/FDIS 5130:2006(E) 3. SNI 7554:2010 4. Warju (2009) 5. Warju (2013) 6. UU No. 32 Tahun 2009 Tentang PPLH |

| No | Jenis Instrumen | Variabel | Indikator | Sumber Rujukan |
|----|---|--|--|--|
| | | 5. Temperatur gas buang | 5. Konsumsi bahan bakar (50 ml/detik) 6. Tekanan balik pada DPF (kPa) 7. Temperatur gas buang (°C) | 7. Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata 8. Permen LH No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama 9. Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan 10. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja 11. Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru 12. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 13. ISO 14001 tentang SML 14. OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| 15 | Instrumen Uji Coba Awal (<i>Preliminary Field Testing</i>) Diesel Particulate Filter (DPF) Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 110 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik | 1. Opasitas gas buang 2. Tingkat kebisingan 3. Tekanan balik 4. Konsumsi bahan bakar 5. Temperatur gas buang | 1. K-Value 2. Opasitas gas buang (%HSU) 3. SPL (dBA) 4. Tekanan balik pada <i>muffler</i> (kPa) 5. Konsumsi bahan bakar (50 ml/detik) 6. Tekanan balik pada DPF (kPa) 7. Temperatur gas buang (°C) | 1. SNI 09.7118.2.2005 2. ISO/FDIS 5130:2006(E) 3. SNI 7554:2010 4. Warju (2009) 5. Warju (2013) 6. UU No. 32 Tahun 2009 Tentang PPLH 7. Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata 8. Permen LH No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama 9. Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang |

| No | Jenis Instrumen | Variabel | Indikator | Sumber Rujukan |
|----|--|---|---|---|
| | | | | <p>Berhubungan Dengan Kesehatan</p> <p>10. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja</p> <p>11. Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru</p> <p>12. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja</p> <p>13. ISO 14001 tentang SML</p> <p>14. OHSAS 18001 tentang SMK3</p> |
| 16 | <p>Instrumen Uji Lapangan Utama (<i>Main Field Testing Diesel Particulate Filter (DPF)</i>) Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik</p> | <ol style="list-style-type: none"> Opasitas gas buang Tingkat kebisingan Tekanan balik Konsumsi bahan bakar Temperatur gas buang | <ol style="list-style-type: none"> K-Value Opasitas gas buang (%HSU) SPL (dBA) Tekanan balik pada <i>muffler</i> (kPa) Konsumsi bahan bakar (50 ml/detik) Tekanan balik pada DPF (kPa) Temperatur gas buang (°C) | <ol style="list-style-type: none"> SNI 09.7118.2.2005 ISO/FDIS 5130:2006(E) SNI 7554:2010 Warju (2009) Warju (2013) UU No. 32 Tahun 2009 Tentang PPLH Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata Permen LH No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru |

| No | Jenis Instrumen | Variabel | Indikator | Sumber Rujukan |
|----|--|--|--|---|
| | | | | 12. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 13. ISO 14001 tentang SML 14. OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| 17 | Instrumen Uji Lapangan Operasional (<i>Operational Field Testing</i>) Diesel Particulate Filter (DPF) Berbahan Dasar Plat <i>Stainless Steel</i> dan 150 gr <i>Glasswool</i> di SMK Semen Gresik | 1. Opasitas gas buang 2. Tingkat kebisingan 3. Tekanan balik 4. Konsumsi bahan bakar 5. Temperatur gas buang | 1. K-Value 2. Opasitas gas buang (%HSU) 3. SPL (dBA) 4. Tekanan balik pada <i>muffler</i> (kPa) 5. Konsumsi bahan bakar (50 ml/detik) 6. Tekanan balik pada DPF (kPa) 7. Temperatur gas buang (°C) | 1. SNI 09.7118.2.2005 2. ISO/FDIS 5130:2006(E) 3. SNI 7554:2010 4. Warju (2009) 5. Warju (2013) 6. UU No. 32 Tahun 2009 Tentang PPLH 7. Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata 8. Permen LH No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama 9. Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan 10. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja 11. Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru 12. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 13. ISO 14001 tentang SML 14. OHSAS 18001 tentang SMK3 |

| No | Jenis Instrumen | Variabel | Indikator | Sumber Rujukan |
|----|--|--|--|---|
| 18 | Instrumen Uji Coba Awal (<i>Preliminary Field Testing</i>) Oil Filter Cleaner di SMK Semen Gresik | <ol style="list-style-type: none"> 1. Waktu pembersihan <i>oil filter</i> bekas 2. Temperatur air 3. Tekanan Air 4. Limbah oli yang dihasilkan | <ol style="list-style-type: none"> 1. Waktu pembersihan (menit) 2. Temperatur air (°C) 3. Tekanan air (°C) 4. Limbah oli yang dihasilkan (liter) | <ol style="list-style-type: none"> 1. UU No. 32 Tahun 2009 tentang PPLH 2. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja 3. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 4. PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air 5. ISO 14001 tentang SML 6. OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| 19 | Instrumen Uji Lapangan Utama (<i>Main Field Testing</i>) Oil Filter Cleaner di SMK Semen Gresik | <ol style="list-style-type: none"> 1. Waktu pembersihan <i>oil filter</i> bekas 2. Temperatur air 3. Tekanan Air 4. Limbah oli yang dihasilkan | <ol style="list-style-type: none"> 1. Waktu pembersihan (menit) 2. Temperatur air (°C) 3. Tekanan air (°C) 4. Limbah oli yang dihasilkan (liter) | <ol style="list-style-type: none"> 1. UU No. 32 Tahun 2009 tentang PPLH 2. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja 3. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 4. ISO 14001 tentang SML 5. OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| 20 | Instrumen Uji Lapangan Operasional (<i>Operational Field Testing</i>) Oil Filter Cleaner di SMK Semen Gresik | <ol style="list-style-type: none"> 1. Waktu pembersihan <i>oil filter</i> bekas 2. Temperatur air 3. Tekanan Air 4. Limbah oli yang dihasilkan | <ol style="list-style-type: none"> 1. Waktu pembersihan (menit) 2. Temperatur air (°C) 3. Tekanan air (°C) 4. Limbah oli yang dihasilkan (liter) | <ol style="list-style-type: none"> 1. UU No. 32 Tahun 2009 tentang PPLH 2. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja 3. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika |

| No | Jenis Instrumen | Variabel | Indikator | Sumber Rujukan |
|----|--|--|--|--|
| | | | | dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 4. ISO 14001 tentang SML 5. OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| 21 | Instrumen Pengujian Knalpot Standar Sepeda Motor Yamaha Jupiter MX di SMK Semen Gresik | <ol style="list-style-type: none"> Putaran mesin Campuran udara-bahan bakar Emisi gas buang Temperatur gas buang Tingkat kebisingan | <ol style="list-style-type: none"> Rpm Lambda (λ) Emisi CO Emisi COcor Emisi CO₂ Emisi O₂ Emisi HC Temperatur gas buang (°C) SPL (dBA) | <ol style="list-style-type: none"> SNI 09.7118.3.2005 ISO/FDIS 5130:2006(E) Robert Bosch Gmbh (1999) Warju (2009) Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata Permen LH No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja ISO 14001 tentang SML OHSAS 18001 tentang SMK3 |
| 22 | Instrumen Pengujian Knalpot Eksperimen Sepeda Motor Yamaha Jupiter MX Berteknologi | <ol style="list-style-type: none"> Putaran mesin Campuran udara-bahan bakar Emisi gas buang Temperatur gas buang | <ol style="list-style-type: none"> Rpm Lambda (λ) Emisi CO Emisi COcor Emisi CO₂ Emisi O₂ Emisi HC | <ol style="list-style-type: none"> SNI 09.7118.3.2005 ISO/FDIS 5130:2006(E) Robert Bosch Gmbh (1999) Warju (2009) Permen LH No. 05 Tahun 2013 tentang Pedoman Pelaksanaan Program Adiwiyata |

| No | Jenis Instrumen | Variabel | Indikator | Sumber Rujukan |
|----|--|-----------------------|--|--|
| | <i>Metallic Catalytic Converter</i> Berbahan Dasar Plat Tembaga Berlapis Krom di SMK Semen Gresik | 5. Tingkat kebisingan | 8. Temperatur gas buang (°C) 9. SPL (dBA) | 6. Permen LH No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama 7. Permenkes No. 718/MENKES/PER/XI/1987 tentang Kebisingan yang Berhubungan Dengan Kesehatan 8. Permenaker No. PER. 05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja 9. Permen LH No. 07 Tahun 2007 tentang Ambang Batas Kebisingan Kendaraan Bermotor Tipe Baru 10. Permenakertrans No. PER.13/MEN/X/2011 Tahun 2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja 11. ISO 14001 tentang SML 12. OHSAS 18001 tentang SMK3 |