

**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BAN KARET BEKAS KENDARAAN
PADA LASTON TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL***

PROYEK AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

Untuk Memenuhi Persyaratan

Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik



Oleh:

Ardelina Ayu Rhimadani

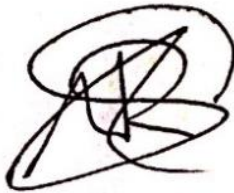
16510134016

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2019**

LEMBAR PERSETUJUAN

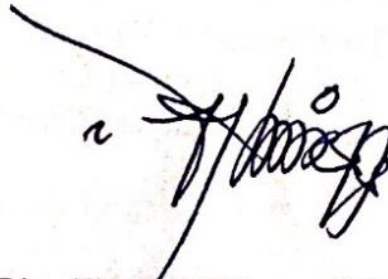
Proyek akhir yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Limbah Ban Karet Bekas Kendaraan pada Laston terhadap Karakteristik *Marshall*”** ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Dr. Ir. Sunar Rochmadi, M.E.S
NIP. 19610429 198803 1 002

Disetujui,
Dosen Pembimbing



Dian Eksana Wibowo, S.T., M.Eng.
NIP. 19851030 201504 1 002

LEMBAR PENGESAHAN

Proyek Akhir


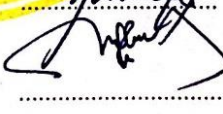

Pengaruh Penambahan Limbah Ban Bekas Kendaraan pada Laston terhadap Karakteristik *Marshall*

Disusun Oleh:

Ardelina Ayu Rhimadani
NIM 16510134016

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Proyek Akhir
Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
Pada tanggal 14 Agustus 2019

TIM PENGUJI

Nama/Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Dian Eksana Wibowo, S.T., M.Eng. Ketua Penguji/Pembimbing		26/8/19
Nur Hidayat, S.Pd.T., M.Pd. Sekretaris Penguji		23/8 2019
Ir. Endaryanta, M.T. Penguji Utama		26-8-19

Yogyakarta, ...27 Agustus... 2019
Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
a.n Dekan,
Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kerjasama


Ir. Moh. Khairudin, Ph.D
NIP. 19790412 200212 1 002

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Proyek Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh Gelar Ahli Madya atau gelar lainnya di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya-karya atau pendapat yang pernah ditulis oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan pada daftar pustaka.

Yogyakarta, 6 Agustus 2019

Yang Menyatakan,



Ardelina Ayu Rhimadani
NIM. 16510134016

PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK BAN BEKAS KENDARAAN PADA LASTON TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL

Oleh:

Ardelina Ayu Rhimadani

16510134016

ABSTRAK

Seiring dengan banyaknya kerusakan jalan yang ada di Indonesia membuat perlunya peningkatan kebutuhan kualitas infrastruktur yang awet dan kuat. Maka dari itu dibutuhkan inovasi perkerasan jalan. Salah satu inovasi yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan limbah seperti serbuk ban bekas kendaraan. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah (1) untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk ban bekas kendaraan terhadap karakteristik *marshall* (2) untuk mengetahui pengaruh persentase serbuk ban bekas kendaraan pada campuran lapis aspal beton (laston) terhadap karakteristik *marshall* (3) untuk mengetahui kesesuaian hasil dari pengujian sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2010.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan menggunakan bahan tambah serbuk ban bekas kendaraan dengan kadar yang berbeda, yaitu: 0%, 2%, 4%, dan 6%. Serbuk ban yang digunakan adalah serbuk ban yang diperoleh dari hasil vulkanisir dan kemudian diayak lolos mesh #60. Masing-masing variasi kadar serbuk ban bekas kendaraan dibuat 3 sampel benda uji dengan total 12 benda uji. Pembuatan benda uji menggunakan campuran AC-BC kemudian diuji dengan menggunakan metode *marshall* untuk mendapatkan nilai kepadatan, VIM, VMA, VFA, *flow*, stabilitas, dan MQ.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa (1) penambahan serbuk ban bekas kendaraan mempengaruhi nilai karakteristik *marshall* (2) dari pengujian kepadatan, stabilitas, dan *flow* diperoleh nilai tertinggi pada kadar 2%, dari pengujian VIM, VMA, dan MQ diperoleh nilai tertinggi pada kadar 0%, semakin tinggi kadar serbuk ban bekas kendaraan, maka nilai VIM, VMA, dan MQ semakin rendah, dari pengujian VFA diperoleh nilai tertinggi pada kadar 6%, semakin tinggi kadar serbuk ban bekas kendaraan, maka nilai VFA semakin tinggi juga (3) nilai VMA, stabilitas, *flow*, dan MQ telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2010, namun untuk persyaratan lain yang tidak memenuhi yaitu VIM dan VFA.

Kata kunci: aspal, ban bekas, karakteristik *marshall*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan sebaik-baiknya. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi sebagian persyaratan guna memperoleh gelar Ahli Madya Teknik Universitas Negeri Yogyakarta. Tugas Akhir yang penulis buat mengusung judul "Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Bekas Kendaraan pada Laston Terhadap Karakteristik *Marshall*".

Dalam pelaksanaan dan penyusunan Tugas Akhir tentunya tidak lepas dari dorongan serta bantuan dari berbagai pihak, pengujian dan bimbingan yang diperoleh baik melalui pihak terkait menjadi acuan utama disamping buku-buku pengetahuan dan literatur serta pengetahuan yang telah didapat selama mengikuti perkuliahan.

Maka dari itu atas selesainya Laporan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ikhwanuddin, ST.,MT., selaku Dosen Pembimbing Akademik
2. Bapak Dian Eksana Wibowo, ST, M.Eng, selaku dosen Pembimbing Tugas Akhir Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan
3. Bapak Ir. Endaryanta, M.T., selaku Dosen Penguji 1 yang telah menguji dan memberikan masukan serta bimbingan
4. Bapak Nur Hidayat, S.Pd.T., M.Pd., selaku dosen penguji 2 yang telah menguji dan memberikan masukan serta bimbingan
5. Bapak Drs. Darmono, M.T., selaku Kepala Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
6. Bapak Dr. Ir. Sunar Rochmadi, selaku Kepala Program Studi Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
7. Bapak Dr. Widarto, M.Pd., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

8. Bapak Dr. Slamet Widodo, S.T., M.T., selaku Kepala Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta
9. Bapak Kimin Triyono, S.Pd,T, selaku Petugas Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan FT UNY
10. Ayah dan ibu tercinta yang telah memberikan dorongan serta motivasi dalam berbagai keadaan dan doa tulus ikhlas untuk penulis
11. Teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis dan memberikan semangat dalam pelaksanaan Tugas Akhir

Akhir kata penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan pada masa mendatang. Penulis berharap agar Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, 7 Agustus 2019

Penulis,

Ardelina Ayu Rhimadani

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	6
G. Keaslian Gagasan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Perkerasan Jalan	8
B. Lapisan Aspal Beton	12
C. Campuran Aspal	17

D. Agregat	21
E. Gradasi	22
F. Suhu atau Temperatur	24
G. Limbah Ban Karet Bekas Kendaraan	26
H. Metode Pengujian <i>Marshall</i>	28
I. Penelitian yang Relevan	37
BAB III METODE PENELITIAN	39
A. Metode Penelitian	39
B. Variabel Penelitian	42
C. Diagram Penelitian	43
D. Peralatan Penelitian	45
1. Alat Penunjang Pengujian Karakteristik Aspal	46
2. Alat Penunjang Pengujian Berat Jenis Material	53
3. Alat Penunjang Pengujian Karakteristik Agregat	54
4. Alat Penunjang Pembuatan Benda Uji	56
5. Alat Penunjang Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i>	59
6. Alat Penunjang Pengujian	60
E. Bahan Pengujian	61
F. Langkah-Langkah Pengujian	65
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	75
A. Hasil Penelitian	75
1. Pengujian Karakteristik Aspal	75
2. Pengujian Karakteristik Material	75
3. Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i>	79

B. Pembahasan Penelitian	87
1. Pengujian Karakteristik Aspal	87
2. Pengujian Karakteristik Material	89
3. Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i>	90
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	99
A. Kesimpulan	99
B. Saran	100
DAFTAR PUSTAKA	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Susunan Lapis Perkerasan Jalan	11
Gambar 2. Diagram Variabel Penelitian	42
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian	43
Gambar 4. <i>Penetrometer</i>	48
Gambar 5. Cawan	48
Gambar 6. <i>Stopwatch</i>	49
Gambar 7. Tabung Ukur	50
Gambar 8. Kawat Kassa	50
Gambar 9. Cincin Kuningan	51
Gambar 10. Bola Baja	51
Gambar 11. <i>Cleveland Cup</i>	52
Gambar 12. Penjepit <i>Thermometer</i>	53
Gambar 13. Timbangan Lengan	53
Gambar 14. Timbangan <i>Ohuse</i>	54
Gambar 15. <i>Picnometer</i> Labu	54
Gambar 16. Satu Set Ayakan	55
Gambar 17. <i>Los Angles Machine</i>	56
Gambar 18. <i>Mould</i>	56
Gambar 19. Penumbuk	57
Gambar 20. Landasan Pemadat	57
Gambar 21. <i>Ejector</i>	58
Gambar 22. Bak Pengaduk	58

Gambar 23. Spatula	59
Gambar 24. <i>Marshall Test Machine</i>	60
Gambar 25. Kompor Listrik	60
Gambar 26. <i>Thermometer</i>	61
Gambar 27. Aspal	61
Gambar 28. Agregat Kasar	62
Gambar 29. Agregat Halus	62
Gambar 30. Serbuk Ban Karet Bekas Kendaraan	63
Gambar 31. Pelumas	63
Gambar 32. Kertas Kalkir	64
Gambar 33. Air dan Es Batu	64
Gambar 34. <i>Kerosine</i>	65
Gambar 35. Gradasi Agregat Kasar	76
Gambar 36. Gradasi Agregat Halus	77
Gambar 37. Grafik Nilai Kepadatan	91
Gambar 38. Grafik Nilai VIM	92
Gambar 39. Grafik Nilai VMA	94
Gambar 40. Grafik Nilai VFA	95
Gambar 41. Grafik Nilai Stabilitas	96
Gambar 42. Grafik Nilai <i>Flow</i>	97
Gambar 43. Grafik Nilai MQ	98

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi Lapisan Aspal Beton	13
Tabel 2. Ketentuan Aspal Beton (AC Mod)	14
Tabel 3. Ketentuan agregat kasar untuk campuran beton aspal	14
Tabel 4. Ketentuan agregat halus untuk campuran beton aspal	16
Tabel 5. Spesifikasi <i>filler</i> untuk campuran beton aspal	16
Tabel 6. Persyaratan aspal keras pen 60/70	20
Tabel 7. Perbandingan Antar Gradasi	24
Tabel 8. Ketentuan viskositas dan temperatur aspal untuk pencampuran dan pematatan	25
Tabel 9. Angka Koreksi Benda Uji	35
Tabel 10. Notasi Benda Uji KAO	41
Tabel 11. Notasi Benda Uji Aspal dengan Penambahan Serbuk Ban Karet Bekas Kendaraan	41
Tabel 12. Acuan Pengujian Karakteristik Aspal	65
Tabel 13. Acuan Pengujian Berat Jenis	67
Tabel 14. Acuan Pengujian Karakteristik Agregat	70
Tabel 15. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	75
Tabel 16. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar	76
Tabel 17. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus	77
Tabel 18. Hasil Pengujian Berat Jenis Material	78
Tabel 19. Hasil Perhitungan Gsb, Gsa, Gse, Gmm	80
Tabel 20. Data Hasil Gmb	81
Tabel 21. Data Hasil Pengujian Kepadatan	82
Tabel 22. Data Hasil Pengujian VIM	82

Tabel 23. Data Hasil Pengujian VMA	83
Tabel 24. Data Hasil Pengujian VFA	84
Tabel 25. Data Hasil Pengujian Stabilitas	85
Tabel 26. Data Hasil Pengujian <i>Flow</i>	86
Tabel 27. Data Hasil Pengujian MQ	87

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengujian Penetrasi Aspal	105
Lampiran 2. Pengujian Titik Lembek Aspal	107
Lampiran 3. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	109
Lampiran 4. Pengujian Berat Jenis Aspal	112
Lampiran 5. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar	113
Lampiran 6. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus	114
Lampiran 7. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	115
Lampiran 8. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus	116
Lampiran 9. Kadar Aspal Optimum (KAO)	117
Lampiran 10. Dokumentasi	118

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Jalan adalah jalur-jalur di atas permukaan bumi yang dibuat oleh manusia dengan bentuk, ukuran-ukuran dan jenis konstruksinya sehingga dapat digunakan untuk menyalurkan lalu lintas orang, hewan, dan kendaraan yang mengangkut barang dari suatu tempat ke tempat lainnya dengan mudah dan cepat (Oglesby, 1999).

Menurut Palgunadi tim sosialisasi dari Ditjen Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum, jalan nasional sepanjang 5.000 dari total 34.628 kilometer di sejumlah daerah di Indonesia dalam kondisi rusak sehingga membutuhkan perbaikan. Jalan nasional yang kondisinya baik hingga kini mencapai 49,67 persen, kondisi rusak sedang 33,56 persen, dan rusak ringan 13,34 persen, sedangkan jalan nasional yang rusak parah 3,44 persen.

Pemerintah telah mewacanakan penggunaan limbah baja, karet, dan skrap plastik untuk ditambahkan ke dalam pembuatan aspal untuk meningkatkan kualitas aspal sekaligus menaikkan harga komoditas tersebut. Namun, penggunaan bahan alternatif tersebut belum kunjung direalisasikan secara masal (Arif, Andi M. 2019. *Naikkan Kualitas, Alternatif Bahan Aspal Disiapkan*,

<https://www.google.co.id/amp/s/m.bisnis.com/amp/read/20190411/257/910467/naikkan-kualitas-alternatif-bahan-aspal-disiapkan/>, pada 25 Juni 2019).

Lapis aspal beton adalah lapisan pada konstruksi jalan raya yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi campur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Jenis agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan *filler*, sedangkan aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat untuk lapis aspal beton harus terdiri dari salah satu aspal keras penetrasi 40/50, 60/70 dan 80/100 yang seragam, tidak mengandung air bila dipanaskan sampai suhu 175°C, tidak berbusa dan memenuhi persyaratan sesuai dengan yang ditetapkan. Pembuatan lapis aspal beton (Laston) dimaksudkan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapis antara (binder) pada perkerasan jalan yang mampu memberikan sumbangan daya dukung yang terukur serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi dibawahnya (Bina Marga, 1987).

Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor saat ini menyebabkan peningkatan jumlah limbah ban bekas pakainya. Ban yang sudah tidak digunakan lagi karena kondisi kembangnya yang sudah habis, selain bisa diperbaharui dengan cara vulkanisir jika memungkinkannya, ternyata dapat dimanfaatkan untuk hal lainnya. Salah satunya yaitu dengan diolah menjadi serbuk karet, yang pengolahannya dilakukan dengan cara dicacah atau digiling.

Ban karet bekas kendaraan berasal dari berbagai bahan seperti karet alam, karet sintetis, bahan kimia, karbon hitam dan minyak tertentu. Karet mempunyai sifat daya elastisitas dan daya lentur yang baik, plastis, tidak mudah panas, serta tidak mudah retak. Limbah ban karet kendaraan ini

dapat digunakan sebagai bahan pengganti dalam campuran Laston, diharapkan dengan mengganti sedikit persentase agregat halus menggunakan limbah ban karet kendaraan dalam bentuk konstruksi perkerasan jalan pada campuran aspal dapat memberikan banyak dampak positif, diantaranya permukaan perkerasan menjadi lebih tahan lama, tahan terhadap retakan akibat lendutan yang berlebihan, meningkatkan daya cengkram akibat pengereman, serta mengurangi kebisingan akibat gesekan ban roda dengan permukaan perkerasan.

Darunifah (2007) menyatakan ikatan antara agregat dengan aspal sebagai bahan pengikat semakin kuat sehingga dapat menahan beban lalu lintas yang berat tanpa terjadi *bleeding*, keawetannya meningkat, elastisitas aspal meningkat, dan semakin fleksibel. Limbah ban digunakan sebagai pengganti aspal, namun dalam penelitian ini limbah ban bekas digunakan sebagai pengganti agregat. Kelebihan dari penelitian ini adalah dapat mengganti peran agregat walaupun kecil serta dapat mengurangi limbah yang ada.

Banyak penelitian yang dilakukan terhadap aspal agar mendapatkan suatu campuran yang memiliki viskositas yang baik dan daya tahan lama. Berdasarkan pernyataan Darunifah diatas, penulis melakukan penelitian dengan serbuk ban bekas berperan sebagai pengganti agregat halus dengan dibedakan kadar yang ditambahkan untuk benda uji. Kadar limbah ban bekas kendaraan yaitu sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6%. Alasan peneliti menggunakan limbah ban bekas kendaraan karena sifat karet yang kuat

sehingga harapan peneliti dapat menaikkan nilai stabilitas (ketahanan) *marshall*.

Dari beberapa hal diatas, penulis berinisiatif untuk membuat tugas akhir dengan judul “*Pengaruh Penambahan Limbah Ban Karet Bekas Kendaraan pada Laston terhadap Karakteristik Marshall*”.

B. Identifikasi Masalah

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

1. Keberadaan limbah ban karet yang banyak tidak diimbangi dengan pemanfaatan yang maksimal.
2. Kualitas jalan laston yang rendah dan semakin banyaknya kendaraan bermotor yang membuat jalan menjadi cepat rusak.
3. Jalan aspal di sejumlah daerah di Indonesia dalam kondisi rusak sehingga membutuhkan perbaikan.
4. Penyebab rusaknya jalan yaitu tonase, mutu bahan, dan kadar aspal.

C. Batasan Masalah

Guna mempermudah pembahasan maka penulis memberikan batasan-batasan masalah dalam penelitian ini, diantaranya sebagai berikut:

1. Keberadaan limbah ban karet yang banyak tidak diimbangi dengan pemanfaatan yang maksimal. Limbah ban karet bekas kendaraan yang digunakan adalah serbuk ban karet bekas kendaraan dengan ukuran lolos ayakan No #60.

2. Kualitas jalan laston yang rendah dan semakin banyaknya kendaraan bermotor yang membuat jalan menjadi cepat rusak. Aspal yang digunakan adalah aspal pen 60/70.
3. Agregat kasar yang digunakan adalah agregat kasar dari *stock pile* di Kalasan, Yogyakarta yang lolos ayakan No#1, #0,75, #0,5, #0,375, #4, dan #8.
4. Agregat halus agregat halus berasal dari Kali Progo yang lolos ayakan No #16, #30, #50, #100, dan No #200.

D. Rumusan Masalah

Dari batasan masalah diatas maka didapat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh dari bahan pengganti agregat halus menggunakan limbah ban karet bekas kendaraan pada campuran lapis aspal beton (laston) terhadap karakteristik *marshall*?
2. Bagaimana pengaruh persentase penggantian agregat menggunakan limbah ban karet bekas kendaraan yaitu sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6% pada campuran laston terhadap karakteristik *marshall*?
3. Apakah hasil dari pengujian *marshall* dengan bahan pengganti limbah ban karet bekas kendaraan sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2010?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini yang ingin dicapai oleh penulis adalah:

1. Mengetahui pengaruh dari bahan pengganti agregat halus menggunakan limbah ban bekas kendaraan pada campuran lapis aspal beton (laston) terhadap karakteristik *marshall*.
2. Mengetahui pengaruh persentase penggantian agregat menggunakan limbah karet bekas kendaraan yaitu sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6% pada campuran laston terhadap karakteristik *marshall*.
3. Mengetahui hasil pengujian *marshall* dengan bahan pengganti limbah ban karet bekas kendaraan sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2010.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Dengan adanya penelitian ini maka hasil yang didapatkan bisa menjadi solusi dan inovasi untuk meningkatkan kualitas infrastruktur jalan.
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya.
3. Sebagai bahan pertimbangan untuk memperbaiki ataupun membuat perkerasan jalan.
4. Memberikan solusi untuk pengolahan limbah ban karet bekas kendaraan.

G. Keaslian Gagasan

Proyek akhir yang dibuat penulis dengan judul “*Pengaruh Penambahan Limbah Ban Karet Bekas Kendaraan pada Laston terhadap Karakteristik Marshall*” dipastikan asli dan belum pernah ada yang

mengajukan karya yang serupa di instansi atau lembaga manapun. Untuk karya tulis atau penelitian yang terkait dengan penelitian ini, semuanya dicantumkan dalam naskah sebagai acuan dan referensi.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi untuk memberikan pelayanan kepada sarana transportasi. Fungsi perkerasan adalah untuk memikul beban lalu lintas secara cukup aman dan nyaman, serta sebelum umur rencananya tidak terjadi kerusakan yang berarti. Menurut Sukirman (2003) supaya perkerasan mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai tetapi juga ekonomis, maka perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis.

Menurut Sukirman (1992) berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Konstruksi perkerasan lentur (flexible pavement)

Konstruksi perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Adapun lapisan perkerasan lentur yang berada paling atas adalah lapisan permukaan atau *surface course* yang berfungsi sebagai penahan beban roda secara langsung, dengan stabilitas tinggi dan merupakan lapisan aus atau yang menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.

Kemudian dibawahnya terdapat lapisan pondasi atau *base course*

dimana lapisan ini menggunakan material dengan indeks CBR $> 50\%$ dan PI *plastisitas indeks* $< 4\%$, yang tersusun dari material-material alam seperti batu pecah kelas A hingga C, kerikil pecah, dan stabilitas dengan kapur atau semen. Adapun fungsinya sebagai bagian lapisan yang menahan gaya lintang dari beban roda yang menyebarkan beban ke bawahnya, selain itu lapisan *base course* juga berfungsi untuk bantalan dari lapisan permukaan peresapan lapisan pondasi bawahnya.

Lapisan berikutnya merupakan lapisan pondasi bawah atau *subbase course* yang merupakan lapisan yang terletak antara lapisan pondasi atas dan tanah dasar yang menyebarkan beban roda ke lapisan tanah dasar. Lapisan pondasi bawah ini harus kuat dengan memiliki CBR 20% dan *plastisitas indeks* $< 10\%$. Selain itu lapisan pondasi bawah ini berfungsi sebagai lapisan peresapan agar air tanah tidak berkumpul di pondasi. Lapisan yang terakhir adalah lapisan tanah dasar atau *supergr* yang merupakan tanah asli atau tanah yang didatangkan dari tempat lain dengan kadar air optimum dan memiliki ketebalan 50 sampai 100 cm.

2. Konstruksi perkerasan kaku (rigid pavement)

Konstruksi perkerasan kaku adalah perkerasan yang menggunakan semen atau *portland cement* sebagai bahan pengikat, plat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian dipikul oleh plat beton.

3. Konstruksi perkerasan komposit (composite pavement)

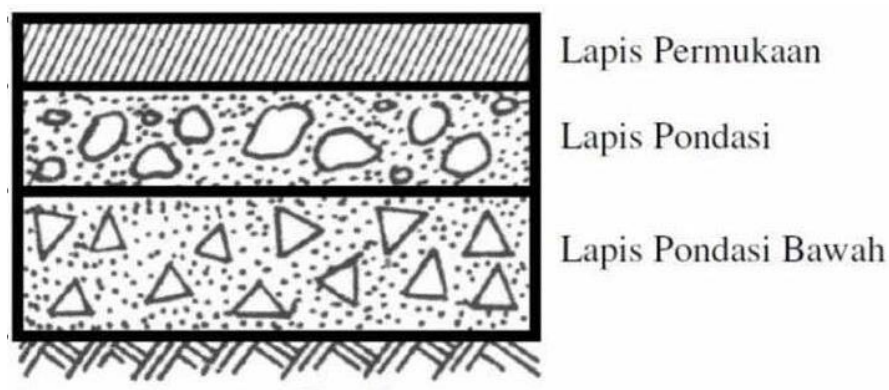
Konstruksi perkerasan komposit adalah perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dengan susunan berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur. Perkerasan semacam ini biasa dijumpai pada landasan udara, dimana landasan itu dituntut untuk dapat menahan beban yang berat dari roda pesawat, namun harus tetap aus.

Perkerasan lentur akan mempunyai kinerja yang baik apabila perencanaan dilakukan dengan baik dan seluruh komponen utama dalam sistem perkerasan berfungsi dengan baik. Peranan komponen-komponen perkerasan lentur oleh *Federal Highway Administration* (Hardiyatmo, 2015) adalah sebagai berikut:

1. Lapisan aus (wearing course) yang memberikan cukup kekesatan, tahan gesek, dan penutup kedap air atau drainase air permukaan.
2. Lapisan perkerasan terikat atau tersementasi yang memberikan dayadukung yang cukup, sekaligus sebagai penghalang air yang masuk ke dalam material tak terlihat dibawahnya.
3. Lapisan pondasi (base course) dan pondasi bawah (subbase course) tak terikat yang memberikan tambahan kekuatan, dan ketahanan terhadap pengaruh air yang merusak struktur perkerasan serta pengaruh degradasi yang lain (erosi dan intrusi butiran halus).
4. Tanah dasar (subgrade) yang memberikan cukup kekakuan, kekuatan yang seragam, dan merupakan landasan yang stabil untuk lapisan material perkerasan diatasnya.

5. Sistem drainase yang dapat membuang air dengan cepat dari sistem perkerasan, sebelum air menurunkan kualitas lapisan material granuler tak terikat dan tanah dasar.

Bagian perkerasan jalan umumnya meliputi lapis pondasi bawah, lapis pondasi atas, dan lapis permukaan. Contoh susunan lapisan perkerasan jalan dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 1. Susunan Lapis Perkerasan Jalan

Pekerjaan evaluasi struktur perkerasan diperlukan sebelum dilakukan rehabilitasi. Karena rehabilitasi ini dikerjakan pada perkerasan yang sudah ada, maka sebelum menangani pekerjaan tersebut, perlu dipelajari dulu segala sesuatu terkait dengan kerusakan perkerasan dan cara penanganannya. Secara umum, evaluasi perkerasan dibagi menjadi tiga aktifitas oleh *Asphalt Institute MS-17* dikutip dari Hardiyatmo (2015) sebagai berikut:

1. Melakukan penelitian karakteristik fungsional (kualitas berkendara dan kekerasan permukaan).
2. Melakukan survei kondisi dan kerusakan.
3. Melakukan uji struktur perkerasan (tidak merusak dan merusak).

B. Lapisan Aspal Beton

Lapisan aspal Beton adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Material agregatnya terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang bergradasi baik yang dicampur dengan *penetration grade* aspal. Kekuatan yang didapat terutama berasal dari sifat mengunci (interlocking) agregat dan juga sedikit dari mortar pasir, *filler*, dan aspal.

Departemen Pekerjaan Umum Spesifikasi 2010 Divisi 6 Revisi 3, menyatakan bahwa jenis-jenis campuran beraspal terdiri dari:

1. Lapis Tipis Aspal Pasir atau *Sand Sheet See* Kelas A dan B

Lapis tipis aspal (latasir) yang selanjutnya disebut SS, terdiri dari dua jenis campuran yaitu SS-A dan SS-B. Pemilihan SS-A dan SS-B tergantung pada tebal nominal minimum. Latasir biasanya memerlukan penambahan *filler* agar memenuhi kebutuhan sifat-sifat yang disyaratkan.

2. Lapisan Tipis Aspal Beton atau *Hot Rolled Sheed*

Lapisan tipis aspal beton (lataston) yang selanjutnya disebut HRS, terdiri dari dua jenis campuran, HRS pondasi (*HRS-base*) dan HRS lapisan aus (*HRS wearing crouse*, *HRS-WC*) dan ukuran maksimum agregat masing-masing dari campuran adalah 19 mm. HRS-basemempunyai proporsi fraksi agregat kasar lebih besar dari pada HRS-WC.

3. Lapisan Aspal Beton atau *Asphalt Concrete*

Lapisan aspal beton (laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari tiga jenis campuran, AC lapisan aus (AC-WC), AC lapisan antara (AC-binder crouse, AC-BC), dan AC lapisan pondasi (AC-base) serta ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC yang mengandung bahan aspal *polymer* atau aspal dimodifikasi dengan aspal alam disebut masing-masing sebagai AC-WC *Modified*, AC-BC-*Modified*, dan AC-Base *Modified*.

Adapun tebal nominal minimum beserta dengan simbol untuk masing-masing lapisan beraspal telah ditentukan dan tercantum pada tabel sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Lapisan Aspal Beton

Jenis Campuran		Simbol	Tebal Nominal Minimum (cm)
Latasir Kelas A		SS-A	1,5
Latasir Kelas B		SS-B	2,0
Lataston	Lapisan Aus	HRS-WC	3,0
	Lapisan Pondasi	HRS-Base	3,5
Laston	Lapisan Aus	AC-WC	4,0
	Lapisan Antara	AC-BC	6,0
	Lapisan Pondasi	AC-Base	7,5

Sumber: Bina Marga, 2010

Tabel 2. Ketentuan Aspal Beton (AC Mod)

Sifat Campuran	Nilai
Jumlah Tumbukan	75 kali

Stabilitas	Min	2500 kg
Pelelehan	Min	2 mm
	Maks	4 mm

Sumber: Bina Marga 2010

Secara umum bahan penyusun lapisan aspal beton terdiri dari agregat kasar, agregat halus, bahan, *filler* dan aspal sebagai bahan pengikat. Bahan-bahan tersebut harus diuji terlebih dahulu di laboratorium. Agregat yang digunakan sebagai material campuran perkerasan jalan harus memenuhi persyaratan sifat dan gradasi agregat. Menurut Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Divisi VI untuk Campuran Beraspal Panas, Dep. PU, Edisi April 2007 memberikan persyaratan untuk agregat sebagai berikut:

1. Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk rancangan adalah agregat yang tertahan saringan no. 8 (2,36 mm) dan harus bersih, keras, awet, dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya serta memenuhi ketentuan yang diberikan dalam tabel berikut:

Tabel 3. Ketentuan agregat kasar untuk campuran beton aspal

Jenis Pemeriksaan	Standar	Syarat Maksimal/Minimal
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	SNI 03-3407-1994	Maksimal 12%
Jenis Pemeriksaan	Standar	Syarat Maksimal/Minimal
natrium dan magnesium	SNI 03-3407-1994	Maksimal 12%

sulfat		
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-1991	Maksimal 40%
Kelekatan agregat dengan aspal	SNI 03-2439-1991	Minimal 95%
Partikel pipih dan lonjong	RSNI T-01-2005	Maksimal 10%
Material lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1996	Maksimal 1%
Angularitas	SNI 03-6877-2002	90%/95%

Sumber: Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan,

Divisi VI Perkerasan Beraspal, Dep. PU, Edisi April 2007

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang lolos dari ayakan dengan No #8 (2,36 mm), yang harus memenuhi persyaratan agregat halus sebagai berikut:

- a. Agregat halus dari sumber bahan manapun harus terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan lolos ayakan No. #8 sesuai SNI 03-6819-2002.
- b. Fraksi agregat halus pecah mesin harus ditumbuk terpisah dengan agregat kasar.
- c. Pasir boleh digunakan dalam campuran beraspal. Persentase maksimum yang disyaratkan untuk beton aspal adalah 10%.

- d. Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.
- e. Agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

Tabel 4. Ketentuan agregat halus untuk campuran beton aspal

Jenis Pemeriksaan	Standar	Syarat Maksimal/Minimal
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Maksimal 50%
Material lolos ayakan No. #200	SNI 03-4142-1996	Maksimal 8%
Angularitas	SNI 03-6877-2002	Minimal 45%

Sumber: Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan,

Divisi VI Perkerasan Beraspal, Dep. PU, Edisi April 2007

3. Bahan Pengisi (filler)

Debu batu (stonedust) dan bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan penyaringan sesuai dengan SNI 03-4142-1996 harus mengandung bahan yang lolos saringan No. #200 (75 mikron) tidak kurang dari 75% yang lolos saringan No. #30 (600 mikron) dan mempunyai sifat nonplastis serta harus memenuhi gradasi sebagai berikut:

Tabel 5. Spesifikasi *filler* untuk campuran beton aspal

Saringan	% Lolos
0,600 (no. 30)	100
Saringan	% Lolos
0,300 (no. 50)	90-100
0,075 (no.200)	75-100

Sumber: Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan,

Pembuatan Laston dimaksudkan untuk memberikan daya dukung dan memiliki sifat tahan terhadap keausan akibat lalu lintas, kedap air, mempunyai nilai struktural, mempunyai nilai stabilitas yang tinggi, dan peka terhadap penyimpangan perencanaan dan pelaksanaan.

C. Campuran Aspal

Menurut Sukirman(1999) aspal didefinisikan sebagai bahan berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai sedikit padat. Jika dipanaskan sampai suhu/temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak atau cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada saat pembuatan aspal beton atau dapat masuk ke dalam pori-pori yang ada pada penyemprotan atau penyiraman pada perkerasan macadam ataupun pelaburan. Jika temperatur mulai turun maka aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis). Menurut Sukirman (2003) banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4% sampai 10% berdasarkan volume campuran.

Menurut Sukirman (2003) aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai:

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat, serta antar sesama aspal.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri.

Menurut Totomihardjo (2004) ada beberapa persyaratan aspal sebagai bahan perkerasan jalan yaitu:

1. Kekuatan atau kekerasan (stiffness).
2. Sifat mudah dikerjakan (workability).
3. Kuat tarik (tensile strength) dan adhesi.
4. Tahan terhadap cuaca.

Menurut Sulaksono (2001) aspal adalah sejenis mineral yang umumnya digunakan untuk konstruksi jalan, khususnya perkerasan lentur. Aspal merupakan material organik (hydrocarbon) yang kompleks, yang diperoleh langsung dari alam atau dengan proses tertentu. Aspal berbentuk cair, semi pampat, dan pampat pada suhu ruang (25° C). Penggunaan aspal sebagai material perkerasan cukup luas, mulai dari lapis permukaan, lapis pondasi, lapis aus, maupun lapis penutup. Aspal dibedakan menjadi lima jenis sebagai berikut:

1. Aspal alam

Aspal alam ditemukan di pulau Buton, Perancis, Swiss, dan Amerika Selatan. Menurut sifat kekerasannya aspal alam dapat dibagi menjadi dua, yaitu *rock asphalt* dan *lake asphalt*.

2. Aspal buatan

Aspal ini dibuat dari minyak bumi sehingga dikenal sebagai aspal minyak, selain itu aspal ini harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan, sehingga juga sering disebut sebagai aspal panas. Bahan baku minyak bumi yang baik untuk pembuatan aspal adalah minyak

bumi yang mengandung *parafin*. Untuk bahan aspal *parafin* kurang disukai karena akan mengakibatkan aspal jadigetas, mudah terbakar, dan memiliki daya lekat yang buruk dengan agregat.

3. Aspal cair

Aspal cair adalah aspal keras yang diencerkan dengan 10% - 20% *kerosin*, *white spirit* atau *gas oil* untuk mencapai viskositas tertentu dan memenuhi fraksi destilasi tertentu. Viskositas ini dibutuhkan agar aspal tersebut dapat menutupi agregat dalam waktu singkat dan akan meningkat terus sampai pekerjaan pemadatan dilaksanakan.

4. Aspal emulsi

Aspal emulsi adalah aspal yang lebih cair daripada aspal cair dan mempunyai sifat dapat menembus pori-pori halus dalam batuan yang tidak dapat dilalui oleh aspal cair biasa karena sifat pelarut yang membawa aspal dalam emulsi mempunyai daya tarik terhadap batuan yang lebih baik daripada pelarut dalam aspal cair, terutama apabila batuan tersebut sedikit lembab.

5. Tar

Tar merupakan sejenis cairan yang diperoleh dari material organik. Contohnya adalah kayu atau batu bara melalui proses destilasi dengan suhu tinggi tanpa zat asam.

Menurut Departemen Pekerjaan Umum pada Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) untuk Jalan Raya, SKBI-2.4.26.1987, aspal dibedakan menjadi tiga jenis yaitu:

1. Aspal keras, adalah suatu jenis aspal minyak yang merupakan residu hasil destilasi minyak bumi pada keadaan hampa udara, yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk pampat.
2. Aspal cair, adalah aspal minyak yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk cair, terdiri dari aspal keras yang diencerkan dengan bahan pelarut.
3. Aspal emulsi, adalah suatu jenis aspal yang terdiri dari aspal keras, air, dan bahan pengemulsi dimana pada suhu normal dan tekanan normal berbentuk cair.

Adapun persyaratan untuk aspal keras pen 60/70 sebagai berikut:

Tabel 6. Persyaratan aspal keras pen 60/70

Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan Pen 60/70
Penetrasi, 25°C; 100 gram; 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60-79
Titik lembek, °C	SNI 06-2434-1991	48-58
Daktilitas 25°C, cm	SNI 06-2434-1991	Minimal 100
Berat jenis	SNI 06-2441-1991	Minimal 1,0
Jenis Pengujian	Metode	Persyaratan Pen 60/70
Penurunan berat (dengan TFOT), % berat	SNI 06-2440-1991	Maksimal 0,8

Sumber: Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Divisi

VI Perkerasan Beraspal, Dep. PU, Edisi April 2007

D. Agregat

Agregat adalah partikel mineral yang berbentuk butiran-butiran yang merupakan salah satu penggunaan dalam kombinasi dengan berbagai macam tipe mulai dari sebagai bahan material di semen untuk membentuk beton, lapis pondasijalan, material pengisi, dan lain-lain (Harold N. Atkins, PE. 1997). Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90% -95% berdasarkan persentase berat atau 75% - 85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kelompok sebagai berikut:

1. Kekuatan dan keawetan (strength and durability) lapisan perkerasan dipengaruhi oleh gradasi, ukuran maksimum, kadar lempung, kekerasan dan ketahanan (toughness and durability) bentuk butir serta tekstur permukaan.
2. Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, yang dipengaruhi oleh porositas, kemungkinan basah dan jenis agregat yang digunakan.

3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, yang dipengaruhi oleh tahanan geser (skid resistance) serta campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan (bituminous mix workability).

E. Gradasi

Gradasi merupakan distribusi dari variasi ukuran butir agregat. Gradasi menentukan banyak sedikitnya rongga dalam suatu campuran, serta menentukan baik atau buruknya kualitas campuran. Untuk mengetahui gradasi dari suatu agregat perlu dilakukan pengujian analisis saringan sesuai dengan SNI 03-1968-1990, atau menurut AASHTO T27-82/T11-82. Dimana dalam pengujian analisis saringan akan didapatkan persentase dari masing-masing fraksi penyusun agregat.

Menurut Sukirman (1992) gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa ayakan dengan menggunakan satu set ayakan dimana ayakan yang paling kasar diletakkan di atas dan yang paling halus diletakkan paling bawah. Gradasi agregat dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Gradasi seragam (uniform graded)

Gradasi seragam adalah agregat dengan ukuran hampir sama/sejenis atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka. Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan jalan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang, dan berat volume kecil.

2. Gradasi rapat (dense graded)

Gradasi rapat merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang, sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik (well graded). Campuran agregat yang bergradasi rapat atau baik mempunyai pori sedikit, mudah dipampatkan, dan mempunyai stabilitas yang tinggi. Tingkat stabilitas ditentukan dari ukuran butir agregat terbesar yang ada.

3. Gradasi buruk (poorly graded)

Gradasi buruk atau jelek merupakan campuran agregat yang tidak memenuhi dua kriteria diatas. Agregat yang bergradasi buruk yang umum digunakan untuk lapisan perkerasan lentur yaitu gradasi celah, yang merupakan campuran agregat dengan satu fraksi hilang. Agregat dengan gradasi senjang akan menghasilkan lapisan perkerasan yang mutunya terletak di antara kedua jenis diatas.

Menurut Sukirman (2003), dari ketiga gradasi yang meliputi gradasi senjang, gradasi terbuka, dan gradasi baik memiliki beberapa sifat yang berbeda antara satu dengan yang lainnya, perbandingan sifat antar ketiga gradasi sebagai berikut:

Tabel 7. Perbandingan Antar Gradasi

No	Gradasi Seragam	Gradasi Baik	Gradasi Buruk
1.	Kontak antar butir baik	Kontak antar butir baik	Kontak antar butir jelek
2.	Kepadatan bervariasi tergantung dari segregasi yang terjadi	Seragam dan kepadatan tinggi	Seragam tetapi kepadatan jelek

3.	Stabilitas dalam keadaan terbatas (confident) tinggi	Stabilitas tinggi	Stabilitas sedang
4.	Stabilitas dalam keadaan rendah	Kuat menahan deformasi	Stabilitas sangat rendah pada keadaan basah
5.	Sukar untuk dipadatkan	Sukar sampai dengan susah untuk memadatkan	Mudah dipadatkan
6.	Mudah diresapi air	Tingkat permeabilitas cukup	Tingkat permeabilitas rendah
7.	Tidak dipengaruhi kadar air	Pengaruh variasi kadar air cukup tinggi	Kurang dipengaruhi oleh bervariasinya kadar air

Sumber: Sukirman (2010)

F. Suhu atau Temperatur

Aspal mempunyai kepekaan terhadap perubahan suhu/temperatur, karena aspal adalah material yang termoplastis. Aspal akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau cair apabila temperatur bertambah. Setiap jenis aspal mempunyai kepekaan terhadap temperatur berbeda-beda, karena kepekaan tersebut dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspalnya, walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu. Pemeriksaan sifat kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur perlu dilakukan sehingga diperoleh informasi tentang rentang temperatur yang baik untuk pelaksanaan pekerjaan. Pada Tabel 8 ini memperlihatkan nilai viskositas aspal dan batasan suhu selama pencampuran, penghamparan, dan pemadatan pada proses pelaksanaan pekerjaan perkerasan jalan.

Tabel 8. Ketentuan viskositas dan temperatur aspal untuk pencampuran dan pemadatan

No	Prosedur Pelaksanaan	Viskositas aspal (PA.S)	Suhu Campuran (°C)
			Pen 60/70
1	Pencampuran benda uji <i>Marshall</i>	0,2	155 ± 1
2	Pemadatan benda uji <i>Marshall</i>	0,4	140 ± 1
3	Pencampuran rentang temperatur sasaran	0,2 – 0,5	145 – 155
4	Menuangkan campuran dari AMP ke dalam truk	±0,5	135 – 150
5	Pasokan ke alat penghamparan (paver)	0,5 – 1,0	130 – 150
6	Penggilasan awal (roda baja)	1 – 2	125 – 145
7	Penggilasan kedua (roda kaet)	2 – 20	100 – 125
8	Penggilasan akhir (roda baja)	< 20	>95

Sumber: Dokumen Pelelangan Nasional Pekerjaan Jasa Pelaksanaan

Konstruksi BAB VII Spesifikasi Umum 2010 Devisi 6 Perkerasan

Aspal

G. Limbah Ban Karet Bekas Kendaraan

Ban adalah piranti yang menutupi veleg suatu roda dan merupakan bagian penting dari kendaraan darat yang digunakan untuk mengurangi getaran yang disebabkan ketidakraturan permukaan jalan, melindungi roda dari aus dan kerusakan, serta memberikan kestabilan antara kendaraan dan tanah untuk meningkatkan percepatan dan mempermudah pergerakan.

Pada tahun 1839, Charles Goodyear berhasil menemukan teknik vulkanisir karet. Vulkanisir sendiri berasal dari kata vulkan yang berarti dewa api dalam agama orang romawi. Pada mulanya Goodyear tidak

menamakan penemuannya itu dengan nama vulkanisir melainkan karet tahan api.

Ban terdiri dari bahan karet atau polimer yang sangat kuat diperkuat dengan serat-serat sintetik dan baja yang sangat kuat sehingga dapat menghasilkan suatu bahan yang mempunyai sifat-sifat untuk seperti kekuatan tarik yang sangat kuat, fleksibel, ketahanan pergeseran yang tinggi (Warith, 2006). Khususnya mengandung 85% hidrokarbon, 10-15% baja dan bahan-bahan kimia lainnya. Pada ban dilakukan proses vulkanisasi yaitu suatu teknik pembekuan sehingga tahan lama. Berat ban-ban mobil sebesar 7,5-9 kg dan berat ban truk 50-80 kg.

Menurut Warith(2006) ban bekas mempunyai kandungan diantaranya sebagai berikut:

1. Karet alam dan karet sintetis
2. *Filler* penguat
3. Minyak
4. Antioksidan
5. Zink oksida
6. Akselerator
7. Sulfur

Proses vulkanisir adalah proses *irreversible* pada keadaan suhu dan tekanan atmosfer standar. Proses vulkanisasi juga menggunakan percepatan primer dan sekunder terutama sulfur yang mengandung senyawa organik dan aktivator seperti dengan zink oksida dan asam stearat. Vulkanisir adalah proses termokimia dengan menggabungkan sulfurikatan silang sulfur

kedalam suatu campuran molekul-molekul karet dalam meningkatkan elastisitas dan sifat-sifat yang lain yang diinginkan sesuai pembuatan hasil karet. Dalam proses, atom sulfur secara kimia diikat oleh molekul-molekul karet dan terjadi ikat silang (ikatan kimia) antara molekul karet sulfida (Al-malaika, 1997).

Pada penelitian ini menggunakan serbuk karet ban yang merupakan salah satu limbah karet dari sisa bahan yang dihasilkan ban mobil atau truk yang telah divulkanisasi. Serbuk karet ban merupakan salah satu bahan tambah yang diharapkan mampu meningkatkan kualitas aspal dalam memenuhi karakteristik aspal sebagai bahan ikat, serta meningkatkan karakteristik pada campuran lapis aspal beton terutama pada stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas.

Menurut Suloff (2013) pada proses produksinya, ada 3 jenis karet sintetis yang saat ini digunakan pada ban yaitu:

a. *Styrene*

Merupakan karet sintetis yang sangat populer di kalangan produsen ban. Biasanya dikenal dengan *styrene Butyl Rubber* (SBR).

b. *Polybutadiene*

Merupakan karet sintetis tambahan yang mulai digunakan pada ban standar. Karet sintetis jenis ini adalah kemampuannya yang menahan penyerapan panas berlebihan dari sebuah ban.

c. *Halobutyl Rubber*

Karet sintetis yang sering digunakan untuk ban-ban tubes. Unsur halogen yang terkandung didalamnya saling mengikat dengan unsur ban sintetis standar lainnya. Karet sintetis ini menggantikan peran ban dalam.

Menurut Warith (2006) ban terdiri dari bahan karet atau polimer yang sangat kuat diperkuat dengan serat –serat sintetis dan baja yang sangat kuat sehingga dapat menghasilkan suatu bahan yang mempunyai sifat-sifat unik seperti kekuatan tarik yang sangat kuat, fleksibel, ketahanan geseran yang tinggi.

H. Metode Pengujian Marshall

Setelah semua benda uji dibuat maka tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian untuk memperoleh hasil yang diinginkan dengan alat yang bernama *Marshall Test*. Pemeriksaan dengan *Marshall Test* pertama kali diperkenalkan oleh Bruce Marshall dan dikembangkan oleh U.S Corps of Engineer. Hasil pemeriksaannya, Marshall menggunakan prosedur PC-0201-76, AASHTO T 245-74 atau ASTM D 1559-62T (Sukirman, 2010).

Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* atau cincin penguji yang berkapasitas 22,5 KN atau 5000 lbs. *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran. Disamping itu terdapat arloji kelelahan (flow meter) untuk mengukur kelelahan plastis, karena prinsip dasar metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (flow), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.

Rancangan campuran berdasarkan metode *Marshall* ditemukan oleh Bruce Marshall, dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76, atau AASHTO T-245-90.

Secara garis besar, pengujian *Marshall* meliputi :

1. Persiapan benda uji.
2. Penentuan berat jenis bulk dari benda uji.
3. Pemeriksaan nilai stabilitas dan *flow*.
4. Perhitungan sifat volumetrik benda uji.

Setelah dilakukan *Marshall Test* menurut Sukirman (2010) metode *marshall* akan diperoleh data-data sebagai berikut:

1. Stabilitas yang dinyatakan dalam bilangan bulat. Stabilitas kemudian menunjukkan kekuatan dan ketahanan terhadap terjadinya alur (*runting*).
2. Kelelehan plastis (*flow*) yang dinyatakan dalam mm atau 0,1 inch. *Flow* dapat digunakan sebagai indikator terhadap lentur.
3. VIM yang merupakan persentase rongga dalam campuran lapis aspal - beton dan dinyatakan dalam bilangan desimal 1 angka belakang koma. VIM merupakan indikator dari durabilitas.
4. VMA yang merupakan persen rongga terhadap agregat dan dinyatakan dalam bilangan bulat. VMA bersama dengan VIM merupakan indikator dari durabilitas.

Menurut Sukirman (2003), parameter kualitas campuran aspal beserta rumus-rumus yang digunakan untuk mengolah data meliputi:

1. Berat Jenis *Bulk* dari Total Agregat

Masing-masing agregat penyusun campuran aspal beton memiliki nilai berat jenis masing-masing, sehingga perlu untuk mencari nilai penggabungan berat jenis gabungan dari agregat maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$G_{sb\text{total}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sb\ n}}} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

$G_{sb\text{total}}$: Berat jenis *bulk* agregat gabungan (gr/cc)

P_1, P_2, P_3 : Persentase berat masing-masing agregat (%)

$G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sb3}$: Berat jenis *bulk* masing-masing agregat (gr/cc)

2. Berat Jenis Semu Total Agregat

Masing-masing agregat penyusun campuran aspal beton memiliki nilai berat jenis semu masing-masing, sehingga perlu untuk mencari nilai penggabungan berat jenis semu gabungan dari agregat maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$G_{sa\text{total}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sa\ n}}} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

$G_{sa\text{total}}$: Berat jenis semu agregat gabungan (gr/cc)

P_1, P_2, P_3 : Persentase berat dari masing-masing agregat (%)

$G_{sa1}, G_{sa2}, G_{sa3}$: Berat jenis semu masing-masing agregat (gr/cc)

3. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis efektif agregat merupakan rerata dari berat jenis total dan berat jenis semu total agregat, adapun rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

G_{se} : Berat jenis efektif total agregat (gr/cc)

G_{sb} : Berat jenis *bulk* agregat (gr/cc)

G_{sa} : Berat jenis semu agregat (gr/cc)

4. Berat Jenis Maksimal Agregat

Berat jenis maksimal agregat merupakan berat jenis campuran yang dicari dari persentase dan berat jenis masing-masing material, adapun rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

G_{mm} : Berat jenis maksimum agregat (gr/cc)

P_{mm} : Persentase berat total campuran (100%)

P_s : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran

P_b : Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran

G_{se} : Berat jenis efektif (gr/cc)

G_b : Berat jenis aspal (gr/cc)

5. Berat Jenis *Bulk* Campuran

Berat jenis *bulk* dicari dari perbandingan antara berat campuran dan volume campuran, adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Gmb = \frac{Wa}{Vbulk} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

Gmb : Berat jenis campuran setelah dipadatkan (gr/cc)

Vbulk : Volume campuran setelah dipadatkan (cc)

Wa : Berat di udara (gr)

6. Kepadatan

Kepadatan adalah nilai yang menunjukkan kepadatan campuran hasil dari perbandingan berat campuran di udara dengan berat campuran dalam keadaan jenuh dan di dalam air. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$\text{Kepadatan} = \frac{Wm}{(Wmssd - Wmpw)} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

Wm : Berat benda uji setelah dipadatkan (gr)

Wmssd : Berat benda uji keadaan jenuh setelah dipadatkan (gr)

Wmpw : Berat benda uji dalam air setelah dipadatkan (gr)

7. VIM (Vold In Mix)

Merupakan nilai untuk rongga yang ada dalam campuran. Nilai VIM ini dinyatakan dalam persentase menggunakan bilangan desimal

atau satu angka dibelakang koma. VIM dapat menjadi suatu tolak ukur kepadatan, kekedapan, serta durabilitas suatu campuran. Syarat nilai VIM adalah sekitar 3%-5% sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 1016. Nilai Vim dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$VIM = \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran (%)

Gmm :Berat jenis campuran maksimum setelah pemadatan (gr/cc)

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran setelah pemadatan (gr/cc)

8. VMA (Void Material Agregat)

Merupakan persentase nilai untuk rongga yang ada dalam agregat dan dinyatakan dalam bilangan bulat. Nilai VMA menunjukkan nilai rongga yang terbentuk antar agregat. Adapun perhitungannya sebagai berikut:

$$VMA = \frac{100 (Gsb + Gmb) + Gmb \times Pb}{Gsab} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gsb : Berat jenis *bulk* dari total agregat (gr/cc)

Ps : Persentase kadar agregat terhadap total campuran (%)

9. VFA (Void Filled with Aspal)

Merupakan persentase nilai rongga antar agregat yang terisi oleh aspal. Nilai VFA didapat dari perbandingan antara nilai VIM dan VMA.

Adapun perhitungan yang digunakan sebagai berikut:

$$Gse = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100 \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan:

VFA : Persentase rongga udara yang terisi oleh aspal (%)

VMA : Persentase rongga udara pada mineral agregat (%)

VIM : Persentase rongga udara pada campuran (%)

10. Stabilitas

Stabilitas merupakan suatu nilai ketahanan terhadap nilai kelelahan plastis dan ketahanan terhadap tekanan maksimum (flow) dan ketahanan terhadap terjadinya alur (ruting) pada suatu campuran aspal. Stabilitas terjadi dari hasil gesekan antar butir, penguncian antar partikel, serta daya ikat dari lapisan aspal. Untuk memperoleh nilai dari stabilitas digunakan alat *Marshall Test*, alat tersebut merupakan alat tekan dengan kecepatan tekan berkisar antara 50 mm/menit dan dilengkapi dengan cincin penguji (*proving ring*) dengan kapasitas antara 2500 kg atau 5000 pon. *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur. Berikut adalah rumus untuk mencari nilai stabilitas:

$$S = p \times q \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan:

S : Nilai stabilitas (kg)

P : Pembaca arloji stabilitas x kalibrasi alat

q : Angka koreksi tebal benda uji

Adapun tabel angka koreksi untuk benda uji sebagai berikut:

Tabel 9. Angka Koreksi Benda Uji

Isi Benda Uji (cm ³)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
200-213	25,4	5,56
214-225	27,0	5,00
226-237	28,6	4,55
238-250	30,2	4,17
251-264	31,8	3,85
265-276	33,3	3,57
Isi Benda Uji (cm ³)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
277-289	34,9	3,33
290-301	36,5	3,03
302-316	38,1	2,78
317-328	39,7	2,50
329-340	41,3	2,27
341-353	42,9	2,08
354-367	44,4	1,92
368-379	46,0	1,79
380-392	47,6	1,67
393-405	49,2	1,56
406-420	50,8	1,47
421-431	52,4	1,39
432-443	54,0	1,32
444-456	55,6	1,25
457-470	57,2	1,19

471-482	58,7	1,14
483-495	60,3	1,09
496-508	61,9	1,04
509-522	63,5	1,00
523-535	65,1	0,96
536-546	66,7	0,93
547-559	68,3	0,89
560-573	69,9	0,86
574-585	71,4	0,83
586-598	73,0	0,81
599-610	74,6	0,78
611-625	76,2	0,76

Sumber: SNI 06-2489-1991

11. Kelelehan (flow)

Flow merupakan perubahan bentuk campuran akibat suatu pembebanan yang terjadi hingga keruntuhan yang dinyatakan dalam 1 mm atau 0,01 inch. Nilai *flow* digunakan sebagai indikator terhadap kelenturan. Dalam pengujian, nilai *flow* dapat dibaca pada arloji untuk nilai *flow* pada *marshall test machine*, atau dapat diketahui dengan cara pengurangan diameter benda sebelum dan sesudah diuji.

12. Marshall Quotient(MQ)

Merupakan nilai pendekatan yang menunjukkan nilai kekakuan suatu campuran beraspal dalam menerima beban. MQ adalah hasil bagi antara nilai stabilitas dan nilai *flow*. Nilai yang disyaratkan adalah lebih besar dari 250 kg/mm sesuai dengan persyaratan dari Bina Marga 2016.

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} \dots \dots \dots (12)$$

I. Penelitian yang Relevan

Penelitian terkait dengan penelitian ini pernah oleh Fauzi Satyagraha (2018) dengan judul “Pengaruh Penambahan Limbah Ban Dalam Bekas Kendaraan dan *Filler* Limbah Karbit pada Laston (AC-BC) terhadap Karakteristik Marshall”. Dalam penelitian ini menggunakan KAO 6% dengan variasi kadar ban bekas sebesar 0%, 2%, 3%, dan 4%. Hasil dari penelitian ini menunjukkan campuran aspal yang lebih baik pada KAO 6% dengan penambahan ban bekas sebesar 3% dengan nilai VIM 6,33%, VMA sebesar 14,34%, VFA sebesar 55,98%, stabilitas sebesar 3071,37 kg, *flow* sebesar 3,23 mm, dan MQ sebesar 954,41 kg/mm.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Metode eksperimen merupakan metode yang dilaksanakan dengan membuat benda uji sesuai dengan standar dan ketentuan yang ada, serta penambahan serbuk ban bekas kendaraan dengan variasi persentase yang ditentukan atas pertimbangan dari referensi penelitian lainnya.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta. Tujuan utama dilaksanakan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk ban bekas kendaraan sebagai bahan tambah terhadap karakteristik *marshall* pada campuran aspal.

Proses penelitian ini dilakukan secara bertahap mulai dari pengujian aspal yaitu untuk mengetahui nilai penetrasi aspal, titik lembek, titik nyala, dan titik bakar yang semuanya dilakukan minimal 3 kali untuk mendapat data yang akurat. Selanjutnya dilakukan pengujian agregat halus yang lolos ayakan No #16, #30, #50, #100, dan No #20. Serta pengujian agregat kasar yang lolos ayakan No #1, #0,75, #0,5, #0,375, #4, dan #8. Pengujian ini meliputi analisa ayakan, berat jenis, dan penyerapan air pada agregat. Pengujian terakhir yang dilakukan pada proses ini adalah pengujian terhadap campuran aspal menggunakan *marshall test*.

Selanjutnya dengan sumber yang dijadikan acuan serta data hasil

pengujian yang sudah dilaksanakan digunakan untuk merencanakan kebutuhan rancangan untuk membuat benda uji campuran aspal sebagai pengujian KAO (Kadar Aspal Optimum). Pembuatan benda uji menggunakan metode basah sebagai metode pencampuran, metode basah merupakan metode pencampuran dengan cara memanaskan aspal dan agregat terlebih dahulu pada tempat yang berbeda.

Aspal dipanaskan hingga suhu 110 °C dan agregat dipanaskan hingga suhu 100 °C. Saat aspal dan agregat telah mencapai suhu yang telah ditentukan, selanjutnya aspal dicampurkan dengan agregat. Campuran aspal dan agregat diaduk hingga homogen. Langkah selanjutnya adalah memanaskan *mould* di atas kompor hingga mencapai suhu 110 °C. Saat sudah mencapai suhu yang ditentukan, *mould* diletakkan di atas landasan besi, kemudian diolesi oli dan diberi kertas pelapis. Kemudian campuran aspal panas dituangkan ke dalam *mould* dan ditusuk-tusuk sebanyak 8 kali pada bagian samping dan 5 kali pada bagian tengah. Setelah ditusuk, campuran aspal ditumbuk bagian atas dan bawah masing-masing sebanyak 75 kali. Setelah itu tunggu *mould* hingga dingin kemudian mengeluarkan menggunakan *ejector*.

Dalam pengujian KAO akan dibandingkan data hasil dari serangkaian pengujian untuk menentukan dan memutuskan pada persentase aspal berapakah titik yang dianggap paling optimum. Dari hasil pengujian KAO dengan hasil kadar aspal optimum serta standar yang dijadikan acuan dan data hasil pengujian lainnya yang sudah dilaksanakan digunakan untuk

merencanakan kebutuhan serta rancangan untuk membuat benda uji campuran aspal dengan penambahan serbuk ban karet bekas kendaraan.

Setiap benda uji akan diberikan nama atau kode tersendiri untuk memudahkan dalam pengidentifikasian serta pengelompokan, adapun susunan notasi kode sebagai berikut:

Tabel 10. Notasi Benda Uji KAO

Notasi Benda Uji	Kadar Aspal	Jumlah
KAO 1	5%	1
KAO 2	5,5%	1
KAO 3	6%	1
KAO 4	6,5%	1
KAO 5	7%	1
KAO 6	7,5%	1
Total		6

Tabel 11. Notasi Benda Uji Aspal dengan Penambahan Serbuk Ban Karet Bekas Kendaraan

Notasi Benda Uji		Jumlah	Serbuk Karet Ban Bekas Kendaraan		Aspal (gram)	Krikil (gram)	Pasir (gram)
			%	gram			
AD 0%	1	1	0	0	78	673,2	448,8
	2	1		0	78	673,2	448,8
	3	1		0	78	673,2	448,8
AD 2%	1	1	2	22,44	78	673,2	426,36
	2	1		22,44	78	673,2	426,36
	3	1		22,44	78	673,2	426,36
AD 4%	1	1	4	44,88	78	673,2	403,92
	2	1		44,88	78	673,2	403,92
	3	1		44,88	78	673,2	403,92
AD 6%	1	1	6	67,32	78	673,2	381,48
	2	1		67,32	78	673,2	381,48
	3	1		67,32	78	673,2	381,48

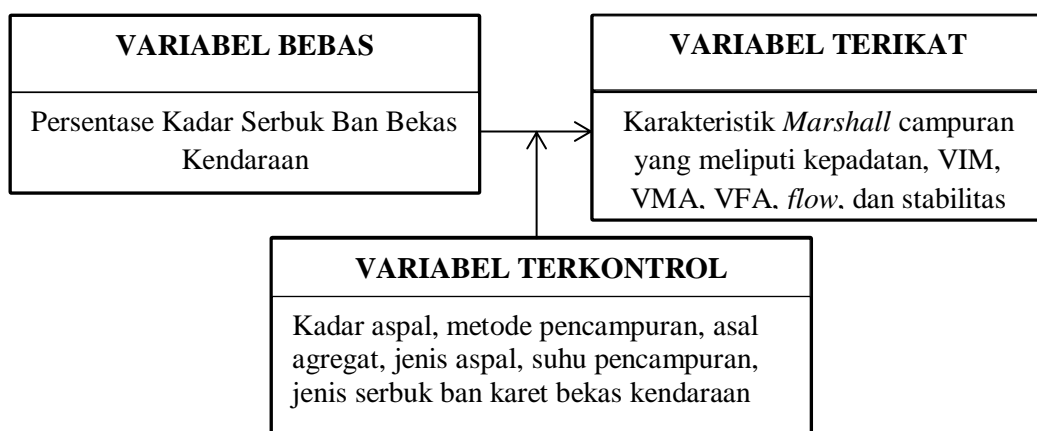
Keterangan:

1AD0% = Laston Ban 0% benda uji 1

B. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa faktor yang saling berpengaruh dan terpengaruh. Menurut Sugiyono (2009:13), pengertian variabel penelitian adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari, sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut kemudian ditarik kesimpulannya.

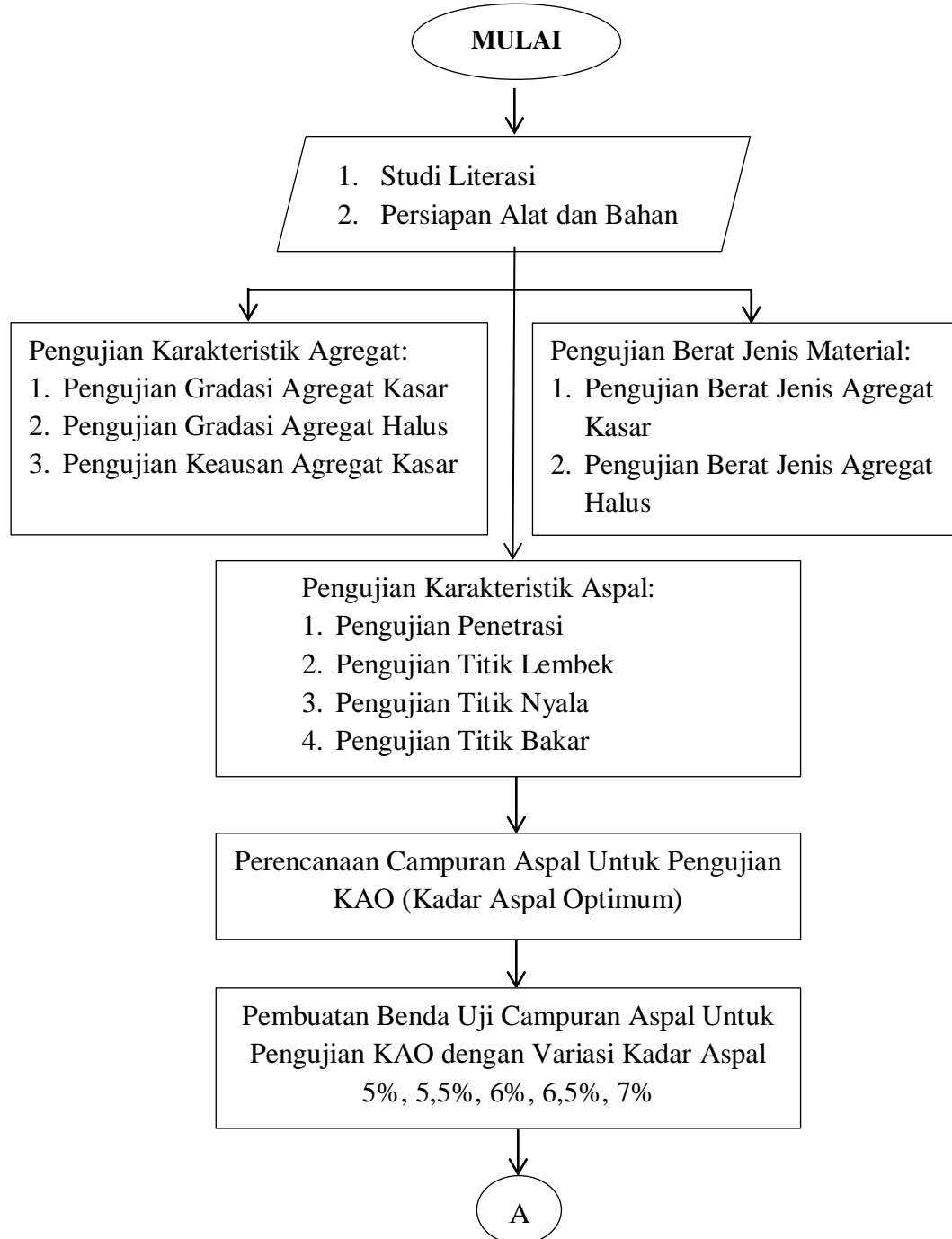
Adapun dalam penelitian yang termasuk dalam variabel bebas adalah persentase kadar serbuk ban karet bekas kendaraan. Selanjutnya adalah variabel terikat yang merupakan variabel yang muncul dari pengaruh variabel bebas, sehingga hasil dari variabel terikat tergantung dan berhubungan dengan variabel bebas. Dalam penelitian ini adalah karakteristik *marshall* campuran, yang meliputi kepadatan, VIM, VMA, VFA, *flow*, dan stabilitas. Yang terakhir adalah variabel terkontrol, yang merupakan variabel yang konstan. Dalam penelitian ini yang termasuk variabel terkontrol meliputi kadar aspal, metode pencampuran, asal agregat, jenis aspal, suhu pencampuran, jenis serbuk ban karet bekas kendaraan.



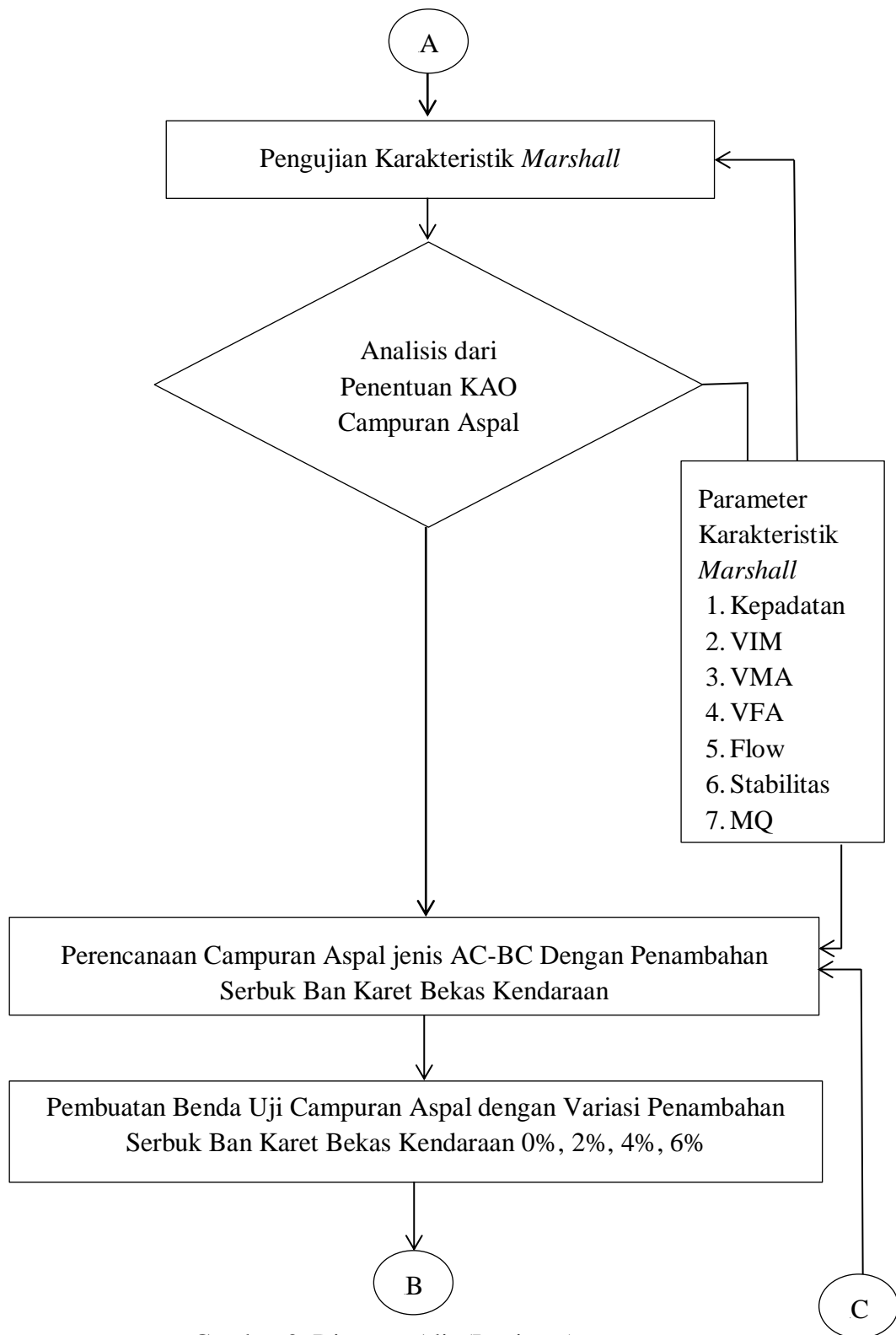
Gambar 2. Diagram Variabel Penelitian

C. Diagram Penelitian

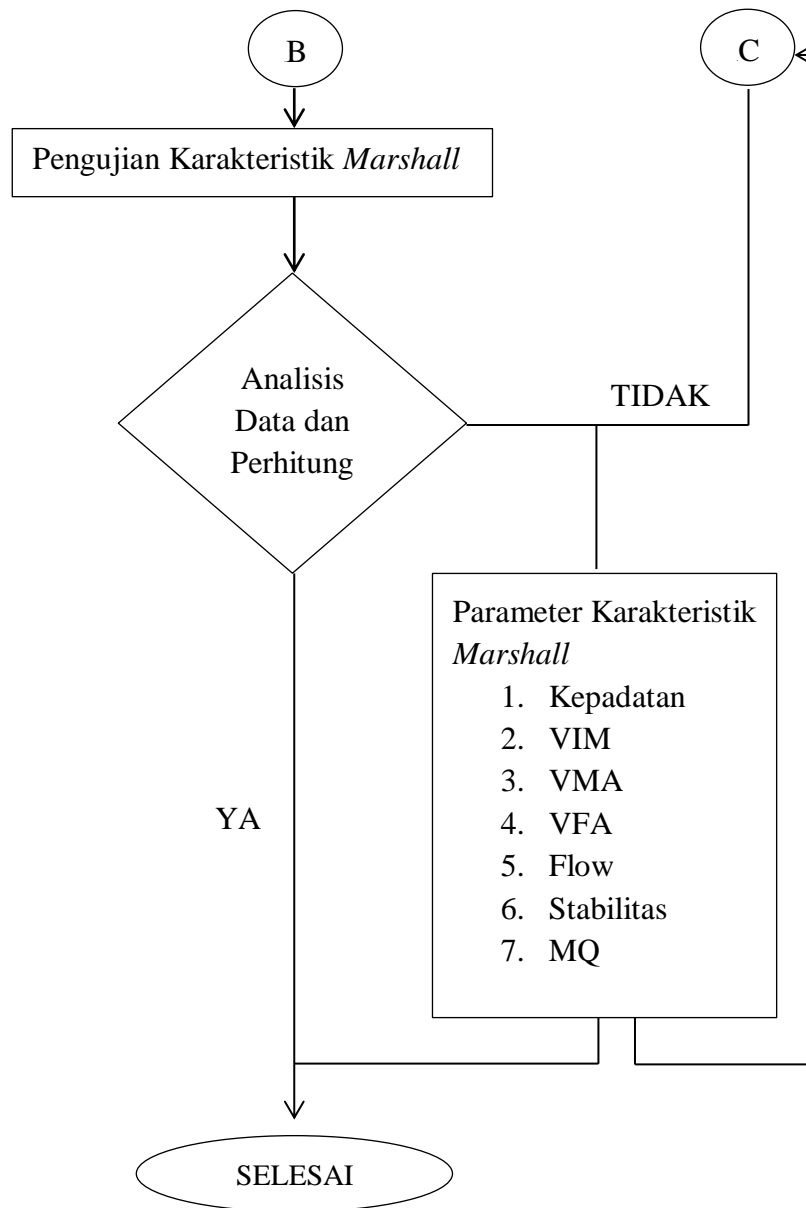
Pelaksanaan penelitian dilakukan secara bertahap dan saling berurutan sehingga tidak dilakukan secara bersamaan sekaligus. Adapun proses dalam penelitian dapat disajikan dalam diagram sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram Alir



Gambar 3. Diagram Alir (Lanjutan)



Gambar 3. Diagram Alir (Lanjutan)

D. Peralatan Penelitian

Penelitian yang dilaksanakan merupakan penelitian dengan metode eksperimental, sehingga akan dibuat benda uji untuk kemudian di uji dan diamati sehingga didapatkan data serta keterkaitan antar variabel. Dalam

pembuatan benda uji diperlukan bahan serta alat sebagai penunjang dan memudahkan proses pelaksanaan pembuatan benda uji.

Alat-alat yang digunakan dalam pembuatan benda uji campuran aspal betondengan penambahan serbuk ban karet bekas kendaraan dapat dikelompokkan kedalam beberapa kelompok yaitu penunjang pengujian karakteristik aspal yang meliputi (pengujian penetrasi, titik lembek, titik nyala, dan titik bakar), alat penunjang pengujian berat jenis material, alat pengujian karakteristik agregat, alat pembuatan benda uji, alat penunjang pengujian karakteristik *marshall*, dan alat umum penunjang pengujian. Adapun alat-alat tersebut sebagai berikut:

1. Alat Penunjang Pengujian Karakteristik Aspal

- a. Alat penunjang pengujian penetrasi

Alat penunjang pengujian penetrasi merupakan semua alat yang dipakai untuk pengujian penetrasi. Adapun alat-alat tersebut meliputi:

- 1) *Penetrometer*

Penetrometer merupakan alat yang digunakan untuk pengujian penetrasi atau penusukan secara vertikal. Terdapat dua jenis *penetrometer* yaitu manual dan otomatis. *Penetrometer* manual terdiri dari jarum dengan pemberat yang terhubung oleh arloji dan tertahan oleh tombol penahan, apabila tombol tersebut ditekan maka jarum penetrasi akan jatuh bebas.

Cara kerja alat *penetrometer* adalah jarum akan menusuk benda uji yang ada dibawahnya selama beberapa saat dan hasil kedalaman

tusukan dari jarum tersebut dapat dibaca pada arloji sebagai nilai penetrasi aspal.

Dalam SNI 06-2456-1991 dijelaskan bahwa alat *penetrometer* yang dapat melepaskan pemegang jarum untuk bergerak secara vertikal tanpa gesekan dan dapat menunjukkan kedalaman masuknya jarum ke dalam benda uji sampai 0,1 mm terdekat. Berat pemegang jarum 47,5 gram $\pm 0,05$ gram. Berat total pemegang jarum beserta jarum adalah 50 gram $\pm 0,05$ gram. Pemegang jarum harus mudah dilepas dari *penetrometer* untuk keperluan pengecekan berat. *Penetrometer* harus dilengkapi dengan *waterpass* untuk memastikan posisi jarum dan pemegang jarum tegak 90° ke permukaan. Berat beban 50 gram $\pm 0,05$ gram dan 100 gram $\pm 0,05$ gram sehingga dapat digunakan untuk mengukur penetrasi dengan berat total 100 gram atau 200 gram sesuai dengan kondisi pengujian yang diinginkan.

Menurut SNI 06-2456-1991, jarum penetrasi harus terbuat dari *stainless steel* dan dari bahan yang kuat, *Grade 440-C* atau yang setara, HRC 54 sampai 60. Memiliki berat 2,50 gram $\pm 0,05$ gram, serat panjang sekitar 50 mm sedangkan jarum panjang sekitar 60 mm (2,4 inch) dengan bagian jarum standar yang tampak harus antara 40 mm sampai 45 mm sedangkan untuk jarum panjang antara 50 mm sampai 55 mm (1,97-2,17 inch), diameter 1,00 mm sampai 1,02 mm dan diameter ujung kerucut 0,14 mm sampai 0,16 mm. Ujung jarum harus terletak satu garis dengan sumbu badan jarum dan berupa kerucut

terpacung dengan sudut antara $8,7^\circ$ dan $9,7^\circ$ dan maksimal perbedaan tidak boleh melebihi 0,2 mm. Ujung jarum harus runcing, tajam, dan halus.



Gambar 4. *Penetrometer*

2) Cawan

Cawan digunakan sebagai tempat menaruh aspal untuk pengujian penetrasi. Cawan yang digunakan untuk pengujian penetrasi dibagi menjadi tiga dan harus memiliki spesifikasi sesuai dengan SNI06-2456-1991 yaitu untuk pengujian penetrasi di bawah 200 harus menggunakan cawan yang memiliki diameter 50 mm dengan tinggi bagian 35 mm, untuk pengujian penetrasi antara 200 hingga 300 harus memiliki diameter 55-75 mm dan tinggi 45-70 mm, untuk pengujian penetrasi antara 350 hingga 500 harus memiliki diameter 55 mm dan tinggi 70 mm.



Gambar 5. Cawan

3) *Stopwatch*

Dikarenakan *penetrometer* yang digunakan merupakan jenis *penetrometer* manual sehingga waktu dari penetrasi jarum tidak terhitung secara otomatis, sehingga diperlukan penghitung waktu yang efektif dan tepat untuk menjadi penunjuk kisaran waktu. Dalam SNI 06-2456-1991, syarat *stopwatch* haruslah terkalibrasi dan mempunyai skala terkecil 0,1 detik atau kurang dengan kesalahan tertinggi 0,1 detik untuk setiap 60 detik.



Gambar 6. *Stopwatch*

b. Alat penunjang pengujian titik lembek

Alat penunjang pengujian titik lembek merupakan semua alat yang digunakan untuk menunjang pengujian titik lembek aspal. Adapun alat-alat tersebut adalah:

1) Tabung ukur

Tabung ukur merupakan silinder berbahan kaca dengan petunjuk ukuran isi yang berfungsi sebagai wadah air untuk dipanaskan dalam pengujian titik lembek. Umumnya bahan yang digunakan untuk tabung ukur adalah kaca *pirex* yang kuat dan tahan dalam suhu tinggi. Di dalam tabung ukur digunakan landasan sebagai tempat untuk meletakkan benda uji aspal dalam pengujian

titik leleh terdiri dari pelat berbentuk lingkaran di bagian atas dengan dua buah besi menggantung dengan pelat landasan peletakan cincin berisi sampel pengujian. Pada bagian tengah antara landasan meletakkan cincin benda uji terdapat lubang kecil untuk meletakkan *thermometer*.



Gambar 7. Tabung Ukur

2) Kawat kassa

Kawat kassa merupakan landasan sekaligus pembatas tabung ukur dengan kompor listrik agar tidak bersinggungan secara langsung. Selain sebagai penyekat, kawat kassa juga berfungsi sebagai perata panas pada dasar tabung ukur yang terbuat dari kaca, sehingga apabila panas yang mengenai dasar tabung ukur rata maka resiko pecah akibat kenaikan panas yang signifikan tidak akan terjadi.



Gambar 8. Kawat Kassa

3) Cincin kuningan

Cincin kuningan merupakan benda bulat melingkar dengan lubang ditengahnya, untuk setiap set terdiri dari satu cincin dan

satu cincin pengarah bola yang berada di atasnya. Kedua cincin tersebut merupakan satu pasangan yang dapat disatukan dan memiliki ukuran cincin menurut SNI 2434-2011 dengan 19,8 mm untuk sisi bawah dan 15,9 mm untuk sisi atas, serta cincin pengarah bola dengan ukuran diameter 23,0 mm dan lubang untuk bola 9,5 mm.



Gambar 9. Cincin Kuningan

4) Bola baja

Bola baja merupakan bagian dari alat pengujian titik lembek yang akan membebani sampel aspal. Dengan ukuran diameter 9,3 mm dan berat 3,45 gram hingga 3,55 gram. Dalam sekali pengujian titik lembek dibutuhkan dua buah bola baja.



Gambar 10. Bola Baja

c. Alat pengujian titik nyala dan titik bakar

1) *Cleveland open cup*

Cleveland Open Cup merupakan cawan untuk pengujian titik lembek dan titik nyala yang terbuat dari besi tebal dengan gagang

yang memiliki standar dalam SNI 2433-2011 diameter dalam minimum 63 mm hingga 64 mm, tinggi 31 mm hingga 32,5 mm. Cawan *cleveland open cup* dibuat dari besi tebal dengan tujuan agar tahan apabila dipanaskan dalam suhu yang tinggi.



Gambar 11. *Cleveland Cup*

2) Penjepit *thermometer*

Penjepit *thermometer* merupakan besi tegak dengan alas dan gagang penjepit *thermometer*. Penjepit ini digunakan untuk pengujian titik nyala dan bakar sebagai antisipasi keamanan pada saat mengukur suhu pada saat pengujian dikarenakan pengujian sampai pada suhu tinggi.



Gambar 12. Penjepit *Thermometer*

2. Alat Penunjang Pengujian Berat Jenis Material

Alat penunjang pengujian berat jenis material terdiri dari beberapa alat meliputi:

a. Timbangan

Timbangan merupakan alat untuk mengukur berat suatu benda. Dalam pengujian terdapat tiga jenis timbangan yang digunakan yaitu timbangan lengan untuk menimbang sesuatu yang cukup berat, timbangan *ohaus* kecil dengan ketelitian 0,01 gram untuk menimbang sesuatu yang ringan dan membutuhkan ketelitian lebih, dan yang terakhir adalah timbangan digital yang digunakan untuk menimbang sesuatu dengan hasil yang cepat.



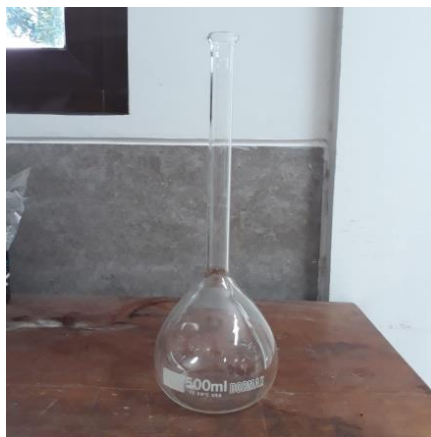
Gambar 13. Timbangan Lengan



Gambar 14. Timbangan *Ohuse*

b. *Picnometer* labu

Picnometer labu merupakan wadah berbentuk bulat lonjong dengan ujung atas mengerucut seperti labu dan berbahan kaca dengan penanda batas air yang digunakan untuk mengukur berat jenis material.



Gambar 15. *Picnometer* Labu

3. Alat Penunjang Pengujian Karakteristik Agregat

Alat penunjang pengujian karakteristik agregat yang meliputi pengujian keausan agregat dengan *los angles machine* dan pengujian gradasi agregat, alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Satu set ayakan agregat

Ayakan merupakan saringan untuk pengujian gradasi agregat yang disusun bertingkat dengan urutan peletakan sesuai dengan ukuran lubang mulai dari yang terkecil pada bagian bawah dan terbesar pada bagian atas. Adapun ukuran lubang pada setiap tingkatnya diatur dalam SNI 03-1968-1990, yaitu 37,5 mm (3"); 63,5 mm (2,5"); 50,8 mm (2"); 19,1 mm (0,75"); 12,5 mm (0,5"); 9,5 mm (0,375"); No. #4 (4,75 mm); No. #8 (2,36 mm); No. #16 (1,18 mm); No. #30 (0,600 mm); No. #50 (0,300mm); No. #100 (0,150 mm); No. #200 (0,075 mm).



Gambar 16. Satu Set Ayakan

b. *Los angles machine*

Los angles machine merupakan mesin untuk pengujian keausan agregat kasar, dengan bentuk silinder besi dengan ukuran diameter dalam 711 mm atau 28 inch dan panjang 508 mm atau 20 inch (SNI 2417-2008), mesin ini akan memutar agregat beserta beberapa bola baja didalamnya sebanyak 500 kali putaran.



Gambar 17. *Los Angeles Machine*

4. Alat Penunjang Pembuatan Benda Uji

Dalam pembuatan benda uji dari proses pencampuran hingga pencetakan benda uji dibutuhkan alat penunjang sebagai berikut:

a. *Mould*

Mould merupakan cetakan dari bahan besi yang memiliki ukuran 4 inch atau ekitar 101,6 mm dan tinggi 76,2 mm (SNI 06-2489-1991).

Mould digunakan untuk mencetak campuran aspal panas agar memiliki bentuk sesuai dengan standar. Untuk setiap satu set *mould* terdiri dari 2 buah cetakan yang dapat dikaitkan dan satu alas cetakan yang berbentuk lingkaran dari besi tebal.



Gambar 18. *Mould*

b. Penumbuk

Penumbuk merupakan alat yang digunakan untuk menumbuk campuran aspal panas dalam *mould* agar padat. Menurut SNI 06-2489-1991 alat penumbuk memiliki beban 4,356 kg dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm. Penumbukan dilakukan sebanyak 75 kali pada setiap sisinya, untuk penggambaran lalu lintas padat.



Gambar 19. Penumbuk

c. Landasan pematat

Landasan pematat merupakan besi dengan tebal 1 cm dan lebar 30 cm x 30 cm. Fungsinya adalah untuk mengalasi *mould* ketika dipadatkan sehingga dasar *mould* dapat rata. Selain itu fungsinya untuk meredam tekanan penumbuk agar tidak merusak lantai dibawahnya.



Gambar 20. Landasan Pematat

d. *Ejector*

Ejector merupakan alat untuk mengeluarkan benda uji dari da;am *mould* dengan sistem kerja mendorong secara perlahan benda uji hingga keluar dari *mould*.



Gambar 21. *Ejector*

e. Bak pengaduk

Bak pengaduk merupakan tempat untuk memanaskan agregat sekaligus untuk mencampur agregat dengan aspal. Bentuk bak yang digunakan adalah persegi dengan ukuran dasar sekitar 30 cm x 15 cm dan tinggi 10 cm dan berbahan pelat seng.



Gambar 22. Bak Pengaduk

f. Spatula

Spatula merupakan pelat besi tipis dengan gagang untuk menggenggam yang berfungsi untuk menusuk campuran aspal panas dalam *mould* ketika akan dipindahkan serta sebagai pengaduk aspal ketika dipanaskan.



Gambar 23. Spatula

5. Alat Penunjang Pengujian Karakteristik *Marshall*

Serangkaian pengujian karakteristik *marshall* memerlukan alat penunjang meliputi mesin tekan untuk melakukan penekanan pada benda uji, adapun mesin yang dimaksud adalah *Marshall Test Machine* 76-B0038/CB yang merupakan alat tekan yang dilengkapi cincin penguji *proving ring* dengan kapasitas 2500 kg atau sekitar 5000 pon, dimana dalam cincin penguji tersebut dilengkapi dengan arloji dengan ketelitian 0,0025 mm yang berfungsi untuk mengukur stabilitas benda uji. Kecepatan penekanannya 50 mm/menit. Dalam mesin ini terdapat kepala penekan dari besi tebal dengan bentuk sepasang setengah lingkaran dengan dua buah besi tegak sebagai penghubungnya. Kepala penekan digunakan untuk meletakkan benda uji yang akan ditekan. Pembacaan arloji harus dilakukan untuk selanjutnya menjadi tolak ukur untuk dimasukkan pada tabel kalibrasi alat agar didapatkan nilai *load*.



Gambar 24. *Marshall Test Machine*

6. Alat Penunjang Pengujian

Alat penunjang pengujian ini adalah sebagai berikut:

a. Kompor listrik

Untuk memanaskan aspal dibutuhkan sumber panas, dalam pengujian ini menggunakan sumber panas yaitu kompor listrik. Kompor listrik dipilih dengan asumsi keamanan terbaik, dimana risiko akan kebakaran akibat pemanasan aspal akan lebih kecil dikarenakan panas yang ditimbulkan dari kompor dengan api sebagai sumber panas.



Gambar 25. Kompor Listrik

b. *Thermometer*

Thermometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur suhu (temperatur), ataupun perubahan suhu. *Thermometer* digunakan hampir pada semua kegiatan dalam

pengujian, mulai dari titik lembek, penetrasi, pencampuran agregat, hingga pembuatan benda uji.



Gambar 26. *Thermometer*

E. Bahan Pengujian

Bahan-bahan yang digunakan dalam pengujian ini yaitu sebagai berikut:

1. Aspal

Aspal yang digunakan dalam pengujian ini adalah aspal Pertamina dengan nilai penetrasi 60/70.



Gambar 27. *Aspal*

2. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam pengujian ini adalah agregat dari Gunung Merapi yang didapat dari Kalasan, Sleman, Yogyakarta. Agregat diambil pada *stock pile* dengan ukuran maksimum 2 cm.



Gambar 28. Agregat Kasar

3. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam pengujian ini adalah agregat Sungai Progo yang diambil dari *stock pile* di Kampus Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.



Gambar 29. Agregat Halus

4. Serbuk Ban Karet Bekas Kendaraan

Serbuk ban bekas kendaraan yang digunakan dalam pengujian ini adalah serbuk ban karet bekas kendaraan yang didapat melalui proses vulkanisir dan kemudian disaring dan yang digunakan adalah serbuk ban karet bekas kendaraan yang lolos mesh 60 (0,250 mm).



Gambar 30. Serbuk Ban Karet Bekas Kendaraan

5. Pelumas

Pelumas digunakan untuk melumasi *mould* ketika benda uji akan dicetak, dengan tujuan agar benda uji tidak merekat dengan permukaan *mould* dan agar dapat mudah ketika benda uji dilepas.



Gambar 31. Pelumas

6. Kertas Kalkir

Kertas kalkir digunakan untuk melapisi bagian dasar dari *mould* agar lapisan aspal tidak langsung bersentuhan dengan *mould*.



Gambar 32. Kertas Kalkir

7. Air dan Es Batu

Air dan es batu digunakan untuk menurunkan suhu aspal pada pengujian penetrasi. Selain itu, air juga digunakan untuk merendam benda uji selama kurang lebih 24 jam dan kemudian menimbang benda uji di dalam air untuk menggambarkan kondisi *ekstrim*.



Gambar 33. Air dan Es Batu

8. *Kerosin*

Kerosin adalah bahan-bahan *hidrokarbon* yang dapat melarutkan aspal. *Kerosin* digunakan untuk membersihkan peralatan yang digunakan dalam pengujian dan terkena aspal.



Gambar 34. *Kerosine*

F. LANGKAH-LANGKAH PENGUJIAN

Pengujian dilakukan secara berurutan dengan urutan pengujian sebagai berikut:

1. Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian karakteristik aspal meliputi pengujian penetrasi, titik lembek, titik nyala, dan titik bakar. Adapun standar yang dijadikan acuan adalah sebagai berikut:

Tabel 12. Acuan Pengujian Karakteristik Aspal

No	Jenis Pengujian	Acuan	Persyaratan		Satuan
			Min	Maks	
1	Penetrasi	SNI 06-2456-1991	50	-	mm
2	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	53	-	°C
3	Titik Nyala dan Titik Bakar	SNI 06-2433-1991	232	-	°C

a. Pengujian Penetrasi

Langkah-langkah pengujian penetrasi sebagai berikut:

- 1) Menuangkan sampel aspal pada cawan pengujian hingga batas yang ditentukan.

- 2) Merendam cawan ke dalam air es hingga suhu aspal berada pada titik 25°C.
 - 3) Menaruh cawan pada dasar alat *penetrometer* sesuai dengan posisi.
 - 4) Mengatur jarum penetrasi agar tepat diatas permukaan aspal ± 0 , 1 mm dan mengatur posisi jam arloji.
 - 5) Menyiapkan *stopwatch*.
 - 6) Menekan tombol penetrasi hingga 5 detik.
 - 7) Membaca angka yang ditunjukkan oleh arloji.
- b. Pengujian Titik Lembek

Langkah-langkah pengujian titik lembek adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan sampel aspal ke dalam cincin pengujian dan meletakkan ke dalam landasan pelat.
- 2) Menyiapkan kompor dan kassa kawat.
- 3) Mengisi air ke dalam tabung kaca sesuai dengan batasan yang ditentukan.
- 4) Meletakkan landasan ke dalam tabung kaca.
- 5) Meletakkan *thermometer* ke dalam tabung.
- 6) Meletakkan bola baja di atas cincin.
- 7) Mengamati serta mengitung waktu setiap kenaikan suhu sebesar 5 °C.
- 8) Menghitung waktu pada saat bola baja jatuh hingga menyentuh -

dasar landasan.

c. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar

Langkah-langkah pengujian titik nyala dan titik bakar adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan sampel aspal dan memasukkan ke dalam cawan *cleveland open cup* hingga batas yang ditentukan.
- 2) Menjepit *thermometer* ke penjepit serta mengatur posisinya.
- 3) Menyiapkan kompor untuk pemanas.
- 4) Memulai *stopwatch* bersamaan dengan menyalakan kompor.
- 5) Menyalakan sumber api serta menyiapkan tongkat penyulut.
- 6) Mengamati pergerakan suhu aspal ketika dipanaskan.
- 7) Mencoba menyulut api setiap kenaikan suhu 2 °C.
- 8) Mengamati setiap nyalaapi akibat sulutan.
- 9) Mencatat titik nyala dan titik bakar aspal.

2. Pengujian Berat Jenis Material

Pengujian berat jenis material bertujuan untuk mengetahui berat jenis serta sifat material dengan acuan yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 13. Acuan Pengujian Berat Jenis

No	Jenis Pengujian	Acuan	Persyaratan		Satuan
			Min	Maks	
1	Berat Jenis Agregat Kasar	SNI 03-1969-1990	2,5	-	gr/cc
2	Berat Jenis Agregat Halus	SNI 03-1970-1990	2,5	-	gr/cc
3	Berat Jenis Aspal	SNI 2441-2011	1	-	gr/cc
4	Penyerapan Agregat Kasar	SNI 03-1969-1990	-	3	%
No	Jenis Pengujian	Acuan	Persyaratan		Satuan

			Min	Maks	
5	Penyerapan Agregat Halus	SNI 03-1970-1990	-	3	%

a. Berat Jenis Agregat Kasar

Langkah-langkah pengujian berat jenis agregat kasar adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan kerikil sebagai sampel benda uji sebanyak 2 kali 2,5 kg.
- 2) Merendam kerikil selama ± 24 jam.
- 3) Mengangkat dan meniriskan kerikil hingga SSD.
- 4) Menimbang kerikil SSD sebanyak 2,5 kg.
- 5) Menyiapkan ember berisi air.
- 6) Memasukkan kerikil seberat 2,5 kg ke dalam keranjang.
- 7) Memasukkan keranjang berisi kerikil ke dalam ember berisi air.
- 8) Menimbang kerikil dalam air.
- 9) Mengangkat kerikil dan meniriskan.
- 10) Mengoven kerikil selama $24 \text{ jam} \pm 4 \text{ jam}$.
- 11) Mengangkat kerikil dari oven.
- 12) Menimbang kerikil kering oven.

b. Berat Jenis Agregat Halus

Langkah-langkah pengujian berat jenis agregat halus adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan pasir sebagai sampel benda uji sebanyak 2 kali 500 gram.
- 2) Merendam pasir selama $24 \text{ jam} \pm 4 \text{ jam}$.
- 3) Meniriskan pasir dan menghamparkannya.
- 4) Memeriksa SSD pasir dengan kerucut kuning.
- 5) Menimbang pasir SSD sebanyak 500 gram.
- 6) Menimbang *picnometer* kosong.
- 7) Memasukkan air dan menimbangnya.
- 8) Memasukkan 500 gram pasir ke dalam *picnometer* berisi air.
- 9) Menimbang kembali *picnometer* berisi air dan pasir.
- 10) Mengisi kembali air hingga batas yang ditentukan.
- 11) Menimbang kembali *picnometer*.
- 12) Mengeluarkan pasir di dalam *picnometer*.
- 13) Mengoven pasir selama $24 \text{ jam} \pm 4 \text{ jam}$.
- 14) Mengangkat pasir dari oven.
- 15) Menimbang pasir kering oven.

c. Berat Jenis Aspal

Langkah-langkah pengujian berat jenis aspal adalah sebagai berikut:

- 1) Menyiapkan aspal dan membentuknya menjadi bulatan-bulatan kecil.
- 2) Menimbang *picnometer* kosong.
- 3) Mengisi *picnometer* dengan air.
- 4) Menimbang *picnometer* dengan air.

- 5) Memasukkan aspal kedalam *picnometer*.
- 6) Menimbang kembali *picnometer* yang berisi air dan aspal.
- 7) Mengisi *picnometer* dengan air hingga batas yang telah ditentukan.
- 8) Menimbang kembali *picnometer*.

3. Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat bertujuan untuk mengetahui sifat material, adapun acuan yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 14. Acuan Pengujian Karakteristik Agregat

No	Jenis Pengujian	Acuan	Persyaratan		Satuan
			Min	Maks	
1	Pengujian Keausan Agregat dengan <i>Los Angeles Machine</i>	SNI 2417-2008	-	50	%
2	Pengujian Gradasi Agregat Kasar	SNI 03-1968-1990	-	-	%
3	Pengujian Gradasi Agregat Halus	SNI 03-1968-1990	-	-	%

a. Pengujian Keausan Agregat

Langkah-langkah pengujian keausan agregat adalah sebagai berikut:

- 1) Mengoven kerikil selama 24 jam \pm 4 jam.
- 2) Menimbang kerikil sebanyak 5 kg.
- 3) Menyiapkan *los angles machine*.
- 4) Memasukkan kerikil ke dalam *los angles machine*.

- 5) Mengoperasikan *los angles machine* sebanyak 500 putaran.
- 6) Mengeluarkan kerikil.
- 7) Mengayak kerikil dengan ayakan No. #4.
- 8) Memisahkan kerikil yang tertahan ayakan No. #4.
- 9) Menimbang kerikil yang tertahan.

b. Pengujian Gradasi Agregat kasar

Langkah-langkah pengujian gradasi agregat kasar adalah sebagai berikut:

- 1) Mengoven kerikil selama 24 jam \pm 4 jam.
- 2) Menimbang kerikil sebanyak 5 kg.
- 3) Menyiapkan ayakan dan menyusun sesuai urutan.
- 4) Menuangkan kerikil ke dalam ayakan dari urutan teratas.
- 5) Menggoyangkan susunan ayakan selama 15 menit.
- 6) Melepas susunan ayakan satu per satu.
- 7) Menaruh agregat yang tertinggal pada setiap saringan pada wadah sesuai dengan fraksinya masing-masing.
- 8) Menimbang berat agregat masing-masing fraksi.

c. Pengujian Gradasi Agregat Halus

Langkah-langkah pengujian gradasi halus adalah sebagai berikut:

- 1) Mengoven pasir selama 24 jam \pm 4 jam.
- 2) Menimbang pasir sebanyak 5 kg.
- 3) Menyiapkan ayakan dan menyusun sesuai urutan.
- 4) Menuangkan pasir ke dalam ayakan dari urutan teratas.

- 5) Menggoyangkan susunan ayakan selama 15 menit.
- 6) Melepas susunan ayakan satu per satu.
- 7) Menaruh agregat yang tertinggal pada setiap saringan pada wadah sesuai dengan fraksinya masing-masing.
- 8) Menimbang berat agregat masing-masing fraksi.

4. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Mengoven agregat halus dan agregat kasar selama 24 jam.
- b. Mengangkat agregat dari oven.
- c. Menimbang agregat kasar dan agregat halus sesuai yang dibutuhkan dan menaruh pada plastik sesuai kode.
- d. Menyiapkan serbuk ban karet bekas kendaraan yang sudah lolos mesh 60.
- e. Menimbang serbuk ban karet bekas kendaraan sesuai kebutuhan.
- f. Menimbang aspal sesuai kebutuhan.
- g. Menyiapkan kompor listrik dan tempat pengadukan.
- h. Memanaskan agregat hingga suhu 100°C.
- i. Memanaskan aspal hingga suhu 110°C.
- j. Memasukkan serbuk ban bekas kendaraan ke dalam aspal secara perlahan dan mengaduk hingga tidak ada gumpalan atau hingga suhu 180°C.
- k. Menuangkan aspal ke dalam wadah berisi agregat secara perlahan.

- l. Mengaduk campuran aspal hingga campuran homogen.
 - m. Memanaskan *mould* di atas kompor hingga mencapai suhu 110°C.
 - n. Menyiapkan penumbuk beserta landasan besi.
 - o. Mengangkat *mould* dan memposisikan di atas landasan besi.
 - p. Mengolesi *mould* dengan oli dan menaruh kertas kalkir sebagai pelapis.
 - q. Menuangkan campuran aspal panas ke dalam *mould*.
 - r. Menusuk-nusuk campuran aspal sebanyak 8 kali pada bagian samping dan 5 kali pada bagian tengah.
 - s. Menumbuk menggunakan penumbuk sebanyak 75 kali.
 - t. Membalik *mould*.
 - u. Menumbuk lagi sebanyak 75 kali.
 - v. Menunggu *mould* hingga dingin.
 - w. Mengeluarkan benda uji dengan *ejector*.
 - x. Mengangkat benda uji dan memindahkannya ke wadah.
5. Pengujian Karakteristik *Marshall*

Langkah-langkah pengujian karakteristik *marshall* adalah sebagai berikut:

- a. Menimbang berat benda uji dalam udara.
- b. Merendam benda uji selama 24 jam dalam air.
- c. Meniriskan benda uji.
- d. Menimbang benda uji dalam keadaan jenuh.
- e. Menyiapkan ember berisi air untuk menimbang benda uji dalam air.

- f. Meniriskan benda uji.
- g. Mengukur diameter dan tinggi benda uji.
- h. Menyiapkan alat *marshall test*, UTM, dan mesin tekan beton.
- i. Menyiapkan kepala penekan dan mengolesi dengan pelumas.
- j. Menaruh benda uji sesuai dengan posisi kepala penekan dan meletakkan pada posisi.
- k. Mengatur arloji hingga tepat di titik nol.
- l. Mengoperasikan alat *marshall test*.
- m. Membaca hasil stabilitas pada arloji.
- n. Melepas benda uji dari kepala penekan.
- o. Mengukur diameter benda uji.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian karakteristik aspal yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengujian penetrasi aspal dengan acuan SNI 06-2456-1991, pengujian titik lembek dengan acuan SNI 06-2434-1991, serta pengujian titik nyala dan titik bakar aspal dengan acuan SNI 06-2433-1991. Untuk data hasil pengujian karakteristik aspal dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 15. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

No	Jenis Pengujian	Syarat		Hasil	Satuan	Keterangan
		Min	Maks			
1	Penetrasi	60	70	64,2	mm/gr/ detik	Memenuhi
2	Titik Lembek	53	-	57,75	°C	Memenuhi
3	Titik Nyala	232	-	234	°C	Memenuhi
4	Titik Bakar	232	-	320	°C	Memenuhi
5	Berat Jenis	1,0	-	1,193	gr/cc	Memenuhi

2. Pengujian Karakteristik Material

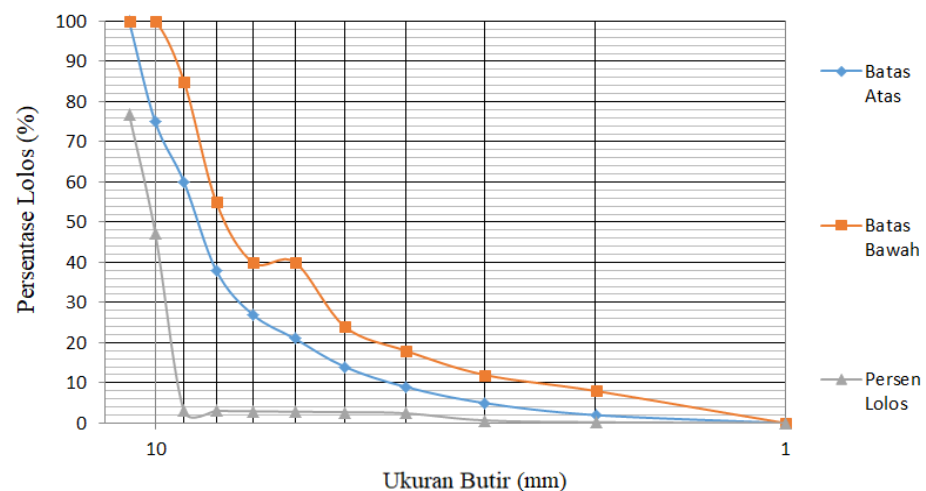
Pengujian karakteristik agregat merupakan serangkaian pengujian terhadap agregat yang bertujuan untuk mengetahui nilai-nilai mengenai sifat agregat tersebut. Pada pengujian karakteristik material ini dilakukan sesuai dengan persyaratan Standar Nasional Indonesia, yang meliputi beberapa pengujian sebagai berikut:

a. Pengujian Gradasi Agregat

Pengujian gradasi agregat dilakukan dengan acuan SNI 03-1968-1990 dengan tujuan untuk mengetahui gradasi campuran sehingga dapat digunakan sebagai perencanaan campuran. Hasil pengujian agregat kasar sebagai berikut:

Tabel 16. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar

Nomor Ayakan	Ukuran Ayakan	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	Berat Lolos (gram)	% Lolos
¾"	19,1	1,155	23,1	3,845	76,9
½"	12,5	1,478	29,56	2,367	47,34
3/8"	9,5	1,935	38,7	432	8,64
#4	4,75	280	5,6	152	3,04
#8	2,36	5,5	0,11	146,5	2,93
#16	1,18	4,7	0,094	141,8	2,836
#30	0,6	6	0,12	135,8	2,71
#50	0,3	13,6	0,272	122,2	2,444
#100	0,15	88,3	1,766	33,9	0,678
#200	0,075	23,2	0,464	10,7	0,214
PAN	0	10,7	0,214	0	0

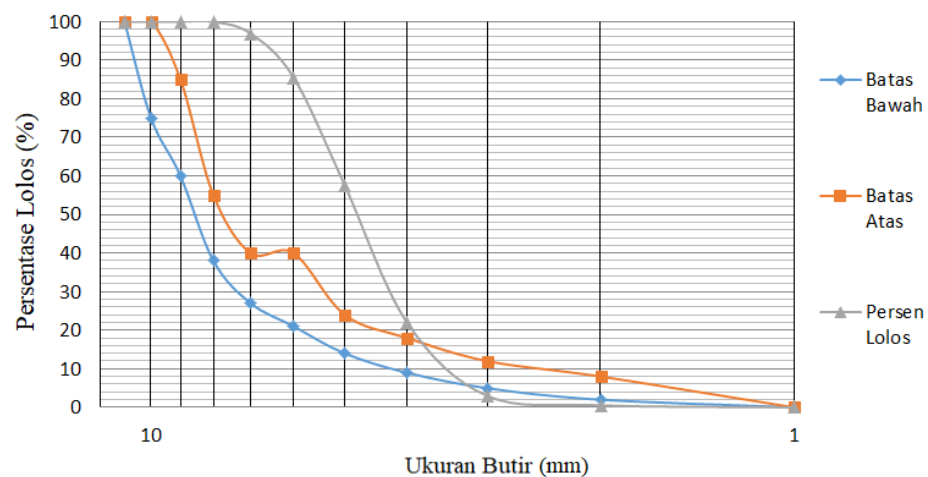


Gambar 35. Gradasi Agregat Kasar

Dari pengujian gradasi agregat halus didapatkan hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 17. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus

Nomor Ayakan	Ukuran Ayakan	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	Berat Lolos (gram)	% Lolos
$\frac{3}{4}$ "	19,1	0	0	500	100
$\frac{1}{2}$ "	12,5	0	0	500	100
$\frac{3}{8}$ "	9,5	0	0	500	100
#4	4,75	0,2	0,04	499,8	99,96
#8	2,36	15,2	3,04	484,6	96,92
#16	1,18	57,2	11,44	427,4	85,48
#30	0,6	139,2	27,84	288,2	57,64
#50	0,3	178	35,6	110,2	22,04
#100	0,15	95,2	19,04	15	3
#200	0,075	12,3	2,46	2,7	0,54
PAN	0	2,7	0,54	0	0



Gambar 36. Gradasi Agregat Halus

b. Pengujian Berat Jenis Material

Pengujian berat jenis material yang dilakukan meliputi pengujian berat jenis agregat kasar, dan berat jenis agregat halus. Selain mendapatkan hasil dari pengujian berat jenis, pengujian ini juga mendapatkan hasil untuk nilai penyerapan agregat. Adapun data yang diambil dari seluruh pengujian berat jenis dituliskan sebagai berikut:

Agregat kasar yang digunakan adalah agregat kasar yang diperoleh dari Kalasan, Sleman, Yogyakarta. Agregat diambil pada *stock pile* dengan ukuran maksimal 2 cm. Agregat kasar dilakukan pengujian berat jenis dan penyerapan sesuai dengan SNI 03-1969-1990. Sedangkan agregat halus yang digunakan berasal dari Kali Progo. Agregat halus diuji berat jenis dan penyerapan sesuai dengan SNI 03-1970-1990.

Adapun hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan material sebagai berikut:

Tabel 18. Hasil Pengujian Berat Jenis Material

No	Agregat	Jenis Pengujian	Syarat		Hasil	Satuan	Ket
			Min	Max			
1	Kasar	Berat jenis <i>bulk</i>	2,5	-	2,483	gr/cc	Tidak
		Berat jenis SSD	2,5	-	2,553	gr/cc	Memuhi
		Berat jenis semu	2,5	-	2,662	gr/cc	Memuhi
		Penyerapan	-	3	2,81	%	Memuhi
2	Halus	Berat jenis <i>bulk</i>	2,5	-	2,649	gr/cc	Memuhi
		Berat jenis SSD	2,5	-	2,649	gr/cc	Memuhi
		Berat jenis semu	2,5	-	2,753	gr/cc	Memuhi
		Penyerapan	-	3	2,302	%	Memuhi

3. Pengujian Karakteristik *Marshall*

a. Berat Jenis Agregat

Berat jenis yang dihitung meliputi berat jenis *bulk* total agregat (G_{sb}), berat jenis semu total agregat (G_{sa}), berat jenis efektif agregat (G_{se}), dan berat jenis maksimum campuran (G_{mm}).

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}}} \dots \dots \dots (1)$$

$$G_{sb} = \frac{60+40}{\frac{60}{2,483} + \frac{40}{2,649}}$$

$$G_{sb} = \frac{60+40}{\frac{60}{2,483} + \frac{40}{2,649}}$$

$$G_{sb} = 2,547 \text{ gr/cc}$$

$$G_{sa} =$$

$$\frac{P_1 + P_2}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}}} \dots \dots \dots (2)$$

$$G_{sa} = \frac{60+40}{\frac{60}{2,662} + \frac{40}{2,753}}$$

$$G_{sa} = 2,698 \text{ gr/cc}$$

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \dots \dots \dots (3)$$

$$G_{se} = \frac{2,547 + 2,698}{2}$$

$$Gse = 2,623 \text{ gr/cc}$$

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}} \dots \dots \dots (4)$$

$$Gmm = \frac{100}{\frac{93,5}{2,623} + \frac{6,5}{1,193}}$$

$$Gmm = 2,433 \text{ gr/cc}$$

Adapun tabel hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:

Tabel 19. Hasil Perhitungan Gsb, Gsa, Gse, Gmm

Berat Jenis	Hasil	Satuan
Gsb	2,547	gr/cc
Gsa	2,698	gr/cc
Gse	2,623	gr/cc
Gmm	2,433	gr/cc

Sedangkan untuk berat jenis campuran setelah dipadatkan (Gmb) dilakukan perhitungan dengan cara membandingkan antara volume *bulk* campuran dengan berat kering campuran. Contoh perhitungan Gmb untuk benda uji 1AD2% adalah sebagai berikut:

$$Gmb = \frac{Wa}{V \text{ bulk}} \dots \dots \dots (5)$$

$$Gmb \text{ 1AD2\%} = \frac{1163}{528,331}$$

$$Gmb \text{ 1AD2\%} = 2,201 \text{ gr/cc}$$

Adapun tabel hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:

Tabel 20. Data Hasil Gmb

Notasi	Gmb (gr/cc)	Rata-rata Gmb (gr/cc)
1AD0%	2,146	2,112
2AD0%	2,158	
3AD0%	2,032	
1AD2%	2,201	2,162
2AD2%	2,085	
3AD2%	2,200	
1AD4%	2,220	2,206
2AD4%	2,198	
3AD4%	2,199	
1AD6%	2,198	2,249
2AD6%	2,290	
3AD6%	2,260	

b. Kepadatan (Density)

Kepadatan merupakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Campuran yang memiliki nilai kepadatan tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan campuran yang memiliki nilai kepadatan rendah. Perhitungan kepadatan dilakukan dengan membandingkan berat benda uji kering udara (W_m), berat benda uji kondisi jenuh (W_{ssd}), dan berat benda uji dalam air (W_{mpv}). Adapun tabel hasil perhitungannya sebagai berikut:

Tabel 21. Data Hasil Pengujian Kepadatan

Benda Uji		Wm (gram)	Wmssd (gram)	Wmpv (gram)	Kepadatan (gr/cc)	RerataKepadatan (gr/cc)
AD 0%	1	1224	1235	692	2,070	2,149
	2	1193	1196	662	2,234	
	3	1138	1148	617	2,143	
AD2%	1	1163	1172	658	2,263	2,275
	2	1173	1188	671	2,269	
	3	1171	1176	665	2,292	
AD4%	1	1187	1204	676	2,248	2,256
	2	1185	1199	672	2,249	
	3	1168	1182	668	2,272	
AD6%	1	1188	1206	679	2,254	2,245
	2	1183	1196	669	2,245	
	3	1187	1205	674	2,235	

c. VIM (Void In Mix)

VIM merupakan volume total udara yang berada di antara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran. Berikut adalah salah satu contoh perhitungannya:

$$VIM\ 1AD0\% = \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

$$VIM\ 1AD0\% = \frac{2,433 - 2,146}{2,433} \times 100\%$$

$$VIM\ 1AD0\% = 11,800 \%$$

Berikut adalah tabel hasil pengujiannya:

Tabel 22. Data Hasil Pengujian VIM

Notasi	VIM (%)	Rata-rata VIM (%)
1AD0%	11,800	13,195
2AD0%	11,303	
3AD0%	16,482	
1AD2%	9,536	11,140
2AD2%	14,303	

3AD2%	9,580	
Notasi	VIM (%)	Rata-rata VIM (%)
1AD4%	8,755	9,344
2AD4%	9,659	
3AD4%	9,618	
1AD6%	9,659	7,549
2AD6%	5,876	
3AD6%	7,111	

d. VMA (Void in Mineral Agregate)

VMA merupakan kadar persentase ruang atau rongga diantara partikel agregat dalam campuran aspal yang sudah dipadatkan. Berikut adalah salah satu contoh perhitungannya:

$$VMA\ 1AD0\% = \frac{100 \times (Gsb - Gmb) + Gmb \times Pb}{Gsb} \dots \dots \dots (8)$$

$$VMA\ 1AD0\% = \frac{100 \times (2.547 - 2,146) + 2,146 \times 6,5}{2.547}$$

$$VMA\ 1AD0\% = 21,221\%$$

Berikut adalah tabel hasil pengujiannya:

Tabel 23. Data Hasil Pengujian VMA

Notasi	VMA (%)	Rata-rata VMA (%)
1AD0%	21,221	22,469
2AD0%	20,780	
3AD0%	25,406	
1AD2%	19,202	20,630
2AD2%	23,460	
3AD2%	19,238	
1AD4%	18,504	19,030
2AD4%	19,312	
3AD4%	19,275	

Notasi	VMA (%)	Rata-rata VMA (%)
1AD6%	19,312	17,427
2AD6%	15,934	
3AD6%	17,036	

e. VFA (Void Filled with Asphalt)

VFA merupakan bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (VMA) yang terisi aspal efektif, tetapi tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat dan dinyatakan dalam persen. Berikut adalah salah satu contoh perhitungannya:

$$VFA\ 1AD0\% = \frac{VMA - VIM}{VMA} \times 100\% \dots \dots \dots (9)$$

$$VFA\ 1AD0\% = \frac{21,221 - 11,800}{21,221} \times 100\%$$

$$VFA\ 1AD0\% = 44,400 \%$$

Berikut adalah tabel hasil pengujiannya:

Tabel 24. Data Hasil Pengujian VFA

Notasi	VFA (%)	Rata-rata VFA (%)
1AD0%	44,400	41,711
2AD0%	45,606	
3AD0%	35,126	
1AD2%	50,339	46,547
2AD2%	39,032	
3AD2%	50,203	
1AD4%	52,686	50,924
2AD4%	49,985	
3AD4%	50,101	
1AD6%	49,985	59,123
2AD6%	63,123	
3AD6%	58,260	

f. Stabilitas

Stabilitas pada lapisan perkerasan jalan harus benar-benar mampu menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Stabilitas pada perkerasan jalan dinyatakan dalam kilogram. Berikut adalah salah satu contoh perhitungannya:

$$\text{Stabilitas } 1AD2\% = p \times q \dots \dots \dots (10)$$

$$\text{Stabilitas } 1AD2\% = (2.795,74) \times 0,86$$

$$\text{Stabilitas } 1AD2\% = 2.683,910 \text{ kg}$$

Berikut adalah tabel hasil pengujiannya:

Tabel 25. Data Hasil Pengujian Stabilitas

Notasi	Stabilitas (kg)	Rata-rata Stabilitas (kg)
1AD0%	3.675,864	2.577,723
2AD0%	1.841,437	
3AD0%	2.215,867	
1AD2%	2.683,910	2.846,746
2AD2%	3.092,758	
3AD2%	2.763,571	
1AD4%	2.156,986	2.175,102
2AD4%	2.050,669	
3AD4%	2.317,651	
1AD6%	1.261,285	1.320,485
2AD6%	1.442,060	
3AD6%	1.258,109	

g. *Flow* (Pelelehan)

Flow merupakan parameter yang diperlukan untuk mengetahui deformasi vertikal campuran saat dibebani hingga hancur (pada

stabilitas maksimal). *Flow* akan meningkat seiring dengan meningkatnya kadar aspal. Cara untuk menghitung nilai *flow* adalah dengan mengurangi antara diameter sebelum dan sesudah benda uji di uji.

Berikut adalah salah satu contoh perhitungannya:

$$\text{Flow 1AD0\%} = d \text{ sebelum} - d \text{ sesudah} \dots \dots \dots (11)$$

$$\text{Flow 1AD0\%} = 10,195 \text{ cm} - 9,87 \text{ cm}$$

$$\text{Flow 1AD0\%} = 0,327 \text{ cm}$$

Berikut adalah tabel hasil pengujiannya:

Tabel 26. Data Hasil Pengujian *Flow*

Notasi	Flow (mm)	Rata-rata Flow (mm)
1AD0%	3,27	3,473
2AD0%	3,65	
3AD0%	3,5	
1AD2%	3,95	3,630
2AD2%	5,4	
3AD2%	2,85	
1AD4%	2,2	3,516
2AD4%	3,7	
3AD4%	4,65	
1AD6%	3,3	3,230
2AD6%	2,65	
3AD6%	3,75	

h. MQ

MQ adalah hasil bagi antara stabilitas dengan *flow* dan merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas campuran. Berikut adalah salah satu contoh perhitungannya:

$$MQ\ 1AD2\% = \frac{Stabilitas}{Flow} \dots \dots \dots (12)$$

$$MQ\ 1AD2\% = \frac{2.683,910}{3,95}$$

$$MQ\ 1AD2\% = 679,471\text{kg/mm}$$

Berikut adalah tabel hasil pengujiannya:

Tabel 27. Data Hasil Pengujian MQ

Notasi	MQ (kg/mm)	Rata-rata MQ (kg/mm)
1AD0%	1124,117	753,908
2AD0%	504,503	
3AD0%	633,105	
1AD2%	679,471	740,626
2AD2%	572,733	
3AD2%	969,674	
1AD4%	980,448	677,701
2AD4%	554,235	
3AD4%	498,420	
1AD6%	382,208	420,626
2AD6%	544,174	
3AD6%	335,496	

B. Pembahasan Penelitian

1. Pengujian Karakteristik Aspal

Dari hasil pengujian karakteristik aspal pada Tabel 15. dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Pemeriksaan Penetrasi Aspal

Dari hasil pemeriksaan penetrasi aspal diperoleh nilai rata-rata penetrasi sebesar 64,2 mm/gr/detik, dengan hasil tersebut maka dapat dipastikan bahwa aspal yang akan digunakan termasuk jenis aspal penetrasi

60/70 sehingga aspal tersebut dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran aspal beton karena sudah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Bina Marga 2010.

b. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengukur batas kekerasan aspal dengan cara membebani dengan bola baja dan memanaskan di dalam air. Dari hasil pengujian diperoleh nilai rata-rata suhu dari kondisi titik lembeknya adalah sebesar $57,75^{\circ}\text{C}$, maka aspal yang digunakan memenuhi persyaratan Bina Marga 2010.

c. Pemeriksaan Titik Nyala Aspal

Tujuan pemeriksaan suhu kondisi aspal pada titik nyala adalah untuk menentukan suhu dimana aspal mulai mengalami perubahan sifat sebagai akibat dari pemanasan yang terlalu tinggi. Dari hasil pemeriksaan menunjukkan nilai titik nyala aspal yaitu 234°C . Maka dari hasil pengujian titik nyala yang telah dilakukan dapat dipastikan jika aspal memenuhi persyaratan Bina Marga 2010.

d. Pemeriksaan Titik Bakar Aspal

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui suhu maksimum dalam memanaskan aspal sehingga aspal tidak terbakar. Dari hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa nilai titik bakar aspal yaitu 320°C . Maka dari itu dapat dipastikan bahwa aspal memenuhi persyaratan Bina Marga 2010.

e. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Dari pemeriksaan menunjukkan hasil dengan rata-rata sebesar 1,193 gr/cc sehingga aspal tersebut dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran aspal beton karena telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu sebesar 1 gr/cc.

2. Pengujian Karakteristik Material

a. Pengujian Gradasi Agregat

Dari Tabel 16. dapat diketahui bahwa fraksi agregat kasar dengan persentase dan berat tertahan terbanyak berada pada ayakan $\frac{1}{2}$ " dengan ukuran ayakan 12,5 mm, persentase tertahannya adalah 38,7% dengan berat 1,935 gram. Sedangkan untuk fraksi dengan persentase dan berat tertahan terendah berada pada ayakan #16 dengan ukuran ayakan 1,18 mm, persentase tertahannya adalah 0,094% dengan berat 4,7 gram. Dilihat dari Gambar 35. bahwa nilai yang terbentuk hanya tinggi pada beberapa fraksi saja dan jauh dari gradasi ideal.

Dari Tabel 17. dapat diketahui bahwa fraksi agregat dengan persentase dan berat tertahan terbanyak berada pada ayakan #50 dengan ukuran ayakan 0,6 mm, persentase tertahannya adalah 35,6% dengan berat 178 gram. Sedangkan untuk fraksi dengan persentase dan berat tertahan terendah berada pada ayakan #200 dengan ukuran ayakan 0,075 mm, persentase tertahannya adalah 2,46% dengan berat 12,3 gram. Dilihat dari Gambar 36. bahwa nilai persebaran tiap fraksi merata sehingga terbentuk garis grafik yang mendekati gradasi ideal.

b. Pengujian Berat Jenis Material

1) Berat Jenis Agregat Kasar

Dari Tabel 18. dapat diketahui bahwa dari semua nilai berat jenis agregat kasar hanya saat pengujian berat jenis *bulk* yang nilainya berada sedikit dibawah batas minimal yaitu 2,483 gr/cc. Sedangkan untuk nilai penyerapan agregat kasar yaitu 2,81% dimana nilai tersebut memenuhi syarat dengan maksimal nilai penyerapan sebesar 3%, sehingga agregat kasar dapat digunakan karena telah memenuhi syarat.

2) Berat Jenis Agregat Halus

Dari Tabel 18. dapat diketahui bahwa semua nilai berat jenis agregat halus berada diatas batas minimal yaitu 2,5 gr/cc. Sedangkan untuk nilai penyerapan agregat halus yaitu 1,107% dimana nilai tersebut memenuhi syarat dengan maksimal nilai penyerapan sebesar 1%, sehingga agregat halus dapat digunakan karena telah memenuhi syarat.

3. Pengujian Karakteristik *Marshall*

a. Berat Jenis Agregat

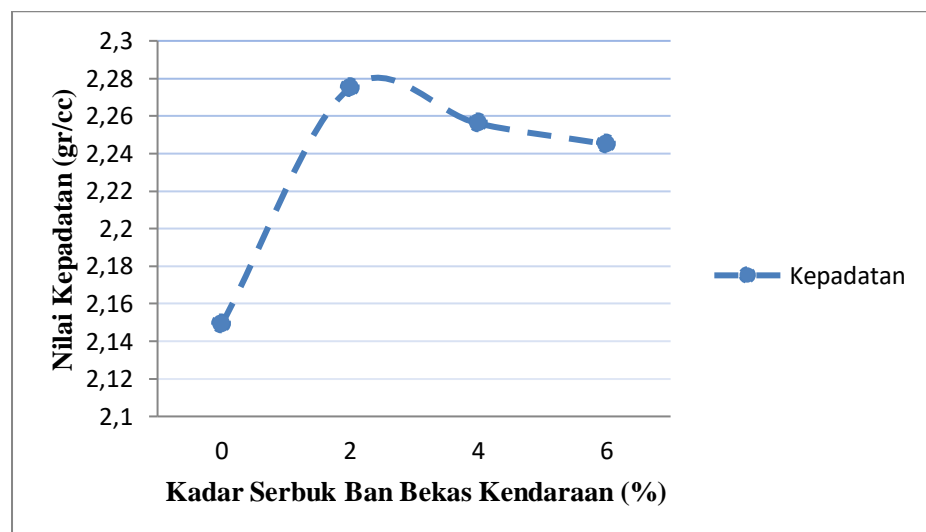
Dari Tabel 19. diketahui setelah dilakukan perhitungan mengenai semua nilai dari berat jenis total agregat didapatkan nilai yang memenuhi standar dalam SNI 03-1969-1990.

Dari Tabel 20. dapat diketahui bahwa nilai Gmb terbesar berada pada benda uji 1AD6%, 2AD6%, dan 3AD6% dengan rata-rata Gmb adalah 2,249 gr/cc. Sedangkan nilai terendah berada pada benda uji 1AD0%, 2AD0%, dan 3AD0% dengan rata-rata Gmb adalah 2,112

gr/cc. Sehingga dari perbedaan tersebut dapat disimpulkan bahwa persentase penambahan serbuk ban karet bekas kendaraan berpengaruh terhadap berat jenis campuran setelah dipadatkan.

b. Kepadatan (Density)

Dari Tabel 21. dapat diketahui nilai kepadatan tertinggi berada pada benda uji dengan campuran serbuk ban karet bekas kendaraan sebesar 2% yaitu 2,275 gr/cc. Sedangkan nilai kepadatan terendah berada pada benda uji dengan campuran serbuk ban karet bekas kendaraan sebesar 0% yaitu 2,149 gr/cc.



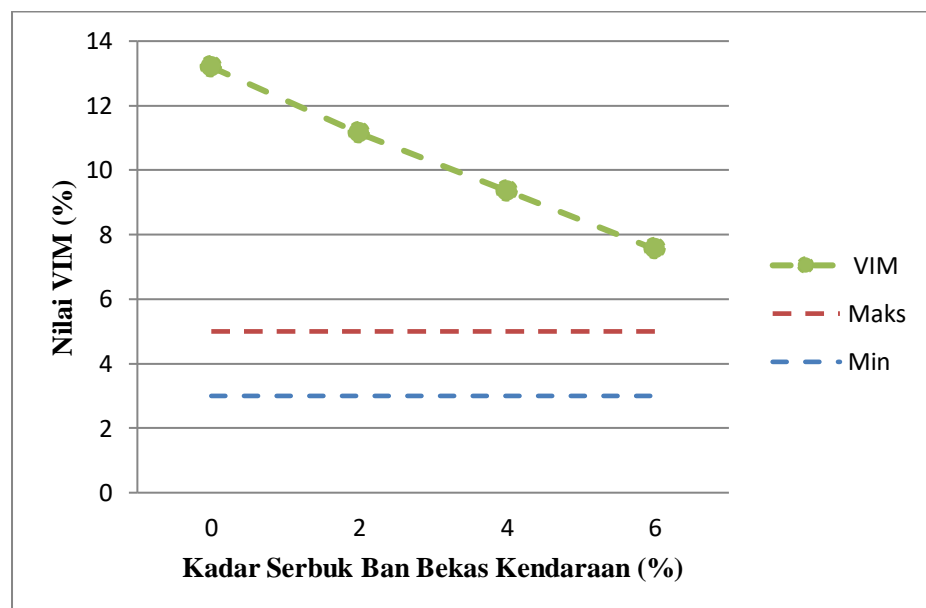
Gambar 37. Grafik Nilai Kepadatan

Dari Gambar 37. diketahui bahwa nilai kepadatan tertinggi berada pada kadar serbuk ban kendaraan 2% sebesar 2,275 gr/cc. Seiring dengan bertambahnya kadar serbuk ban bekas kendaraan, nilai kepadatan semakin menurun. Pada kadar 4% mengalami penurunan sebesar 2,256 gr/cc, dan pada kadar serbuk ban bekas kendaraan 6% sebesar 2,245 gr/cc. Dapat disimpulkan bahwa besar kadar serbuk ban

bekas kendaraan berpengaruh terhadap nilai kepadatan (density) pada campuran aspal namun harus menggunakan kadar yang tepat. Hal ini terjadi karena serbuk ban bekas kendaraan yang dicampurkan ke dalam aspal dengan kadar yang tepat akan membuat campuran menjadi lebih padat.

c. VIM (Void in Mix)

Dari Tabel 22. dapat diketahui bahwa nilai VIM tertinggi terdapat pada benda uji dengan kadar serbuk ban bekas kendaraan 0% dengan nilai rerata sebesar 13,195%, sedangkan nilai VIM terendah terdapat pada benda uji dengan kadar serbuk ban bekas kendaraan 6% dengan nilai rerata sebesar 7,549%.



Gambar 38. Grafik Nilai VIM

Dari Gambar 38. dapat diketahui bahwa nilai VIM tertinggi berada pada kadar serbuk ban bekas kendaraan 2% sebesar 11,140%. Seiring dengan bertambahnya kadar serbuk ban bekas kendaraan, nilai

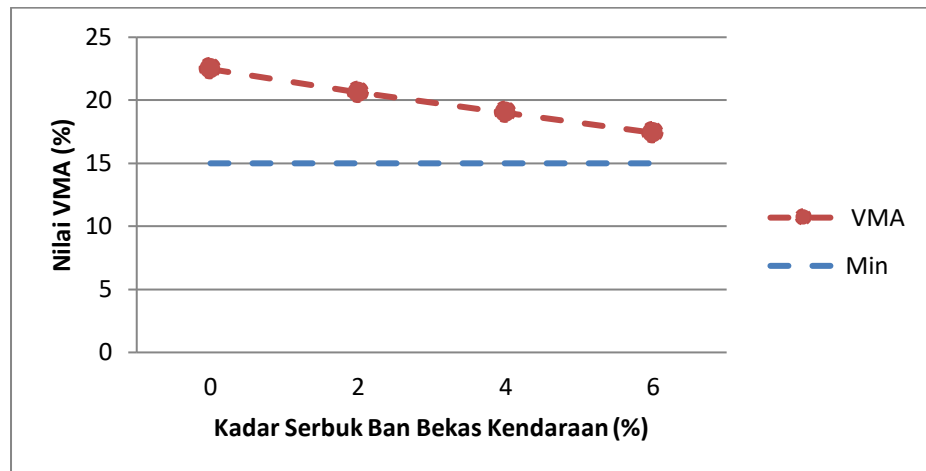
VIM semakin menurun. Pada kadar 4% mengalami penurunan sebesar 9,344%, dan pada kadar serbuk ban bekas kendaraan 6% sebesar 7,549%.

Namun, hasil pengujian menunjukkan bahwa benda uji tersebut tidak memenuhi persyaratan karena semua benda uji memiliki nilai VIM diatas batas maksimal yang disyaratkan oleh Bina Marga 2010. Untuk memenuhi persyaratan tersebut harus menggunakan kadar serbuk ban bekas kendaraan semakin tinggi.

Penurunan nilai VIM dapat terjadi karena serbuk ban bekas kendaraan yang telah dipanaskan membantu aspal untuk mengisi rongga-rongga dalam campuran. Semakin tinggi kadar serbuk ban bekas, maka rongga yang terbentuk semakin sedikit.

d. VMA (Void in Mineral Agregate)

Dari Tabel 23. dapat diketahui bahwa nilai VMA tertinggi terdapat pada benda uji dengan kadar serbuk ban bekas kendaraan 0% dengan rerata sebesar 22,469%. Sedangkan nilai VMA terendah terdapat pada benda uji dengan kadar serbuk ban bekas kendaraan 6% dengan rerata sebesar 17,427%. Hal tersebut digambarkan pada grafik nilai VMA sebagai berikut:



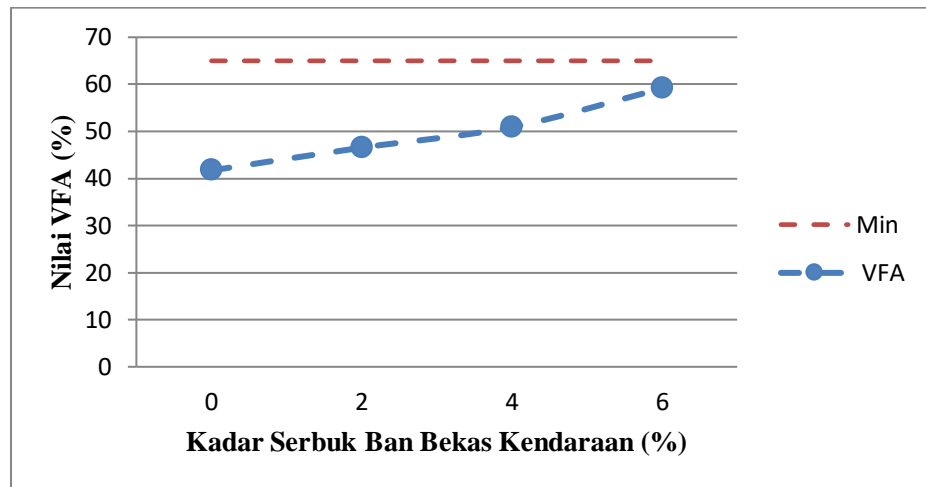
Gambar 39. Grafik Nilai VMA

Dari Gambar 39. dapat diketahui bahwa nilai VMA tertinggi berada pada kadar serbuk ban bekas kendaraan 2% sebesar 20,630%. Seiring bertambahnya kadar serbuk ban bekas kendaraan, nilai VMA semakin menurun. Pada kadar 4% mengalami penurunan sebesar 19,030%, kemudian mengalami penurunan lagi pada kadar serbuk ban bekas kendaraan 6% sebesar 17,427%. Hal tersebut sebanding dengan nilai VIM, sehingga disimpulkan bahwa nilai dan karakteristik VMA berbanding lurus dengan nilai VIM.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa benda uji tersebut memenuhi persyaratan karena benda uji dengan kadar serbuk ban bekas kendaraan 0%, 2%, 4%, dan 6% berada diatas batas minimal yang disyaratkan oleh Bina Marga 2010.

e. VFA (Void Filled With Asphalt)

Dari Tabel 24. dapat diketahui bahwa nilai VFA tertinggi dari pengujian adalah pada kadar serbuk ban bekas kendaraan 6% sebesar 59,123%.



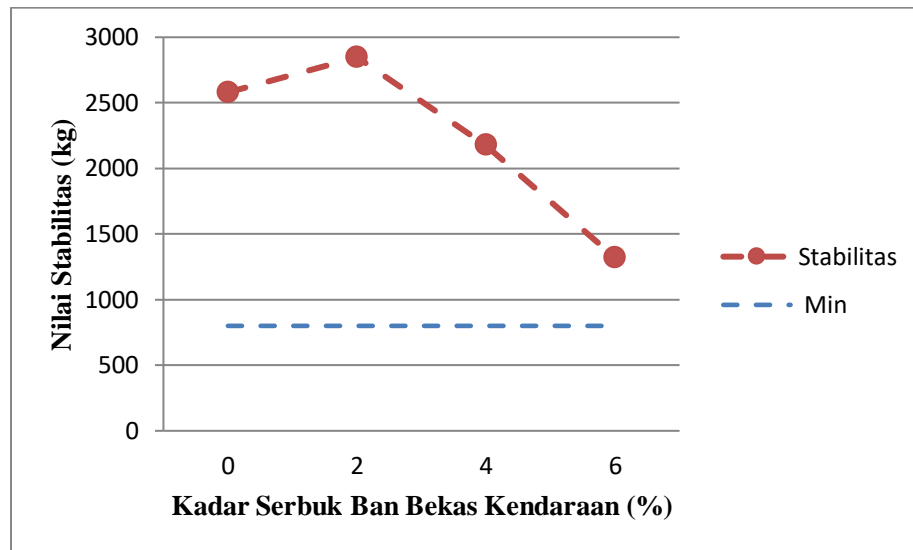
Gambar 40. Grafik Nilai VFA

Dari Gambar 40. Dapat diketahui bahwa nilai VFA terendah berada pada benda uji dengan kadar serbuk ban bekas kendaraan 2% sebesar 46,547 %. Seiring dengan bertambahnya kadar serbuk ban bekas kendaraan, nilai VFA semakin tinggi. Pada kadar 4% mengalami kenaikan sebesar 50,924%, dan pada kadar 6% mengalami kenaikan lagi sebesar 59,123%. Tren pada nilai VFA ini berbanding terbalik dengan nilai VIM dan VMA.

Namun, hasil pengujian menunjukkan bahwa benda uji campuran aspal tidak memenuhi persyaratan karena tidak memenuhi batas minimal yang disyaratkan oleh Bina Marga 2010. Untuk memenuhi persyaratan tersebut harus menggunakan kadar serbuk ban bekas kendaraan semakin tinggi.

f. Stabilitas

Dari Tabel 25. dapat diketahui bahwa nilai stabilitas tertinggi pada pengujian ini adalah pada kadar serbuk ban bekas kendaraan 2 %.



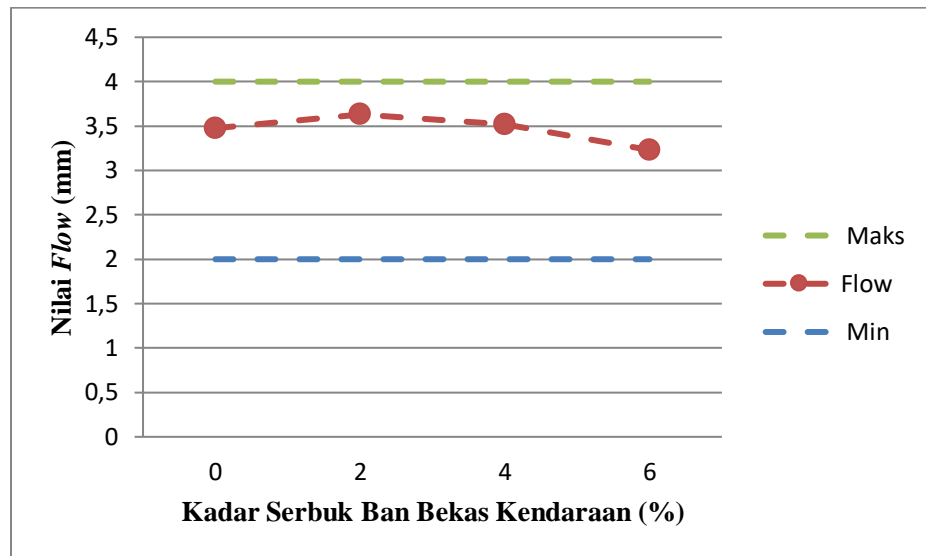
Gambar 41. Grafik Nilai Stabilitas

Dari Gambar 41. dapat diketahui bahwa nilai stabilitas tertinggi pada kadar serbuk ban bekas kendaraan 2% yaitu sebesar 2.846,746 kg. Seiring dengan bertambahnya kadar serbuk ban bekas kendaraan, maka nilai stabilitas semakin rendah. Pada kadar 4% mengalami penurunan sebesar 2.175,102 kg, kemudian pada kadar 6% mengalami penurunan lagi sebesar 1.320,485 kg.

Semakin rendah nilai stabilitas maka akan cenderung kurang dapat menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk. Nilai stabilitas pada kadar serbuk ban bekas kendaraan memenuhi syarat karena telah memenuhi batas minimum yang sudah disyaratkan oleh Bina Marga 2010.

g. *Flow* (Pelelehan)

Dari Tabel 26. dapat diketahui bahwa nilai *flow* tertinggi dari pengujian ini pada kadar serbuk ban bekas kendaraan 2%.



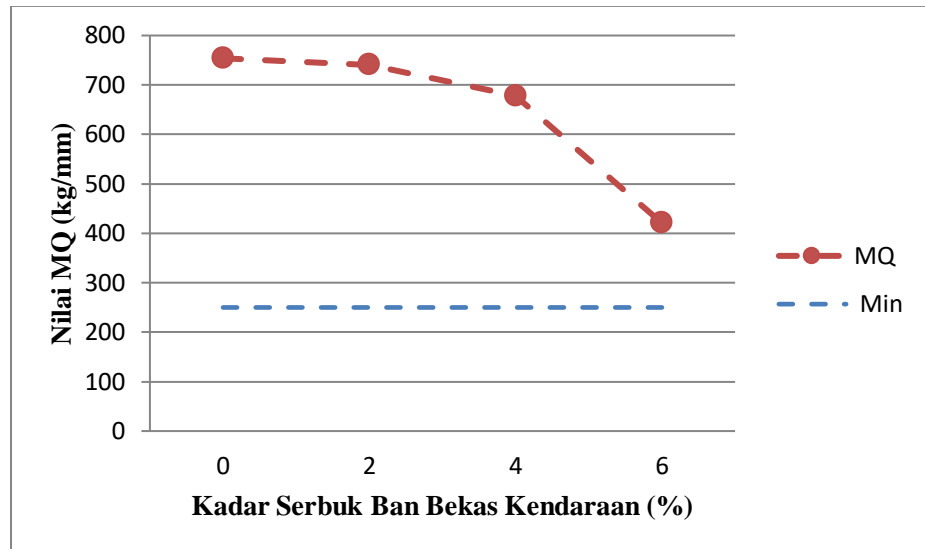
Gambar 42. Grafik Nilai *Flow*

Dari Gambar 42. dapat diketahui bahwa nilai *flow* tertinggi pada kadar serbuk ban bekas kendaraan 2% sebesar 3,630 mm. Seiring dengan bertambahnya kadar serbuk ban bekas kendaraan, maka nilai *flow* semakin rendah. Pada kadar 4% mengalami penurunan sebesar 3,516 mm, kemudian pada kadar 6% mengalami penurunan lagi sebesar 3,230mm. Dari hal tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa persentase serbuk ban bekas kendaraan berpengaruh terhadap nilai *flow* campuran aspal, semakin tinggi persentase serbuk ban bekas kendaraan yang digunakan maka akan semakin rendah nilai *flow* campuran aspal.

Nilai *flow* dari hasil pengujian menunjukkan bahwa benda uji tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 karena telah memenuhi batas minimal nilai *flow* tetapi tidak melewati batas maksimalnya.

h. *MQ*

Dari Tabel 27. dapat diketahui bahwa nilai MQ tertinggi adalah pada kadar serbuk ban bekas kendaraan 2%.



Gambar 43. Grafik Nilai MQ

Dari Gambar 43. dapat diketahui bahwa nilai MQ tertinggi berada pada kadar serbuk ban bekas kendaraan 2% sebesar 1011,712 kg/mm. Seiring dengan bertambahnya serbuk ban bekas kendaraan, maka nilai MQ semakin rendah. Pada kadar 4% mengalami penurunan sebesar 677,701 kg/mm, kemudian pada kadar 6% mengalami penurunan lagi sebesar 420,626 kg/mm.

Apabila nilai MQ terlalu tinggi, maka campuran aspal akan cenderung terlalu kaku dan mudah retak. Sebaliknya jika nilai MQ terlalu rendah, maka campuran aspal akan menjadi terlalu lentur dan cenderung kurang stabil. Dari hasil penelitian *marshall*, nilai MQ pada semua benda uji telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2010.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisis pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan serbuk ban bekas kendaraan mempengaruhi nilai karakteristik *marshall*.

Pada benda uji yang telah ditambah kadar serbuk ban bekas kendaraan memiliki nilai VIM dan VMA selalu lebih rendah dibandingkan dengan benda uji yang tidak ditambah oleh serbuk ban bekas kendaraan. Nilai VIM menjadi lebih rendah karena kadar serbuk ban bekas kendaraan membantu mengisi rongga dalam campuran. Nilai VMA menjadi lebih rendah karena kadar aspal dalam suatu campuran semakin tinggi. Pada nilai stabilitas, benda uji dengan kadar serbuk ban bekas kendaraan 2% memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji yang tidak ada kadar serbuk ban bekas kendaraan. Hal tersebut disebabkan karena semakin tinggi kadar serbuk ban bekas kendaraan, maka jumlah aspal yang terserap dan menyelimuti agregat akan menjadi semakin sedikit.

2. Variasi penambahan kadar serbuk ban karet bekas kendaraan pada campuran lapis aspal beton (laston) mempengaruhi nilai karakteristik *marshall*.

Dari pengujian kepadatan, stabilitas, dan *flow* diperoleh nilai tertinggi pada kadar 2%, sedangkan pada kadar 0%, 4%, dan 6% serbuk ban

bekas kendaraan memiliki nilai yang lebih rendah. Dari pengujian VIM, VMA, dan MQ diperoleh nilai tertinggi pada kadar 0%, semakin tinggi kadar serbuk ban bekas kendaraan, maka nilai VIM, VMA, dan MQ semakin rendah. Dari pengujian VFA diperoleh nilai tertinggi pada kadar 6% dan semakin tinggi kadar serbuk ban bekas kendaraan, maka nilai VFA semakin tinggi.

3. Pencampuran lapis aspal beton (laston) dengan serbuk ban bekas kendaraan pada penelitian yaitu VMA, stabilitas, *flow*, dan MQ telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2010, namun untuk persyaratan lain yang tidak memenuhinya yaitu VIM dan VFA. Hal ini menunjukkan adanya hubungan positif antara pencampuran serbuk ban karet bekas kendaraan terhadap karakteristik *marshall* lapis aspal beton (laston).

B. SARAN

Penelitian ini membutuhkan saran-saran agar lebih baik, antara lain sebagai berikut:

1. Masih perlu dilakukan penelitian lanjut tentang pengaruh penambahan serbuk ban bekas kendaraan pada laston terhadap karakteristik *marshall* dengan bahan pengisi abu ampas tebu.
2. Agar dilakukan penelitian karakteristik *marshall* selanjutnya dengan menggunakan serbuk ban bekas kendaraan sebagai pengganti aspal.
3. Agar dilakukan penelitian karakteristik *marshall* selanjutnya dengan menggunakan metode pencampuran kering.
4. Gradasi agregat yang digunakan untuk penelitian sebaiknya yang telah memenuhi semua persyaratan dari Bina Marga 2010.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. 1972. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structural*. AASHTO Wasington DC
- Al-Malaika. (1997). *Reaktif Modifiers of Polimer*. Blackie Academic and Professional. London
- Atkins, Harold N. (1997). *Highway Materials, Soils, and Concretes Third Edition*. Prentice Hall. New Jersey
- Bina Marga. 1987. *Pengertian Lapis Aspal Beton*. Balai Besar Pelaksanaan Jalan. Nasional V. Yogyakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga
- _____, 2007. *Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi VI Untuk Perkerasan Aspal*. Departemen Pekerjaan Umum.
- _____, 2010. *Spesifikasi Lapisan Aspal Beton*. Balai Besar Pelaksanaan Jalan. Nasional V. Yogyakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga
- _____, 2010. *Ketentuan Aspal Beton*. Balai Besar Pelaksanaan Jalan. Nasional V. Yogyakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga
- _____, 2010. *Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi VI Untuk Perkerasan Aspal*. Departemen Pekerjaan Umum.
- _____, 2010. *Spesifikasi Umum 2010*. Balai Besar Pelaksanaan Jalan. Nasional V. Yogyakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga
- Arif, Andi M. 2019. *Naikkan Kualitas, Alternatif Bahan Aspal Disiapkan*. <https://www.google.co.id/amp/s/m.bisnis.com/amp/read/20190411/257/910467/naikkan-kualitas-alternatif-bahan-aspal-disiapkan/>, pada 25 Juni 2019
- Darunifah, N, 2007. *Pengaruh Bahan Tambahan Karet Padat Terhadap Karakteristik Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS – WC)*. Semarang: Tesis Universitas Diponegoro.
- Hardiyatmo. 2015. *Pembagian Evaluasi Perkerasan Aspal*. Gadjah Mada University, Yogyakarta.
- _____, 2015. *Peranan Komponen-Komponen Perkerasan Lentur*. Gadjah Mada University, Yogyakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. *Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Revisi 3 Perkerasan Aspal*, Jakarta.

- Oglesby, Clarkson H. 1999, Alih Bahasa. *Teknik Jalan Raya Jilid 1*. Gramedia. Jakarta
- Satyagraha, F, 2018. *Pengaruh Penambahan Limbah Ban Dalam Bekas Kendaraan dan Filler Limbah Karbit pada Laston (AC-BC) terhadap Karakteristik Marshall*. Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- SKBI-2.4.26.1987. *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) untuk Jalan Raya*. Departemen Pekerjaan Umum.
- SNI 03-6819-2002. *Spesifikasi Agregat Halus Untuk Campuran Perkerasan Beraspal*. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- SNI 03-1969-1990. *Metode Pengujian Berat Jenis Agregat Halus dan Kasar*. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- SNI 06-2441-2011. *Metode Pengujian Berat Jenis Aspal*. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- SNI 03-1969-1990. *Metode Pengujian Penyerapan Agregat Kasar*. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- SNI 03-1970-1990. *Metode Pengujian Penyerapan Agregat Halus*. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- SNI 2417-2008. *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Los Angeles Machine*. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- SNI 03-1968-1990. *Metode Pengujian Gradasi Agregat Halus dan Kasar*. Pustran Balitbang Pekerjaan Umum.
- Sugiyono, 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta. Bandung.
- Sukirman, S. 1992. *Jenis Gradasi Agregat*. Granit. Jakarta.
- _____, S. 1992. *Jenis Konstruksi Perkerasan Jalan Berdasarkan Bahan Pengikatnya*. Granit. Jakarta.
- _____, S. 1999. *Definisi Aspal*. Granit. Jakarta.
- _____, S. 1999. *Definisi Aspal*. Granit. Jakarta.
- _____, S. 2003. *Fungsi Aspal Sebagai Material Perkerasan Jalan*. Granit. Jakarta.

- _____, S. 2003. *Parameter Kualitas Campuran Aspal*. Granit. Jakarta
- _____, S. 2010. *Perbandingan Antar Gradasi*. Granit. Jakarta.
- Sulaksono, 2001. *Pengertian Aspal*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Suloff, 2013. *The Goodyear Tire and Rubber Company*. Prentice Hall. Michigan University
- Totomihardjo, 2004. *Persyaratan Aspal Sebagai Bahan Perkerasan Jalan*. Jakarta.
- Warith, 2006. *Predicting The Compecibility Behavior of Tyre Shread Sample for Landfill Application*. Waste Management.



**LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) Fax. (0274) 586734
Website: <http://ft.uny.ac.id> e-mail: ft@uny.ac.id ; teknik@uny.ac.id

Lampiran 1

Judul Pengujian : Pengujian Penetrasi Aspal
Hari, tanggal : Sabtu, 26 Januari 2019
Waktu : 09:00 WIB - Selesai
Cuaca : Cerah Berawan
Suhu ruangan : 28°C
Lokasi pengujian :
Laboratorium Jalan Raya Jurusan Pendidikan Teknik
Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik UNY
Data pengujian :

1. Percobaan pertama

Tabel 28. Data pengujian penetrasi aspal percobaan pertama

No	Suhu (°C)	Nilai Penetrasi (mm/gr/dt)	Waktu (detik)
1	25	62	5,30
2	25	63	5,18
3	25	61	5,20

$$\text{Rata-rata nilai penetrasi percobaan pertama} = \frac{(62+63+61)}{3} = 62 \text{ mm/gr/dt}$$

2. Percobaan kedua

Tabel 29. Data pengujian penetrasi aspal percobaan kedua

No	Suhu (°C)	Nilai Penetrasi (mm/gr/dt)	Waktu (detik)
1	25	64	5,26
2	25	64	5,29
3	25	67	5,38

$$\text{Rata-rata nilai penetrasi percobaan kedua} = \frac{(64+64+67)}{3} = 65 \text{ mm/gr/dt}$$

3. Percobaan ketiga

Tabel 30. Data pengujian penetrasi aspal percobaan ketiga

No	Suhu (°C)	Nilai Penetrasi (mm/gr/dt)	Waktu (detik)
1	25	68	5,23
2	25	67	5,38
3	25	62	5,47

$$\text{Rata-rata nilai penetrasi percobaan ketiga} = \frac{(68+67+62)}{3} = 65,6 \text{ mm/gr/dt}$$

$$\text{Nilai rata-rata penetrasi} = \frac{(62+65+65,6)}{3} = 64,2 \text{ mm/gr/dt}$$

Yogyakarta, 26 Januari 2019

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Kimin Triono, S.Pd.T.



**LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) Fax. (0274) 586734
Website: <http://ft.uny.ac.id> e-mail: ft@uny.ac.id ; teknik@uny.ac.id

Lampiran 2

Judul Pengujian : Pengujian Titik Lembek Aspal
Hari, tanggal : Senin, 28 Januari 2019
Waktu : 09:00 WIB - Selesai
Cuaca : Cerah Berawan
Suhu ruangan : 28°C
Lokasi pengujian : Laboratorium Jalan Raya Jurusan Pendidikan Teknik
Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik UNY
Data pengujian :

1. Percobaan pertama

Tabel 31. Data pengujian titik lembek aspal percobaan pertama

No	Suhu (°C)	Waktu (detik)	Keterangan
1	5	00:00.00	
2	10	02:46.00	
3	15	03:35.60	
4	20	01:00.43	
5	25	01:01.16	
6	30	00:48.97	
7	35	00:49.58	
8	40	00:17.25	
9	45	00:43.12	
10	50	00:42.74	
11	55	00:40.74	
12	58 (pelor 1)	00:02.06	Pelor 1 jatuh
13	59 (pelor 2)	07:17.64	Pelor 2 jatuh

$$\text{Rata-rata nilai titik lembek percobaan pertama} = \frac{(58+59)}{2} = 58,5^{\circ}\text{C}$$

2. Percobaan kedua

Tabel 32. Data pengujian titik lembek aspal percobaan kedua

No	Suhu (°C)	Waktu (detik)	Keterangan
1	5	00:00.00	
2	10	02:15.27	
3	15	00:34.57	
4	20	00:59.36	
5	25	00:36.96	
6	30	00:36.06	
7	35	00:44.29	
8	40	00:46.93	
9	45	00:51.30	
10	50	00:43.72	
11	55	00:48.63	
12	57 (pelor 1)	00:16.03	Pelor 1 jatuh
13	57 (pelor 2)	00:00.08	Pelor 2 jatuh

$$\text{Rata-rata nilai titik lembek percobaan kedua} = \frac{(57+57)}{2} = 57^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Rata-rata nilai titik lembek} = \frac{(58,5+57)}{2} = 57,75^{\circ}\text{C}$$

Yogyakarta, 28 Januari 2019

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Kimin Triono, S.Pd.T.



LABORATORIUM JALAN RAYA

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) Fax. (0274) 586734
Website: <http://ft.uny.ac.id> e-mail: ft@uny.ac.id ; teknik@uny.ac.id

Lampiran 3

Judul Pengujian : Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal
Hari, tanggal : Sabtu, 26 Januari 2019
Waktu : 09:00 WIB - Selesai
Cuaca : Cerah Berawan
Suhu ruangan : 28°C
Lokasi pengujian : Laboratorium Jalan Raya Jurusan Pendidikan Teknik
Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik UNY
Data pengujian :
Percobaan

Tabel 31. Data pengujian titik lembek aspal percobaan pertama

No	Suhu (°C)	Waktu	Keterangan
1	70	00:00.00	-
2	75	00:20.06	-
3	80	00:41.11	-
4	85	01:46.39	-
5	90	05:51.53	-
6	100	06:26.34	-
7	105	06:29.70	-
8	110	06:38.95	-
9	115	06:47.02	-
10	120	06:54.03	-
11	125	07:03.27	-
12	130	07:10.69	-
13	135	07:17.64	-
14	140	07:23.28	-
15	145	07:31.10	-
16	150	07:37.41	-
17	155	07:42.19	-

No	Suhu (°C)	Waktu	Keterangan
18	160	07:47.65	-

19	165	07:56.76	-
20	170	08:10.10	-
21	175	08:20.13	-
22	180	08:32.24	-
23	185	08:46.63	-
24	190	09:07.83	-
25	195	09:25.14	-
26	200	10:14.26	-
27	205	10:51.83	-
28	210	11:17.01	-
29	215	12:04.63	-
30	220	12:44.92	-
31	225	13:20.32	-
32	230	14:24.90	-
33	232	15:08.35	-
34	234	15:28.24	Titik Nyala
35	236	15:46.74	-
36	240	16:50.06	-
37	242	17:44.15	-
38	244	18:36.08	-
39	246	19:09.07	-
40	248	19:32.28	-
41	250	20:50.74	-
42	252	21:02.66	-
43	254	24:42.00	-
44	256	24:55.88	-
45	258	25:05.11	-
46	260	25:11.34	-
47	262	25:21.90	-
48	264	25:39.24	-
49	270	25:51.27	-
50	272	26:00.97	-
51	274	26:14.82	-
52	278	26:36.20	-
53	282	26:56.13	-
54	284	27:22.28	-
55	286	27:29.69	-
56	288	27:42.13	-

No	Suhu (°C)	Waktu	Keterangan
57	290	27:57.03	-

58	292	28:05.46	-
59	294	28:13.07	-
60	296	28:23.44	-
61	298	28:46.78	-
62	300	29:03.21	-
63	302	29:32.62	-
64	304	29:41.59	-
65	306	30:12.39	-
66	310	30:52.46	-
67	312	31:15.73	-
68	316	32:08.12	-
69	318	32:26.28	-
70	320	33:24.70	Titik Bakar

Yogyakarta, 26 Januari 2019

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Kimin Triono, S.Pd.T.



LABORATORIUM JALAN RAYA

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) Fax. (0274) 586734
Website: <http://ft.uny.ac.id> e-mail: ft@uny.ac.id ; teknik@uny.ac.id

Lampiran 4

Judul Pengujian : Pengujian Berat Jenis Aspal
Hari, tanggal : Sabtu, 09 Februari 2019
Waktu : 09:00 WIB - Selesai
Cuaca : Cerah Berawan
Lokasi pengujian : Laboratorium Jalan Raya Jurusan Pendidikan Teknik
Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik UNY
Data pengujian :

Tabel 32. Data pengujian berat jenis aspal

No	Uraian	I	II
1	Berat piknometer (W1)	41,55 gr	32,55 gr
2	Berat piknometer + air (W4)	100,05 gr	113,4 gr
3	Berat piknometer + aspal (W2)	46,5 gr	37,55 gr
4	Berat piknometer + air + aspal (W3)	100,4 gr	114,6 gr
5	Berat jenis aspal $\frac{W2-W1}{(W4-W1)-(W3-W2)}$	1,076 gr/cm ³	1,31 gr/cm ³
6	Rata-rata	1,193 gr/cm ³	

Yogyakarta, 09 Februari 2019

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Kimin Triono, S.Pd.T.



LABORATORIUM JALAN RAYA

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) Fax. (0274) 586734
Website: <http://ft.uny.ac.id> e-mail: ft@uny.ac.id ; teknik@uny.ac.id

Lampiran 5

Judul Pengujian : Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar
Hari, tanggal : Sabtu, 09 Februari 2019
Waktu : 11:00 WIB - Selesai
Lokasi pengujian : Laboratorium Jalan Raya Jurusan Pendidikan Teknik
Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik UNY
Data pengujian :

Tabel 33. Data hasil pengujian analisa saringan agregat kasar

Nomor Ayakan	Ukuran Ayakan	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	Berat Lolos (gram)	% Lolos
$\frac{3}{4}$ "	19,1	1,155	23,1	3,845	76,9
$\frac{1}{2}$ "	12,5	1,478	29,56	2,367	47,34
$\frac{3}{8}$ "	9,5	1,935	38,7	432	8,64
#4	4,75	280	5,6	152	3,04
#8	2,36	5,5	0,11	146,5	2,93
#16	1,18	4,7	0,094	141,8	2,836
#30	0,6	6	0,12	135,8	2,71
#50	0,3	13,6	0,272	122,2	2,444
#100	0,15	88,3	1,766	33,9	0,678
#200	0,075	23,2	0,464	10,7	0,214
PAN	0	10,7	0,214	0	0

Yogyakarta, 09 Februari 2019

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Kimin Triono, S.Pd.T.



LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521

Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) Fax. (0274) 586734

Website: <http://ft.uny.ac.id> e-mail: ft@uny.ac.id ; teknik@uny.ac.id

Lampiran 6

Judul Pengujian : Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus
Hari, tanggal : Sabtu, 09 Februari 2019
Waktu : 11:00 WIB - Selesai
Lokasi pengujian : Laboratorium Jalan Raya Jurusan Pendidikan Teknik
Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik UNY
Data pengujian :

Tabel 34. Data hasil pengujian analisa saringan agregat halus

Nomor Ayakan	Ukuran Ayakan	Berat Tertahan (gram)	% Tertahan	Berat Lolos (gram)	% Lolos
$\frac{3}{4}$ "	19,1	0	0	500	100
$\frac{1}{2}$ "	12,5	0	0	500	100
$\frac{3}{8}$ "	9,5	0	0	500	100
#4	4,75	0,2	0,04	499,8	99,96
#8	2,36	15,2	3,04	484,6	96,92
#16	1,18	57,2	11,44	427,4	85,48
#30	0,6	139,2	27,84	288,2	57,64
#50	0,3	178	35,6	110,2	22,04
#100	0,15	95,2	19,04	15	3
#200	0,075	12,3	2,46	2,7	0,54
PAN	0	2,7	0,54	0	0

Yogyakarta, 09 Februari 2019

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Kimin Triono, S.Pd.T.



LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) Fax. (0274) 586734
Website: <http://ft.uny.ac.id> e-mail: ft@uny.ac.id ; teknik@uny.ac.id

Lampiran 7

Judul Pengujian : Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar
Hari, tanggal : Senin, 11 Februari 2019
Waktu : 11:00 WIB - Selesai
Lokasi pengujian : Laboratorium Jalan Raya Jurusan Pendidikan Teknik
Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik UNY
Data pengujian :

Tabel 35. Data hasil pengujian berat jenis agregat kasar

No	Agregat	Jenis Pengujian	Syarat		Hasil	Satuan
			Min	Max		
1	Kasar	Berat jenis <i>bulk</i>	2,5	-	2,483	gr/cc
		Berat jenis SSD	2,5	-	2,553	gr/cc
		Berat jenis semu	2,5	-	2,662	gr/cc
		Penyerapan	-	3	2,81	%

Yogyakarta, 11 Februari 2019

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium

Kimin Triono, S.Pd.T.



LABORATORIUM JALAN RAYA

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) Fax. (0274) 586734
Website: <http://ft.uny.ac.id> e-mail: ft@uny.ac.id ; teknik@uny.ac.id

Lampiran 8

Judul Pengujian : Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus
Hari, tanggal : Senin, 11 Februari 2019
Waktu : 11:00 WIB - Selesai
Lokasi pengujian : Laboratorium Jalan Raya Jurusan Pendidikan Teknik
Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik UNY
Data pengujian :

Tabel 36. Data hasil pengujian berat jenis agregat halus

No	Agregat	Jenis Pengujian	Syarat		Hasil	Satuan
			Min	Max		
1	Halus	Berat jenis <i>bulk</i>	2,5	-	2,649	gr/cc
		Berat jenis SSD	2,5	-	2,649	gr/cc
		Berat jenis semu	2,5	-	2,753	gr/cc
		Penyerapan	-	3	2,302	%

Yogyakarta, 11 Februari 2019

Mengetahui,
Teknisi Laboratorium



Kimin Triono, S.Pd.T.
LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK

Alamat: Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 5521
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 (0274) Fax. (0274) 586734
Website: <http://ft.uny.ac.id> e-mail: ft@uny.ac.id ; teknik@uny.ac.id

Lampiran 9

Judul Pengujian : Pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO)
 Hari, tanggal : Senin, 11 Februari 2019
 Waktu : 13:00 WIB - Selesai
 Lokasi pengujian : Laboratorium Jalan Raya Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik UNY
 Data pengujian :

Tabel 37. Data hasil pengujian kadar aspal optimum

No	Karakteristik Marshall	Kadar Aspal					Satuan
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%	
1	Kepadatan	5,22	4,87	5,45	5,03	5,00	gr/cc
2	VIM	13,43	15,26	12,59	11,70	11,33	%
3	VMA	19,60	22,15	20,63	20,72	21,42	%
4	VFA	31,47	31,09	38,96	43,53	47,07	%
5	Flow	3,20	5,75	3,25	4,55	5,60	Mm
6	Stabilitas	3.427,04	3.066,69	2.109,79	2.577,72	3.213,39	Kg
7	MQ	1.070,95	533,34	649,17	753,908	573,64	kg/mm

KAO (Kadar Aspal Optimum) yang digunakan adalah 6,5%.

Yogyakarta, 11 Februari 2019

Mengetahui,
 Teknisi Laboratorium

Kimin Triono, S.Pd.T.

Lampiran 10. Dokumentasi





