

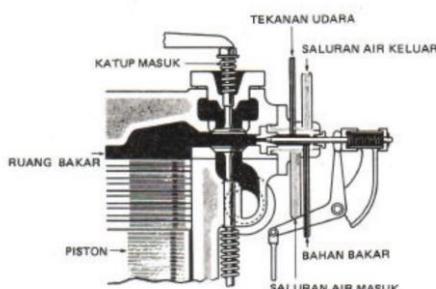
BAB II

PENDEKATAN PEMECAHAN MASALAH

A. Prinsip Kerja Motor Diesel

Prinsip dasar motor diesel sebagai motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) disamping motor bensin dan turbin gas. Motor diesel disebut dengan motor penyalaan kompresi (*compression ignition engine*). Cara pembakaran pada motor diesel torak menghisap udara dimasukkan ke ruang bakar yang selanjutnya udara dikompresikan sampai mencapai suhu dan tekanan tinggi. Beberapa saat sebelum torak mencapai titik mati atas (TMA) bahan bakar solar diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Dengan suhu dan tekanan udara dalam silinder tinggi maka partikel-partikel bahan bakar akan menyala dengan sendirinya sehingga membentuk proses pembakaran. Agar bahan bakar solar terbakar dengan sendiri diperlukan rasio kompresi 15 – 22 lebih tinggi dari pada motor bensin, 6 – 12, dan suhu kompresi $\pm 600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Didalam motor diesel sangat diperlukan sistem injeksi bahan bakar yang meliputi pompa injeksi (*injection pump*), pengabut (*injector*) dan perlengkapan bantu lainnya. Bahan bakar solar yang disemprotkan mempunyai sifat dapat terbakar sendiri (*self ignition*).



Gambar 1. Potongan motor diesel tampak depan

Sistem injeksi bahan bakar motor diesel merupakan sistem paling penting diantara sistem-sistem yang lain, dengan sistem injeksi bahan bakar baik akan menghasilkan tenaga motor yang maksimal, sebaliknya jika sistem injeksi tidak bekerja dengan baik maka tenaga motor tidak maksimal. Sistem injeksi bahan bakar pada motor diesel meliputi beberapa bagian yang berkaitan dengan bahan bakar, yang mempunyai fungsi mengisap bahan bakar dari tangki bahan bakar, memompakan bahan bakar menuju ke ruang bakar dengan tujuan mendapatkan tenaga.

Pada sistem bahan bakar motor diesel, *feed pump* menghisap bahan bakar dari tangki bahan bakar kemudian bahan bakar disaring oleh *fuel filter* dan kandungan air yang terdapat pada bahan bakar dipisahkan oleh *fuel sedimentter* sebelum dialirkan ke pompa bahan bakar. Rakitan pompa injeksi terdiri dari pompa injeksi, *governor*, *timer* dan *feed pump*. Didalam sistem injeksi bahan bakar motor diesel dapat dibedakan menjadi 2 bagian yang meliputi :

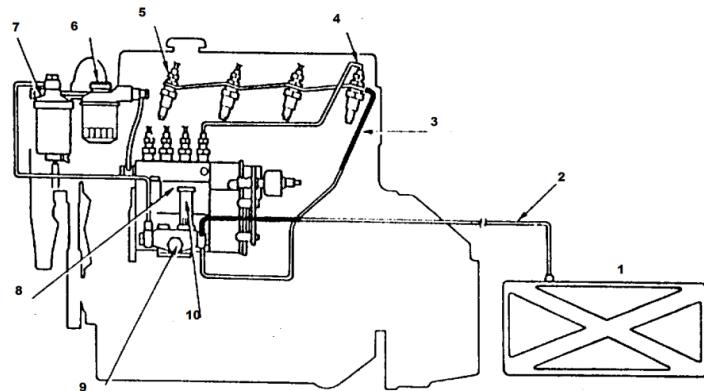
- Sistem injeksi bahan bakar dengan pompa injeksi sebaris (*inline fuel injection pump*). S
- Sistem injeksi bahan bakar dengan pompa injeksi *distributor*.

Dengan digerakkan oleh motor, pompa injeksi menekan bahan bakar dan mengalirkannya melalui *delivery line* ke *injection nozzle* dan selanjutnya diinjeksikan ke dalam silinder menurut urutan pengapian.

Pada sistem injeksi bahan bakar dengan pompa injeksi sebaris, terdiri dari empat elemen pompa yang melayani empat buah silinder. Dengan demikian tiap

silinder motor diesel akan dilayani oleh satu elemen pompa secara individual.

Pada gambar 2 menjelaskan aliran bahan bakar pompa injeksi tipe in line.

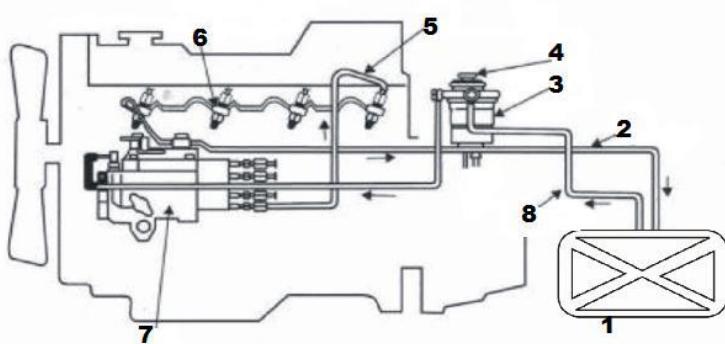


Gambar 2. Aliran bahan bakar pompa injeksi tipe in line

Keterangan gambar :

- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| 1. Fuel tank. | 6. Fuel filter. |
| 2. Fuel line. | 7. Water sedimenter. |
| 3. Fuel return line. | 8. Injection pump assembly. |
| 4. Delivery line. | 9. Feed pump. |
| 5. Injection nozzle. | 10. Priming pump |

Pada sistem injeksi bahan bakar dengan pompa injeksi distributor, pompa injeksinya hanya memiliki satu buah elemen pompa yang akan melayani empat buah silinder motor diesel melalui saluran distribusi pada pompa. Pada gambar 3 menjelaskan aliran bahan bakar pompa injeksi tipe distributor.



Gambar 3. Aliran bahan bakar pompa injeksi tipe distributor

Keterangan gambar aliran bahan bakar pompa injeksi tipe *distributor* yaitu

1. *Fuel tank.*
2. *Fuel return line.*
3. *Water sediment and fuel filter.*
4. *Priming pump.*
5. *Delivery line.*
6. *Injection nozzle.*
7. *Injection pump assembly.*

Pada umumnya pompa injeksi sebaris (*inline fuel injection pump*) digunakan untuk motor diesel bertenaga besar dengan ruang bakar langsung dan penyemprotan langsung (*direct injection*), sedangkan pompa injeksi tipe *distributor* banyak digunakan untuk motor diesel bertenaga menengah dan kecil dengan ruang bakar tambahan.

Secara umum komponen-komponen injeksi bahan bakar mesin diesel meliputi beberapa bagian yaitu :

- a. Tangki bahan bakar (*fuel tank*).
- b. Saringan bahan bakar (*fuel filter*).

- c. Pompa pemindah bahan bakar (*fuel transfer pump*).
- d. Pompa injeksi bahan bakar (*fuel injection pump*).
- e. Pipa – pipa injeksi bahan bakar (*fuel injection lines*).
- f. *Injector (fuel injector)*.
- g. Pipa-pipa pengembali bahan bakar (*fuel return lines*).

Komponen-komponen pendukungnya meliputi :

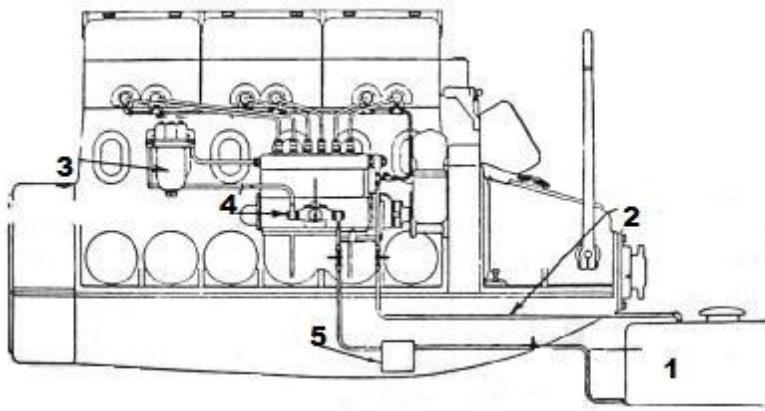
- a. Pengatur kecepatan (*governor*).
- b. Pengatur untuk memajukan saat injeksi otomatis (*advancer/ automatic timer*).

Komponen-komponen tersebut dirangkai satu kesatuan saling berkaitan untuk penginjeksian bahan bakar kedalam silinder motor diesel dengan tepat dan jumlah yang tepat dalam rangka menghasilkan tenaga motor yang maksimal

1. Tangki bahan bakar (fuel tank)

Tangki bahan bakar berfungsi menyimpan atau menampung bahan bakar. Tangki bahan bakar dibuat dengan berbagai ukuran dan tiap ukuran, bentuk tangki dirancang untuk maksud persyaratan tertentu. Kapasitas tangki harus cukup untuk digunakan dalam jangka waktu tertentu. Bentuk dan ukuran tangki tergantung pada ketersediaan tempat (*space*) serta kapasitas yang dikehendaki. Pada instalasi penggerak kapal tangki bahan bakar terdiri dari 2 jenis berdasarkan penggunaan bahan bakarnya yaitu :

- 1. Tangki bahan bakar harian.
- 2. Tangki bahan bakar utama/cadangan.



Gambar 4. Tangki dasar berganda.

Keterangan gambar

1. Saluran dari tangki bahan bakar.
2. Saluran kembali ke tangki bahan bakar.
3. Saringan bahan bakar.
4. Pompa perpindahan.
5. Saringan bahan bakar utama.

Tangki harian bahan bakar harus tertutup untuk mencegah masuknya kotoran, namun demikian harus mempunyai lubang pernafasan (*ventilation*) dan untuk lubang pengisian bahan bakar sebagai pengganti bahan bakar yang telah dipakai disambungkan dengan tangki utama/cadangan agar bahan bakar yang berada di tangki harian tetap terisi. Tangki harian terdapat tiga lubang yaitu :

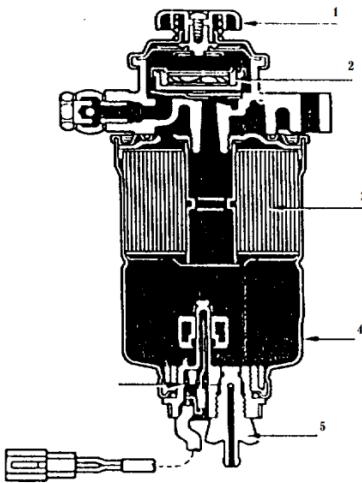
- a. Lubang untuk pengisian.
- b. Lubang untuk keluar bahan bakar.
- c. Lubang untuk saluran kebocoran bahan bakar (*fuel overflow/fuel leak – off*).

2. Saringan bahan bakar (fuel filter)

Pompa injeksi dan *nozzle* dibuat dengan presisi pada ketelitian 1/1000 mm, kemampuan motor diesel akan sangat terpengaruh bila bahan bakar tercampur partikel atau air. Penyaringan bahan bakar motor diesel sangat penting karena bahan bakar diesel cenderung tidak bersih baik dari kotoran partikel maupun air. Saringan bahan bakar berfungsi untuk mencegah masuknya kotoran atau air yang terbawa oleh bahan bakar dari tangki harian atau tangki utama/cadangan.

Pada instalasi motor diesel penggerak utama kapal umumnya menggunakan saringan jenis kantong. Terdiri dari kantong ukuran rapat yang ditahan dalam bentuk silinder dengan permukaan heliks oleh dua buah pegas heliks, satu pegas dari sisi dalam terbuat dari kawat yang agak berat, pegas dari sisi luar terbuat dari kawat yang lebih ringan. Menurunkan kecepatan fluida melalui kain sehingga memberikan efisiensi penyaringan yang lebih baik dengan penurunan tekanan sedikit. Kantongnya harus dari benang wol karena kain kapas akan memungkinkan bahan bakar mengambil seratnya. Selain jenis kantong terdapat pula jenis saringan lainnya yaitu saringan sinter dan saringan fuller.

Saringan bahan bakar untuk pompa injeksi tipe distributor kebanyakan digabung dengan *priming pump* dan *water sedimententer*. Berikut adalah gambar saringan bahan bakar untuk pompa injeksi tipe distributor.

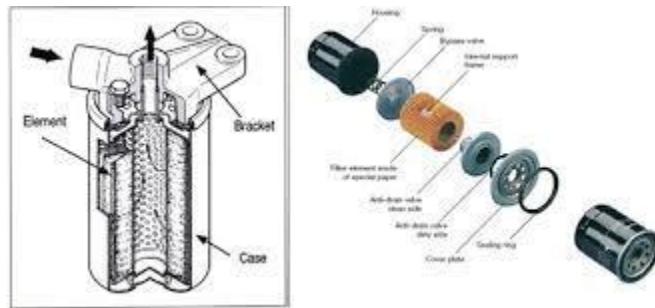


Gambar 5. Saringan bahan bakar untuk pompa injeksi tipe *distributor*

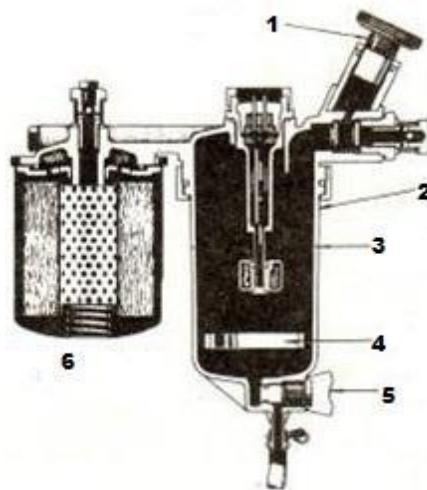
Keterangan gambar

1. *Priming pump.*
2. *Fuel heater.*
3. *Fuel filter element.*
4. Sedimenter.
5. *Drain cock.*
6. Sedimenter switch assembly.

Saringan bahan bakar untuk pompa injeksi tipe *in-line* menggunakan filter dengan elemen kertas. Pada bagian atas filter body terdapat sumbat ventilasi udara yang digunakan untuk mengeluarkan udara yang mungkin dapat tercampur dengan bahan bakar. Pada saat sumbat ventilasi udara dilonggarkan gerakan pompa mengeluarkan udara dari sistem bahan bakar. Berikut adalah gambar saringan bahan bakar untuk pompa injeksi tipe *in line* dan saringan bahan bakar sedimenter.



Gambar 6. Saringan bahan bakar untuk pompa injeksi tipe in-line



Gambar 7. Saringan bahan bakar sedimenter
Keterangan gambar

1. *Priming pump.*
2. *Sedimentter.*
3. *Switch tanda air penuh.*
4. *Pelampung.*
5. *Darin cock.*
6. *Saringan bahan bakar.*

Untuk memisahkan air dan bahan bakar digunakan *water sedimentter* yang bekerja berdasarkan sifat gravitasi air yang lebih besar daripada bahan bakarnya. Bila air sampai masuk ke dalam elemen pompa maka dapat

menyebabkan kerusakan pada elemen pompa karena korosi dan pengabutan menjadi terganggu.

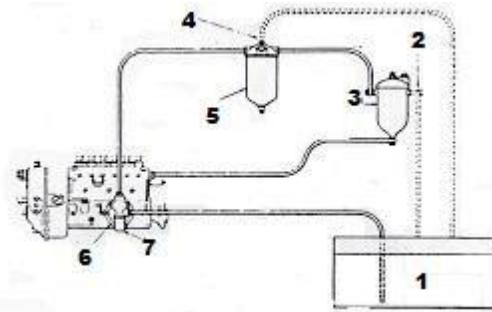
3. Pompa pemindah bahan bakar

Pompa pemindah bahan bakar ini berfungsi untuk mengisap bahan bakar dari tangki dan menekan bahan bakar melalui saringan bahan bakar ke ruang pompa injeksi. Pompa ini dinamakan juga pompa pemberi (*feed pump*) atau juga pompa pencatu bahan bakar (*fuel supply pump*) atau *priming pump*.

Pompa pemindah bahan bakar untuk motor diesel terdapat tiga macam yaitu meliputi hal berikut.

- Bekerja menggunakan *plunyer*.
- Bekerja menggunakan *membrane/ diafragma*
- Bekerja menggunakan daun rotor untuk pompa jenis *rotary*.

Pada gambar 8 adalah tata letak pompa pemindah bahan bakar



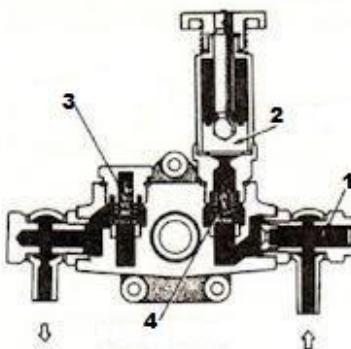
Gambar 8. Tata letak pompa pemindah bahan bakar.

Keterangan gambar

1. *Tank*.
2. *Plunger*
3. *Composite filter*.

4. Valve
5. Cloth filter.
6. Plunger or diaphragm feed pump.
7. Preliminary gauze filter.

Pompa pemindah bahan bakar untuk sistem injeksi bahan bakar dengan pompa injeksi sebaris.



Gambar 9. Pompa pemindah bahan bakar

Keterangan gambar

1. Filter.
2. Priming pump piston.
3. Check valve.
4. Check valve.

Pompa pemindah bahan bakar untuk pompa injeksi tipe sebaris (*inline*) adalah model pompa kerja tunggal (*single acting*) dipasang pada sisi pompa injeksi dan digerakkan oleh poros nok pompa injeksi. Pompa pemindah ini dilengkapi dengan pompa tangan yang berfungsi untuk

membuang udara yang terdapat pada sistem bahan bakar sebelum motor diesel dihidupkan.

4. Pompa injeksi bahan bakar (*fuel injection pump*)

Pompa injeksi bahan bakar berfungsi untuk menekan bahan bakar dengan tekanan yang cukup melalui kerja elemen pompa atau memampatkan bahan bakar dengan tekanan yang tinggi ke *nozzle* sehingga diharapkan bahan bakar akan dikabutkan oleh *nozzle* ke dalam ruang pembakaran.

Menurut cara penyemprotan bahan bakarnya, sistem bahan bakar terbagi menjadi beberapa bagian antara lain :

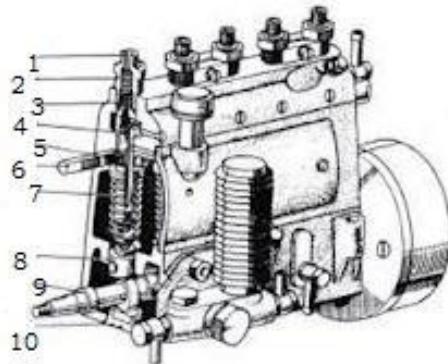
- a. Sistem pompa sebaris atau pribadi.
- b. Sistem pompa distributor.
- c. Sistem akumulator.

Sistem pompa injeksi tipe sebaris (in-line)

Sistem pompa injeksi sebaris atau pribadi (*in-line fuel injection pump*) banyak digunakan untuk motor diesel yang bertenaga besar, karena pompa injeksi sebaris mempunyai kelebihan bahwa tiap elemen pompa dapat melayani tiap-tiap silinder motor diesel.

Pada gambar pompa injeksi sebaris tipe Bosch (PE) menunjukkan elemen pompa yang terdiri dari plunyer (plunger) dan silinder (barrel) yang keduanya sangat presisi, yaitu celah antara plunyer dan silindernya sekitar 1/1000 mm. Ketelitian inilah cukup baik untuk menahan tekanan yang saat injeksi. Bahan bakar yang ditekankan oleh pompa pemindah

masuk ke pompa injeksi dengan tekanan rendah, dan plunyer bergerak naik turun dengan putaran poros nok pompa injeksi.



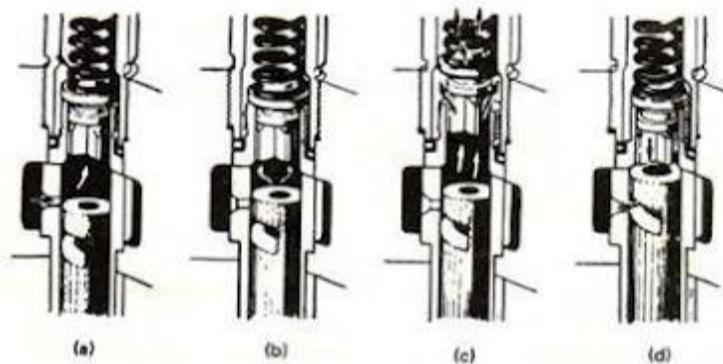
Gambar 10. Pompa injeksi sebaris tipe Bosch PE

Keterangan gambar

- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| 1. <i>Delivery valve holder</i> | 6. <i>Control rack</i> |
| 2. <i>Valve spring</i> | 7. <i>Plunger spring</i> |
| 3. <i>Delivery valve</i> | 8. <i>Tappet</i> |
| 4. <i>Plunger</i> | 9. <i>Camshaft</i> |
| 5. <i>Control pinion</i> | 10. <i>Felt plate plug</i> |

Prinsip kerja elemen pompa injeksi tipe sebaris (in-line)

Prinsip kerja elemen pompa injeksi tipe sebaris yaitu di tunjukkan pada gambar 11 di bawah ini.



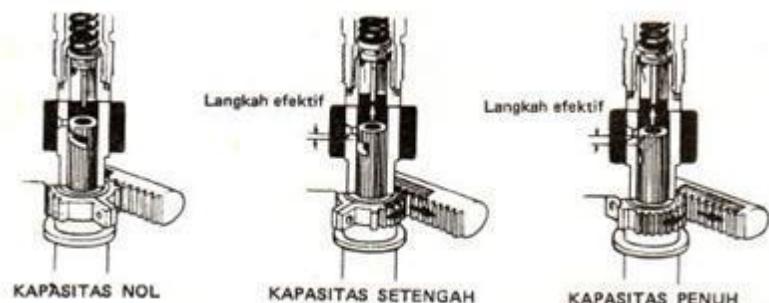
Gambar 11. Prinsip kerja elemen pompa injeksi tipe sebaris.

- 1) Pada saat *plunyer* berada pada titik terbawah, bahan bakar mengalir melalui lubang masuk (feed hole) pada silinder ke ruang penyalur (*delivery chamber*) di atas *plunyer*.
- 2) Pada saat poros nok pada pompa injeksi berputar dan menyentuh *tappet roller* maka *plunyer* bergerak ke atas. Apabila permukaan atas *plunyer* bertemu dengan bibir atas lubang masuk maka bahan bakar mulai tertekan dan mengalir keluar pompa melalui pipa tekanan tinggi ke *injector*.
- 3) *Plunyer* tetap ke atas, tetapi pada saat bibir atas control groove bertemu dengan bibir bawah lubang masuk maka penyaluran bahan bakar akan terhenti.
- 4) Gerakan *plunyer* ke atas selanjutnya menyebabkan bahan bakar yang tertinggal dalam ruang penyaluran masuk melalui lubang pada permukaan atas *plunyer* dan mengalir ke lubang masuk menuju ruang isap, sehingga tidak ada lagi bahan bakar yang disalurkan.

Jumlah pengiriman bahan bakar dari pompa diatur oleh *governor* sesuai dengan kebutuhan motor diesel. *Governor* mengatur gerakan *control rack* yang berkaitan dengan *control pinion* yang diikatkan pada

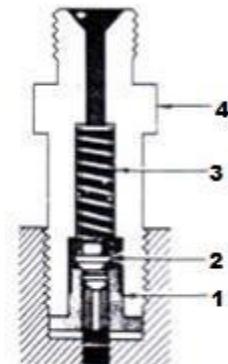
control sleeve. *Control sleeve* ini berputar bebas terhadap silinder. Bagian bawah *plunyer* (*flens*) berkaitan dengan bagian bawah *control sleeve*. Jumlah bahan bakar yang dikirim tergantung pada posisi *plunyer* dan perubahan besarnya langkah efektif.

Langkah efektif adalah langkah *plunyer* dimulai dari tertutupnya lubang masuk oleh *plunyer* sampai control groove bertemu dengan lubang masuk. Langkah efektif akan berubah sesuai dengan posisi *plunyer* dan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan sesuai dengan besarnya langkah efektif. Gambar 12 bentuk pengontrolan jumlah bahan bakar.



Gambar 12. Pengontrolan jumlah bahan bakar

Penekanan bahan bakar dari elemen pompa ke injektor diatur oleh katup penyalur (*delivery valve*). Katup penyalur ini berfungsi ganda yaitu selain mencegah bahan bakar dalam pipa tekanan tinggi mengalir kembali ke *plunyer* juga berfungsi untuk mengisap bahan bakar dari ruang *injector* setelah penyemprotan.

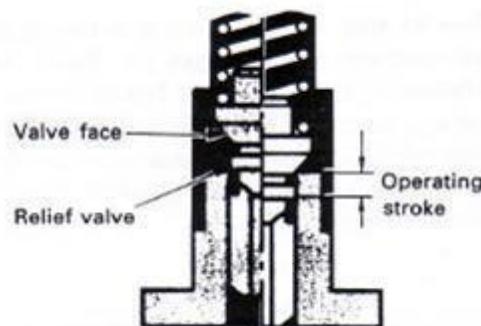


Gambar 13. Katup penyalur.

Keterangan gambar katup penyalur

1. Valve seat.
2. Delivery valves.
3. Valve spring.
4. Delivery valve holder.

Dengan demikian katup penyalur pada pompa injeksi menjamin *injector* akan menutup dengan cepat pada saat akhir injeksi, karena untuk mencegah bahan bakar menetes yang dapat menyebabkan pembakaran awal (*pre ignition*) selama siklus pembakaran berikutnya.



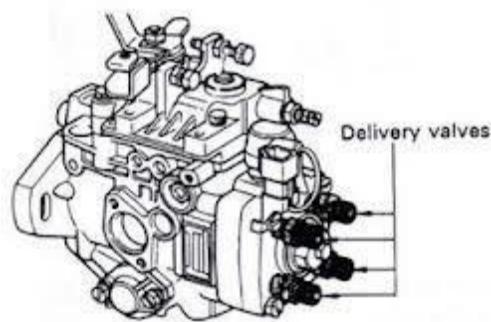
Gambar 14. Prinsip kerja katup penyalur.

Prinsip kerja katup penyaluran yaitu :

- 1) Pada saat awal penginjeksian, maka katup penyalur pada posisi terangkat dari dudukan, dengan adanya tekanan bahan bakar yang dipompa keluar dari pompa plunyer. Hal ini memungkinkan bahan bakar dengan tekanan dialirkan ke *nozzle*.
- 2) Bila tekanan penyalur menurun dan pegas katup penyalur kebawah, maka relief *valve* akan menutup hubungan antara ruang penyalur dengan pipa injeksi dan selanjutnya katup akan masuk kedalam sampai dudukan bersentuhan dengan *body* mencegah menurunnya katup.

Sistem pompa injeksi tipe distributor

Sistem pompa injeksi tipe distributor (VE) dirancang dengan plunyer tunggal untuk mengatur jumlah banyaknya bahan bakar yang diinjeksikan dengan tepat dan membagi pemberian bahan bakar ke tiap-tiap silinder motor diesel dengan urutan penginjeksiannya.



Gambar 15. Pompa injeksi distributor tipe VE.

Kelebihan-kelebihan pompa injeksi distributor tipe VE meliputi :

1. Komponennya sedikit.
2. Beratnya ringan $\pm 4,5$ kg.
3. Mampu digunakan untuk motor diesel putaran tinggi.

4. Bersamaan dalam jumlah penginjeksian bahan bakar.
5. Mudah dalam menghidupkan motor diesel.
6. Putaran *idle* yang stabil.
7. Pelumasan dengan bahan bakar sendiri.
8. Mudah dalam penyetelan jumlah penginjeksian bahan bakar.
9. Dilengkapi dengan solenoid penghenti bahan bakar.
10. Alat pengatur bekerja secara hidrolik saat penginjeksian.
11. Tidak akan memberikan bahan bakar ke silinder jika terjadi motor diesel berputar balik.

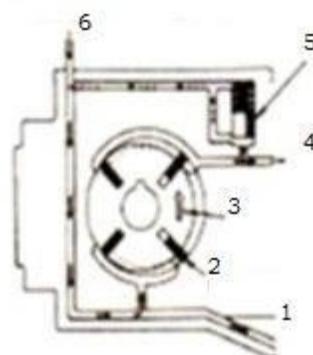
Pompa injeksi tipe distributor terdiri dari beberapa komponen yang meliputi :

- 1) Pompa pemberi (*feed pump*) tipe sudu *rotary* yang mengalirkan bahan bakar dari tangki kedalam rumah pompa injeksi
- 2) Katup pengatur tekanan bahan bakar didalam feed pump (*pressure regulating valve*).
- 3) Katup pelimpah (*overflow*) untuk menyalurkan kelebihan bahan bakar dari pompa ke tangki.
- 4) Plat nok (*cam plate*) yang digerakkan oleh poros pompa (*drive shaft*) yang menggerakkan *plunyer* dalam bentuk berputar dan bolak-balik, karena plunyer bersatu dengan *cam plate*.
- 5) Governor mekanik (*mechanical governor*) yang mengatur jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar.

- 6) Pewaktu otomatis (*automatic timer*) yang mengatur saat injeksi (*injection timing*) yang bekerja menurut tekanan bahan bakar.
- 7) Solenoid penutup bahan bakar (*fuel cut – off solenoid*) yang digunakan untuk menutup aliran bahan bakar ke dalam elemen pompa.
- 8) Katup penyalur (*delivery valve*) berfungsi untuk mencegah bahan bakar dari dalam pipa tekanan tinggi masuk ke dalam ruang elemen pompa dan menghisap sisa bahan bakar dari *injector* pada akhir injeksi.

Penjelasan komponen – komponen pompa injeksi tipe distributor

Pompa pemberi (*feed pump*) tipe *rotary* ini berada dalam pompa injeksi yang menyalurkan bahan bakar dari tangki ke dalam rumah pompa melalui *sedimenter* dan *filter*. Pompa pemberi ini digerakkan oleh poros penggerak dan selama rotor berputar sudut pompa menekan keluar akibat gaya sentrifugal. Rotor yang tidak sepusat akan menyebabkan bahan bakar akan terisap dan ditekan ke ruang pompa di tunjukkan pada gambar 16 dibawah ini.



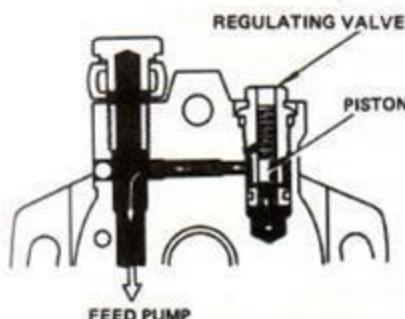
Gambar 16. Katup pemberi (*feed pump*) tipe *rotary*.

Keterangan gambar

1. Ke *timer*.

2. Blade.
3. Rotor.
4. Ke pump housing.
5. Regulating valve.
6. Dari saringan bahan bakar.

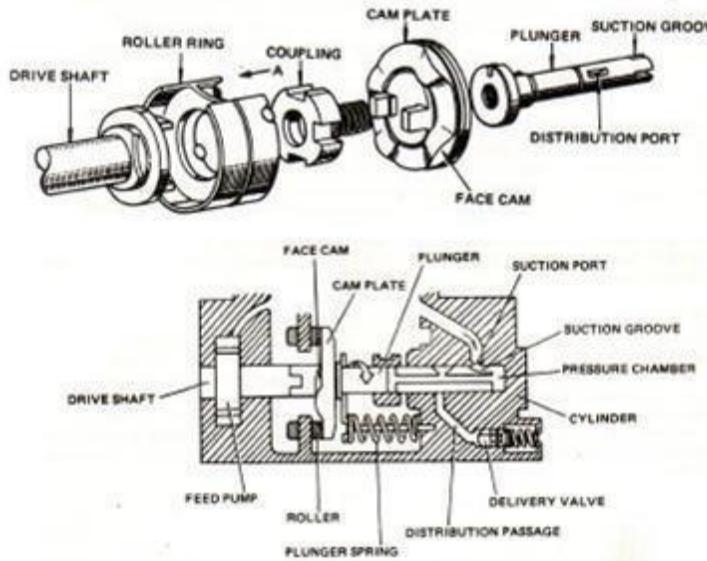
Katup pengatur tekanan bahan bakar (*regulating valve*), besarnya tekanan bahan bakar pada pompa pemberi ditentukan oleh tekanan pegas pada piston katup pengatur ini, sedangkan piston tertekan oleh tekanan bahan bakar. Jika kecepatan pompa bertambah maka bertambah pula tekanan bahan bakarnya



Gambar 17. Katup pengatur tekanan bahan bakar (*regulating valve*).

Prinsip kerja elemen pompa injeksi tipe distributor

Plunyer dan plat nok, penyaluran bahan bakar pada pompa injeksi bahan bakar distributor tipe VE melalui beberapa kerja komponen seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 18. Penyaluran bahan bakar pompa injeksi distributor tipe VE.

Pompa pemberi dan plat nok digerakkan oleh poros penggerak, *plunyer* dan plat nok ditekan oleh dua buah pegas *plunyer* melawan *roller*. Plat nok mempunyai empat buah muka nok (*cam face*), yang bila berputar muka nok berada di atas *roller* dan *plunyer* bergerak maju, sehingga bila plat nok dan *plunyer* berputar satu kali maka lunyer bergerak empat kali maju mundur.

Bahan bakar disalurkan ke tiap-tiap silinder setiap $\frac{1}{4}$ putaran *plunyer* dan satu kali *plunyer* bergerak bolak-balik. *Plunyer* mempunyai empat alur pengisian (*suction groove*) dan satu lubang distribusi (*distribution port*). Dengan demikian pada silinder pompa terdapat empat saluran distribusi (*distribution passage*). Pengisapan terjadi apabila salah satu alur pengisian segaris dengan lubang isap, dan penyaluran bahan bakar berlangsung bila lubang distribusi segaris dengan salah satu dari empat saluran distribusi.

Proses penyaluran bahan bakar terdiri dari :

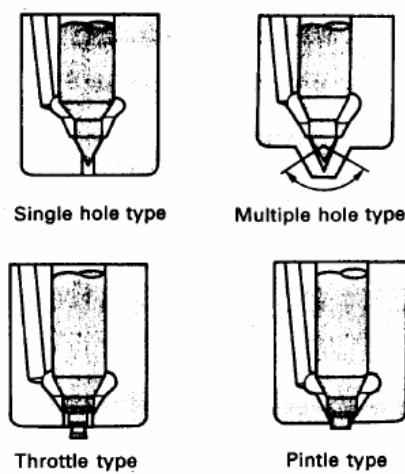
- 1) Pengisapan (suction)
- 2) Penyaluran (delivery)
- 3) Akhir penekanan (termination)
- 4) Penyamaan tekanan (pressure equalization)

Injector bahan bakar (fuel injector)

Injector bahan bakar disebut juga pengabut atau *nozzle* adalah suatu alat yang berfungsi untuk menyemprotkan bahan bakar dalam bentuk partikel-partikel kecil yang sangat halus (bentuk kabut) kedalam suatu udara yang sedang dipadatkan (dikompresi) di dalam ruang bakar motor.

Injector / nozzle dapat diklasifikasi beberapa bagian meliputi :

1. *Nozzle* berlubang tunggal (*single hole*).
2. *Nozzle* berlubang banyak (*multi hole*).
3. *Nozzle* model pin (*pintle type*).



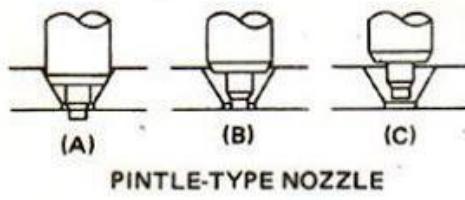
Gambar 19. Tipe-tipe *nozzle*.

Nozzle berlubang tunggal (*single hole*) semprotan atau kabutan bahan bakar yang dihasilkan berbentuk tirus dengan sudut kira-kira 4 sampai 150 yang dikeluarkan oleh ujung *nozzle* berlubang satu.

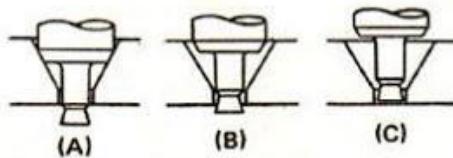
Pembuatan yang kurang sempurna dan seksama menyebabkan semprotan bahan bakar tidak merata bila sudutnya terlalu besar. Keadaan ini dapat membatasi sudut semprotan yang bisa digunakan. Tipe *nozzle* sangat menentukan bagi proses pembakaran dan bentuk ruang bakar. Maka dari itu, *nozzle* berlubang tunggal dipakai pada motor diesel dimana bentuk ruang bakarnya akan menimbulkan pusaran dan karenanya tidak begitu membutuhkan pengatoman bahan bakar yang halus dan semprotan yang merata. *Nozzle* berlubang bantak (*multy hole*) pada umumnya digunakan pada motor diesel dengan injeksi langsung (*direct injection*), sedangkan *nozzle* jenis pin (*pintle type*) pada umumnya digunakan untuk motor diesel yang mempunyai ruang bakar muka (*presombustion chamber*).

Nozzle berlubang tunggal bekerja dengan baik karena pembukaan lubang *nozzle* yang luas bahkan dalam motor diesel putaran tinggi motor kecil, akan mengurangi gangguan karena buntunya lubang *nozzle*.

Kebanyakan *nozzle* jenis pin (*pintle type*) adalah berjenis *throttle* yang pada saat permulaan injeksi jumlah bahan bakar yang ditekan ke dalam ruang bakar muka hanya sedikit, tetapi di akhir injeksi jumlah bahan bakar semakin banyak.



PINTLE-TYPE NOZZLE

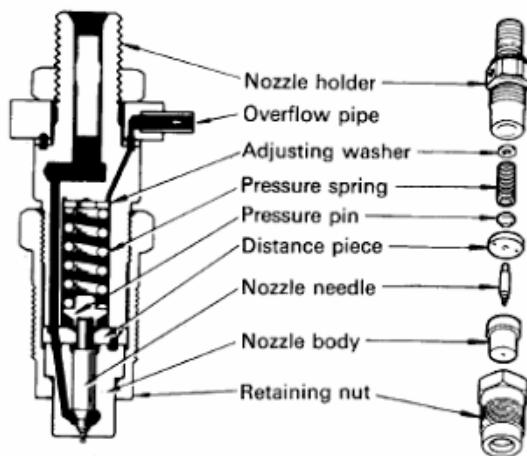


THROTTLE-TYPE NOZZLE

Gambar 20. Nozzle jenis pin (*pintle type*)

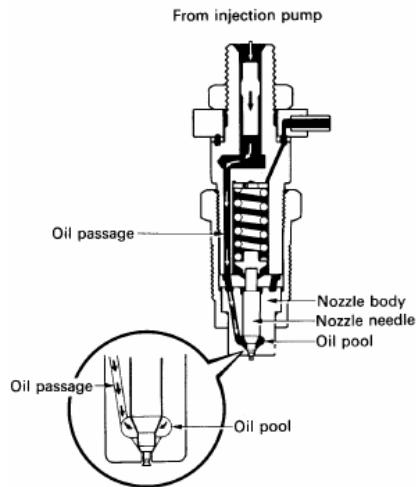
Prinsip kerja *injection nozzle*

Nozzle holder memegang nozzle dengan retaining nut dan distance piece. Nozzle holder terdiri dari adjusting washer yang mengatur kekuatan tekanan pegas untuk menentukan tekanan membukanya katup nozzle. Pada gambar 21 adalah bagian – bagian nozzle.



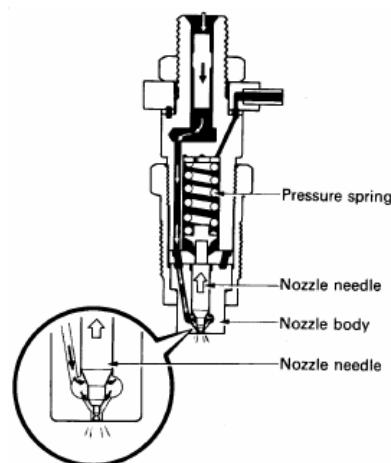
Gambar 21. Bagian-bagian nozzle.

Sebelum penginjeksian, bahan bakar yang bertekanan tinggi mengalir dari pompa injeksi melalui saluran minyak pada *nozzle holder* menuju ke *oil pool* pada bagian bawah *nozzle body*, pada gambar 22.



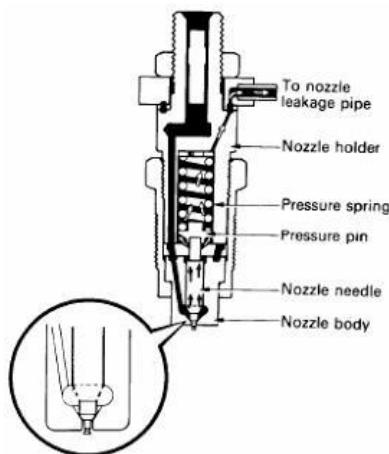
Gambar 22. *Nozzle* sebelum penginjeksian.

Penginjeksian bahan bakar, bila tekanan bahan bakar pada *oil pool* naik. Ini akan menekan permukaan ujung *needle*. Bila tekanan ini melebihi kekuatan pegas, maka *nozzle needle* akan terdorong ke atas oleh tekanan bahan bakar dan *nozzle needle* terlepas dari *nozzle body seat*. Kejadian ini menyebabkan *nozzle* menyemprotkan bahan bakar ke ruang bakar.



Gambar 23. *Nozzle* saat penginjeksian bahan bakar.

Akhir penginjeksian, bila pompa injeksi berhenti mengalirkan bahan bakar, tekanan bahan bakar turun dan tekanan pegas (*pressure spring*) mengembalikan *nozzle needle* ke posisi semula. Pada saat ini *needle* tertekan kuat pada *nozzle body seat* dan menutup saluran bahan bakar. Sebagian bahan bakar tersisa di antara *nozzle needle* dan *nozzle body*, antara *pressure pin* dan *nozzle holder* dan lain- lain. Melumasi semua komponen dan kembali ke *over flow pipe*. *Nozzle needle* dan *nozzle body* membentuk sejenis katup untuk mengatur awal dan akhir injeksi bahan bakar dengan tekanan bahan bakar.



Gambar 24. *Nozzle* akhir penginjeksian.

B. Arduino

Arduino dikatakan sebagai sebuah platform dari physical computing yang bersifat open source. Pertama-tama perlu dipahami bahwa kata “platform” di sini adalah sebuah pilihan kata yang tepat. Arduino tidak hanya sekedar sebuah alat pengembangan, tetapi ia adalah kombinasi dari hardware, bahasa pemrograman dan Integrated Development Environment (IDE) yang canggih.

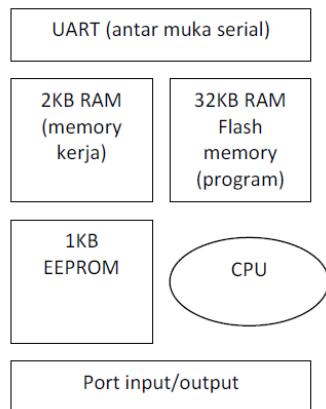
IDE adalah sebuah software yang sangat berperan untuk menulis program, meng-compile menjadi kode biner dan meng-upload ke dalam memory microcontroller. Ada banyak projek dan alat-alat dikembangkan oleh akademisi dan profesional dengan menggunakan Arduino, selain itu juga ada banyak modul-modul pendukung (sensor, tampilan, penggerak dan sebagainya) yang dibuat oleh pihak lain untuk bisa disambungkan dengan Arduino. Arduino berevolusi menjadi sebuah platform karena ia menjadi pilihan dan acuan bagi banyak praktisi. Salah satu yang membuat Arduino memikat hati banyak orang adalah karena sifatnya yang open source, baik untuk hardware maupun software-nya. Diagram rangkaian elektronik Arduino digratiskan kepada semua orang.

Secara umum Arduino terdiri dari dua bagian, yaitu:

1. Hardware – papan input/output (I/O)
2. Software – Software Arduino meliputi IDE untuk menulis program, driver untuk koneksi dengan komputer, contoh program dan library untuk pengembangan program.

Komponen utama di dalam papan Arduino adalah sebuah microcontroller 8 bit dengan merk ATmega yang dibuat oleh perusahaan Atmel Corporation. Berbagai papan Arduino menggunakan tipe ATmega yang berbeda-beda tergantung dari spesifikasinya, sebagai contoh Arduino Uno menggunakan ATmega328 sedangkan Arduino Mega 2560 yang lebih canggih menggunakan ATmega2560. Untuk memberikan gambaran mengenai apa saja yang terdapat di dalam sebuah microcontroller, pada gambar berikut ini diperlihatkan contoh

diagram blok sederhana dari microcontroller ATmega328 (dipakai pada Arduino Uno).



Gambar 25. Diagram blok sederhana microcontroller Atmega328.

Blok-blok di atas dijelaskan sebagai berikut:

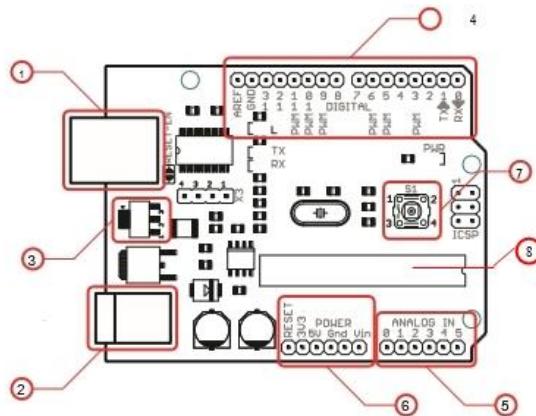
- *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART)* adalah antar muka yang digunakan untuk komunikasi serial seperti pada RS-232, RS-422 dan RS-485.
- 2KB RAM pada memory kerja bersifat *volatile* (hilang saat daya dimatikan), digunakan oleh variable-variabel di dalam program.
- 32KB RAM flash memory bersifat *non-volatile*, digunakan untuk menyimpan program yang dimuat dari komputer. Selain program, flash memory juga menyimpan *bootloader*. Bootloader adalah program inisiasi yang ukurannya kecil, dijalankan oleh CPU saat daya dihidupkan. Setelah bootloader selesai dijalankan, berikutnya program di dalam RAM akan dieksekusi.

_ 1KB EEPROM bersifat non-volatile, digunakan untuk menyimpan data yang tidak boleh hilang saat daya dimatikan. Tidak digunakan pada papan Arduino.

_ *Central Processing Unit (CPU)*, bagian dari microcontroller untuk menjalankan setiap instruksi dari program.

_ Port input/output, pin-pin untuk menerima data (input) digital atau analog, dan mengeluarkan data (output) digital atau analog. Setelah mengenal bagian-bagian utama dari microcontroller ATmega sebagai komponen utama, selanjutnya kita akan mengenal bagian-bagian dari papan Arduino itu sendiri.

Bagian-bagian papan arduino



Gambar 26. Modul Arduino UNO.

Fungsi dari beberapa komponen Arduino Uno yaitu:

1. Konektor USB berfungsi untuk menghubungkan papan Arduino ke komputer. Ketika terhubung, papan Arduino yang didukung kabel USB

dapat meng-upload kode dan dapat berkomunikasi dari komputer ke papan Arduino.

2. Konektor daya digunakan ketika tidak ingin menghubungkan Arduino dengan kabel USB. Sebaliknya dapat menggunakan transformator normal (power adapter) dalam kisaran dari 6V ke 24V. Arduino memiliki on board power regulator yang tidak pernah menghubungkan sumber daya yang lebih besar dari 24V.
3. Saklar daya otomatis berupa jumper plastik yang terletak antara konektor USB dan konektor daya. Jika ingin menghubungkan Arduino dengan USB dapat menempatkan jumper dua pin yang paling dekat dengan konektor USB dan jika ingin sumber daya eksternal dapat menempatkan jumper selama dua pin paling dekat dengan konektor daya.
4. Terdapat 13 pin digital di papan Arduino dan ini dapat digunakan baik sebagai input dan output tergantung pada pengaturan tema dalam program.
5. Pin analog hanya bekerja sebagai masukan tetapi dapat menangani jangkauan yang lebih besar dari informasi yang masuk dalam pin digital
6. Pin daya berada di sebelah kiri pin analog sehingga dapat memberi tegangan baik 3.3V atau 5V.
7. Reset switch berfungsi untuk mengembalikan program apapun pada Arduino untuk memulai dari awal.
8. Prosesor berfungsi sebagai pengendali dari seluruh sistem yang digunakan baik berupasoftware maupun hardware.

C. Test Bench

Merupakan sebuah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kerja sekaligus kalibrasi terhadap pompa mesin diesel. Pengujian dilakukan dengan melakukan metering atau pengukuran terhadap hasil volume penginjeksian bahan bakar. Apabila saat diuji diketahui hasil tidak sesuai dengan spesifikasi dimanual maka perlu dilakukan perbaikan pompa. Pada test bench data yang didapat adalah rpm, volume penginjeksian.



Gambar 27. Test Bench

Test bench yang terdapat di jurusan otomotif adalah test bench dengan merk *Merlin* rakitan England (Inggris), dengan model 8.8 rakitan tahun kurang lebih 1980an atau kurang. Test bench ini membutuhkan daya listrik 220 Volt dengan 3 phase untuk pengoperasianya.



Gambar 28. Spesifikasi Test Bench yang ada di Jurusan

Untuk unit penggerak dari test bench ini menggunakan motor AC yang akan memutar pulley pemutar pompa diesel dan juga memutar pompa hidrolik bahan bakar untuk mengalirkan bahan bakar keseluruh system unit test bench dan pegaturan kecepatan menggunakan jenis motor stepper AC untuk mengatur perbandingan rasio gigi percepatan dengan mengubah jarak sehingga mengubah diameter putar rantai penggerak dan terjadi perubahan kecepatan.



Gambar 29 motor pengatur percepatan

Sistem pada test bench terbagi dalam tiga kelompok yaitu :

1. Sistem elektrik

Sistem elektrik pada test bench berfungsi untuk menyalurkan listrik dan mengendalikan komponen elektrik seperti motor pompa bahan bakar, motor utama, motor stepper, solenoid dan lampu penerangan untuk gelas ukur.

Pada sistem elektrikal test bench terdiri dari tiga panel utama yaitu panel depan, panel belakang dan panel *shot count*. Panel depan terdiri dari saklar pengontrol pompa solar, saklar motor utama, emergency switch, sekring. Sedangkan pada panel belakang berisi konektor kabel yang menghubungkan ke solenoid, adaptor DC, lampu. Sedangkan pada panel

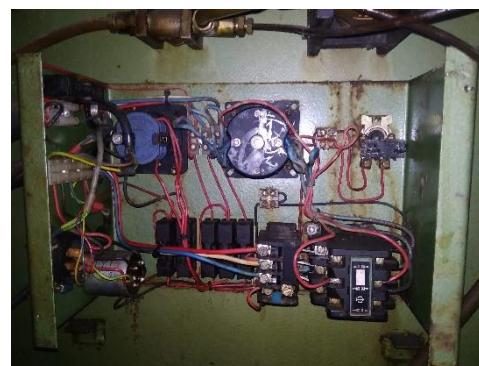
shot count terdiri dari rangkaian elektronika berupa chip untuk mengatur aktif tidaknya solenoid berdasarkan jumlah putaran poros test bench.



Gambar 30. panel shot count



Gambar 31. panel belakang



Gambar 32. Panel depan

2. Sistem mekanik

Sistem mekanik berfungsi untuk menyalurkan putaran dari motor utama ke poros penggerak pompa injeksi diesel yang akan diuji. Selain menyalurkan putaran, sistem mekanik ini juga berfungsi untuk mengatur kecepatan putaran dengan memanfaatkan perbandingan *pulley*.

Sistem mekanik terdiri dari motor penggerak utama yang berfungsi untuk memutar *pulley* yang nantinya akan menggerakkan pompa injeksi yang diuji. Motor penggerak utama ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Daya	4 KW
Kecepatan	1420 Rpm
Tegangan	380 Volt

Selain dengan menggunakan motor utama alat test bench juga menggunakan motor penggerak untuk memompa bahan bakar solar dan motor stepper untuk menggerakkan transmisi. Pada motor penggerak untuk memompa bahan bakar memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Daya	370 W
Kecepatan	1425 Rpm
Tegangan	380/440 Volt



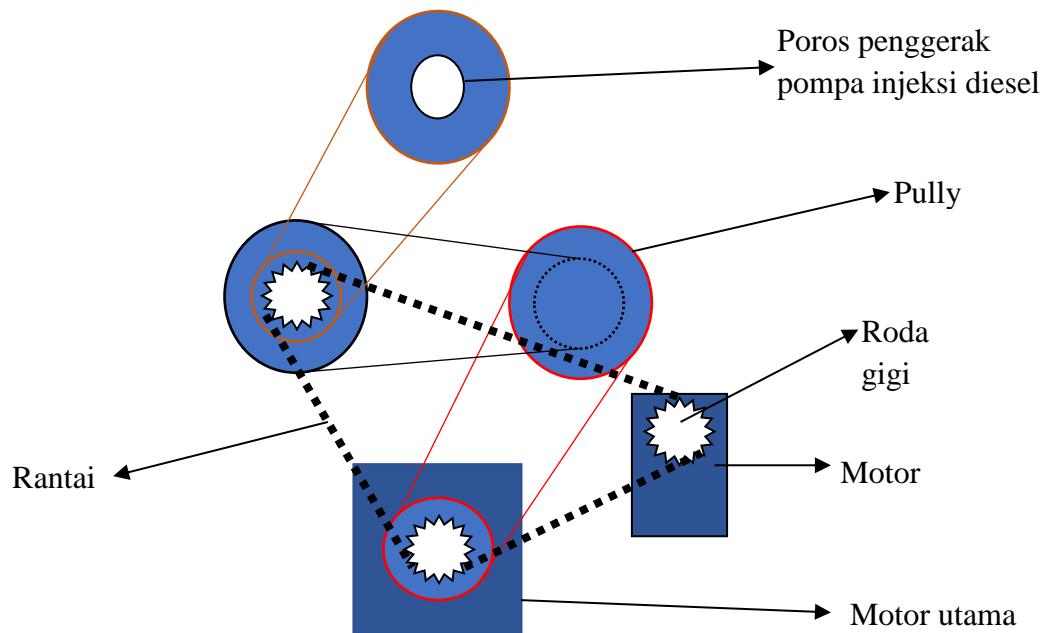
Gambar 33. Motor utama



Gambar 34. Motor bahan bakar



Gambar 35. Motor stepper

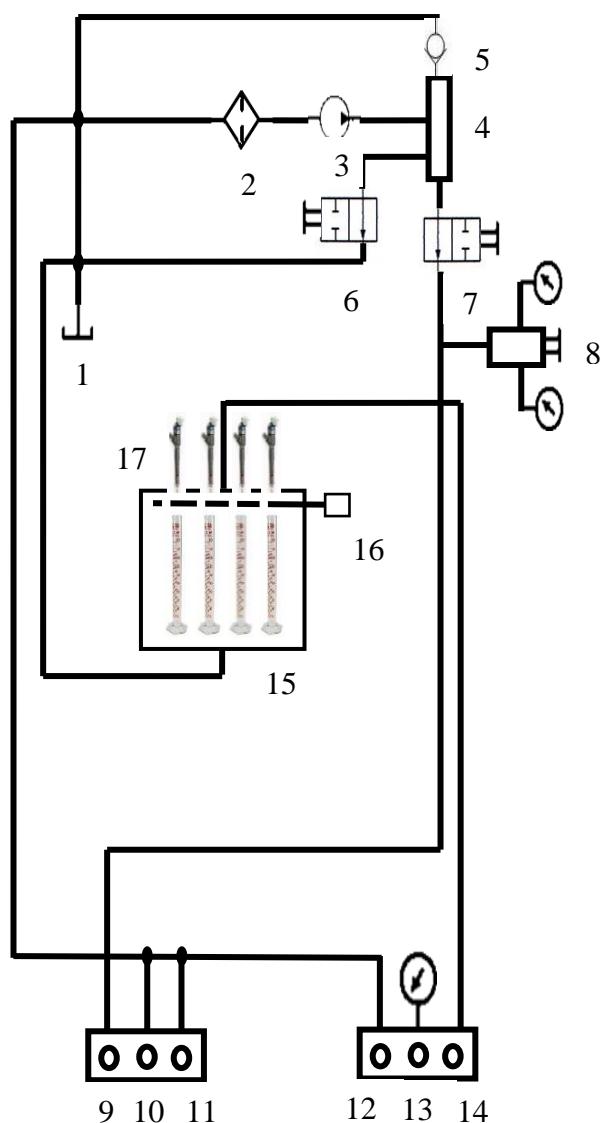


Gambar 36. Mekanisme penggerak

Cara kerja dari sistem mekanik ketika motor utama berputar maka akan menggerakkan rangkaian *pulley*. Diameter *pulley* pada sistem ini dapat berubah-ubah yang disebabkan oleh gerakan dari motor stepper. Dengan berubahnya diaiameter *pulley* ini maka kecepatan putar pada poros penggerak pompa injeksi diesel dapat diatur.

3. Sistem bahan bakar

Sistem bahan bakar pada alat *test bench* berfungsi untuk mengalirkan dan mengatur banyaknya solar ke pompa injeksi diesel yang sedang diuji. Selain menyalurkan ke pompa injeksi yang diuji sistem bahan bakar juga mengatur aliran solar dari pompa injeksi diesel masuk ke gelas ukur. Skema dari aliran bahan bakar adalah sebagai berikut



Gambar 37. Sistem bahan bakar test bench

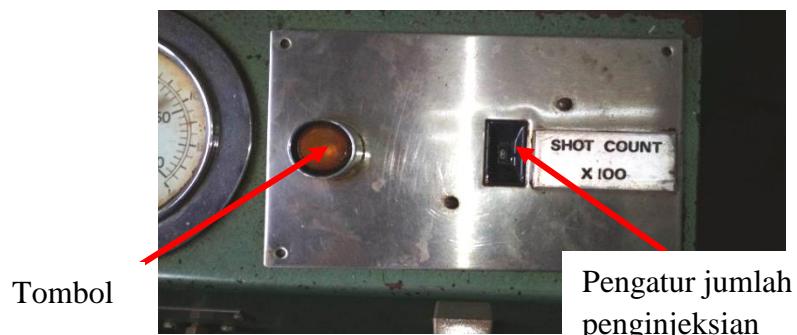
Keterangan :

- | | |
|---|-----------------------|
| 1. Fuel tank | 10. Saluran suction |
| 2. Fuel filter | 11. Saluran return |
| 3. Fuel pump | 12. Saluran return |
| 4. Pipa pembagi | 13. Saluran DPA |
| 5. Check valve | 14. Saluran back leak |
| 6. Katup pressure low graviti / high pasing | 15. Tempat gelas ukur |
| 7. Katup fuel supply ON/OFF | 16. Solenoid |
| 8. Katup low pressure / vacuum gauge isolator | 17. Injektor |
| 9. Saluran pressure | |

Cara kerja dari sistem bahan bakar ketika *fuel pump* berputar maka solar akan terhisap dari *fuel tank* kemudian ke *fuel filter*, *fuel pump* dan menuju pipa pembagi. Pada pipa pembagi solar akan dialirkan ke katup *pressure low graviti/high pasing* yang berfungsi mengatur tekanan solar untuk dialirkan ke pompa injeksi yang sedang diuji. Selain itu, pipa pembagi juga mengalirkan solar ke katup *fuel supply ON/OFF* yang berfungsi untuk mengatur banyaknya solar yang dialirkan ke pompa injeksi diesel. Setelah melewati beberapa katup solar akan keluar melalui saluran *pressure* kemudian menuju pompa injeksi diesel yang sedang diuji.

Pompa injeksi yang sedang diuji berputar dan menginjeksikan solar melalui injektor dan masuk ke gelas ukur. Banyaknya penginjeksian yang masuk ke gelas ukur diatur oleh aktif tidaknya solenoid pada tempat gelas ukur berdasarkan jumlah putaran. Ketika jumlah putaran sudah mencapai

yang diinginkan maka solenoid akan *OFF* dan solar yang diinjeksikan oleh injektor tidak bisa masuk ke gelas ukur. Banyaknya solar yang masuk ke gelas ukur merupakan hasil penginjeksian pompa injeksi sesuai jumlah penginjeksian yang diinginkan. Tombol-tombol pada test bench adalah sebagai berikut



Gambar 38. Panel shot count



Gambar 39. Tombol pada bagian depan test bench