

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Umum Motor Diesel

2.1.1 Sejarah Singkat Motor Diesel

Pada tanggal 10 Agustus 1893 di Jerman Rudolf Diesel mengadakan penelitian, bagaimana agar penggunaan bahan bakar pada suatu mesin menjadi lebih efisien. Dia tahu bahwa mesin-mesin uap yang ada pada zamannya, hanya memiliki tingkat efisiensi sebesar 10-15%. Dia kemudian merancang sebuah mesin dengan bahan bakar yang disemprotkan ke dalam ruang kompresi dimana bahan bakar tersebut akan terbakar akibat panas yang timbul akibat kompresi. Mesin inilah yang kita kenal sekarang dengan mesin diesel.

Impian Diesel untuk menciptakan mesin dengan efisiensi tinggi akhirnya tercapai, karena sumber bahan bakar untuk mesin diesel yang dipakai sekarang dan kita kenal dengan nama 'diesel' adalah minyak sisa dari hasil penyaringan bensin. Setelah kematian Rudolf Diesel, mesin diesel menjadi pengganti mesin uap. Mesin diesel adalah mesin yang berat dan memiliki bentuk yang lebih kaku dan kokoh dari mesin bensin sehingga mesin diesel tidak digunakan untuk mesin pesawat terbang, tetapi mesin diesel berkembang luas sehingga banyak dipakai oleh pabrik, kapal laut, kapal selam, lokomotif dan mobil modern.

Mesin diesel mempunyai keuntungan karena lebih irit bahan bakar daripada mesin dengan bahan bakar bensin. Rudolf Diesel khususnya tertarik untuk menggunakan minyak nabati sebagai bahan bakar, dan kenyataannya, mesin yang dirancangnya memang dapat berjalan dengan menggunakan minyak nabati. Puncak prestasinya pada tahun 1910 ketika ia tampil di pekan raya Paris dengan rancang bangun mesin diesel yang digerakkan dengan bahan bakar minyak nabati.

Dua tahun kemudian 1912 ketika berpidato menerima hak paten atas mesin barunya tersebut, dunia mencatat pernyataannya yang paling bersejarah tentang masa depan mesin yang dijalankan dengan bahan bakar minyak nabati yang sekarang dikenal sebagai biodiesel. Pemakaian minyak nabati sebagai bahan bakar untuk saat ini sepertinya kurang berarti, tetapi pada saatnya nanti akan menjadi penting, sebagaimana

minyak bumi dan batubara saat sekarang. Mesin biodiesel itu disempurnakan lagi oleh Ludwig Elsbett.

Pada tahun 1924, Robert Bosch seorang insinyur dari Jerman, mencoba mengembangkan pompa injeksi menggunakan metode tekanan udara yang akhirnya berhasil menyempurnakan ide dari Rudolf Diesel. Keberhasilan Robert Bosch dengan mesin dieselnnya tersebut sampai saat ini digunakan oleh masyarakat.

2.1.2 Pengertian Motor Diesel

Motor diesel biasanya disebut dengan motor penyalaan kompresi (*Compression Ignition Engine*), karena cara penyalaan bahan bakarnya menggunakan udara kompresi.

Motor bakar ada dua macam yaitu motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) dan motor pembakar luar (*external combustion engine*) adalah motor diesel, motor bensin dan lainnya.

Motor diesel tidak berbeda jauh dengan mesin bensin. Beberapa bagian komponennya mempunyai fungsi yang sama dengan mesin bensin. Perbedaan utamanya pada proses atau silus kerja. Mesin diesel tidak menggunakan pengapian untuk memulai pembakaran. Bahan bakar di injeksikan ke dalam ruang bakar pada akhir langkah kompresi. Sebelumnya udara yang diisap telah dikompresi dalam ruang bakar sampai tekanan dan temperatur menjadi naik mencapai 900 – 1000 °C. Naiknya tekanan dan temperatur mengakibatkan bahan bakar menyala dan terbakar sendiri. Untuk memperoleh tekanan kompresi yang tinggi saat putaran mesin rendah, banyaknya udara yang masuk kedalam silinder harus besar tanpa menggunakan throttle valve untuk membatasi aliran dari udara yang dihisap. Dengan demikian dalam sebuah mesin diesel, output mesinnya dikontrol oleh pengontrol banyaknya bahan bakar yang diinjeksikan.

Menjelang akhir langkah kompresi, bahan bakar (solar) disemprotkan ke udara yang sangat panas tersebut. Akibatnya bahan bakar tersebut langsung terbakar, karena titik nyala solar 400 °C. Dengan demikian untuk menyemprotkan solar ke ruang bakar diperlukan tekanan yang jauh lebih tinggi. Hal ini menyebabkan sistem pasokan bahan bakarnya lebih rumit dari pada bensin.

2.1.3 Klasifikasi Motor Diesel

1. Ditinjau dari proses kerja dibedakan
 - Motor diesel 2 tak, dimana dalam siklus 1 kerja dibutuhkan 1 kali putaran poros engkol.
 - Motor diesel 4 tak, dimana dalam 1 siklus kerja dibutuhkan 2 kali putaran poros engkol.
2. Ditinjau dari jumlah silinder
 - Motor dengan silinder tunggal (*single cylinder*).
 - Motor dengan silinder banyak (*multy cylinder*).
3. Ditinjau dari posisi silinder
 - Motor dengan silinder sebaris (*in line*) *vertikal* maupun *horizontal*.
 - Motor silinder menyudut (bentuk V).
 - Motor dengan silinder berlawanan.
 - Motor dengan silinder berhadapan.
4. Ditinjau dari besar putaran dibedakan
 - Motor putaran rendah (*low speed*) 100-400 rpm.
 - Motor putaran sedang (*medium speed*) 400-1000 rpm.
 - Motor putaran tinggi (*hight speed*) lebih dari 1000 rpm.
5. Ditinjau dari pemasukan udara kedalam silinder
 - Pemasukan udara biasa (*konvesional*).
 - Pemasukan udara paksa (*super charge/turbo charger*).
6. Ditinjau pengabutan bahan bakar dibedakan
 - Pengabutan tekan.
 - Pengabutan gas.
 - Pengabutan udara.
7. Ditinjau dari ruang bakar
 - Ruang bakar terbuka (*pengabutan langsung*).
 - Ruang bakar kamar muka (*precobution chamber*).
 - Ruang bakar pusaran (*turbulence chamber*).
 - Ruang bakar sel udara (*air cell combustion chamber*).

- Ruang bakar sel tenaga (energy cell combustion chamber).
8. Ditinjau dari sistem pendingin
 - Pendinginan udara (air cooler).
 - Pendinginan air (water cooler).
 9. Ditinjau dari sistem start dibedakan
 - Start sistem mekanik (engkol,tali).
 - Start sistem motor listrik.
 - Start sistem tekanan udara compressor.
 10. Ditinjau dari penggunaannya dibedakan
 - Motor diesel stasioner (penggerak pompa,generator listrik penerangan/las dan sebagainya).
 - Motor diesel portabel (penggerak mobil,kapal kereta api dan sebagainya).

2.1.4 Keuntungan dan Kerugian Motor Diesel

Keuntungan mesin diesel dibandingkan dengan motor bensin secara umum :

- 1) Mesin diesel mempunyai efisiensi panas yang besar,hal ini berarti bahwa penggunaan bahan bakarnya lebih ekonomis dari pada motor bensin.
- 2) Mesin diesel tahan lama dan tidak memerlukan penyalaan elektrik (elektrik igniter) untuk membantu pembakaran sehingga lebih kecil dari pada motor bensin.

Kerugian motor diesel dibandingkan dengan motor bensin secara umum :

- 1) Tekanan pembakaran maksimum hampir dua kali motor bensin 25Kg/cm^2 s/d 32 Kg/cm^2 (Daryanto 1995),hal ini menyebabkan getaran dan suara motor diesel lebih besar.
- 2) Tekanan pembakaran yang lebih tinggi,maka motor diesel harus dibuat dari bahan yang tahan tekanan tinggi dan struktur bahan yang lebih kuat,hal ini menyebabkan getaran dan struktur bahan yang lebih kuat,hal ini menyebabkan pembuatannya menjadi lebih mahal dibandingkan dengan motor bensin.

- 3) Motor bensin memerlukan sistem injeksi bahan bakar yang presisi yang menyebabkan harganya mahal dan memerlukan perawatan serta pemeliharaan yang cermat dibandingkan dengan motor bensin.
- 4) Kecepatannya lebih rendah dibandingkan dengan motor bensin.

2.2 Sistem Bahan Bakar Diesel

Pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar, disertai timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor. Pembakaran spontan adalah pembakaran dimana bahan mengalami oksidasi perlahan-lahan sehingga kalor yang dihasilkan tidak dilepaskan, akan tetapi untuk menaikkan suhu bahan secara perlahan sampai mencapai suhu nyala. Pembakaran sempurna adalah pembakaran dimana semua konsisten yang dapat terbakar di dalam bahan bakar membentuk gas CO_2 , air (H_2O), dan gas SO_2 , sehingga tak ada lagi bahan yang dapat terbakar tersisa. Periode proses pembakaran pada mesin diesel 4tak dapat diuraikan sebagai berikut :

a. Langkah hisap

Pada langkah hisap, udara dimasukkan ke dalam silinder. Torak (piston) membentuk kevakuman di dalam silinder seperti pada motor bensin. Torak bergerak dari TMA ke TMB dan langkah ini hanya katup hisap yang terbuka dan memungkinkan udara masuk ke dalam silinder dan katup tertutup selama langkah hisap ini.

b. Langkah kompresi

Pada langkah kompresi, torak (piston) bergerak dari titik mati bawah menuju titik mati atas dan pada saat langkah kompresi ini kedua katup dalam keadaan tertutup. Udara yang dihisap selama langkah hisap ditekan sampai tekanannya naik dengan temperatur sekitar $500\text{ }^\circ\text{C}$ sampai $800\text{ }^\circ\text{C}$.

c. Langkah pembakaran

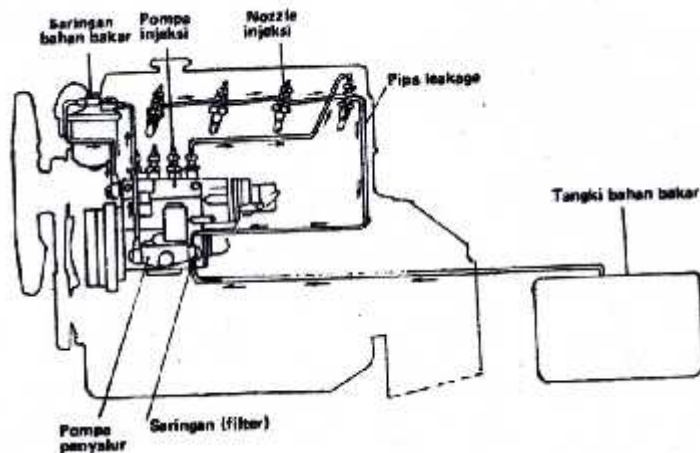
Pada langkah pembakaran, udara yang terdapat di dalam silinder didorong oleh torak (piston) ke dalam ruang bakar yang terdapat di bagian atas masing-masing silinder, pada saat akhir langkah pembakaran *nozzle* menyemburkan bahan bakar dan kemudian campuran bahan bakar dan udara selanjutnya terbakar oleh panas yang dibangkitkan oleh tekanan energi pembakaran mengembang gas dengan sangat cepat dan torak (piston) terdorong ke

bawah. Gaya yang mendorong torak (piston) ke bawah diteruskan ke batang torak (connecting road) kemudian diteruskan ke poros engkol (crankshaft) dan mengubah dari gerak translasi lurus bolak-balik menjadi gerak putar (rotasi) untuk memberi tenaga pada mesin.

d. Langkah buang

Pada langkah buang, torak (piston) dari titik mati bawah menuju titik mati atas. Pada langkah buang ini hanya katup buang yang terbuka dan gas pembakaran dikeluarkan melalui katup buang. Gas akan terbuang habis pada saat torak (piston) mencapai titik mati atas, setelah proses langkah buang dimulai langkah hisap, begitu seterusnya. Proses ini terjadi berulang-ulang. Selama mesin menyelesaikan empat langkah (langkah hisap, kompresi, pembakaran, buang) poros engkol (crankshaft) berputar dua kali dan menghasilkan satu kali pembakaran (tenaga), atau juga disebut motor diesel empat langkah.

Sistem bahan bakar pada mesin diesel mempunyai komponen-komponen seperti terlihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.1 Rangkaian sistem injeksi bahan bakar diesel

a. Tangki bahan bakar (*fuel tank*)

Tangki bahan bakar berfungsi menyimpan atau menampung bahan bakar. Tangki bahan bakar dibuat dengan berbagai ukuran dan bentuk, tiap ukuran dan bentuk tangki tersebut dirancang untuk maksud dan tujuan tertentu.

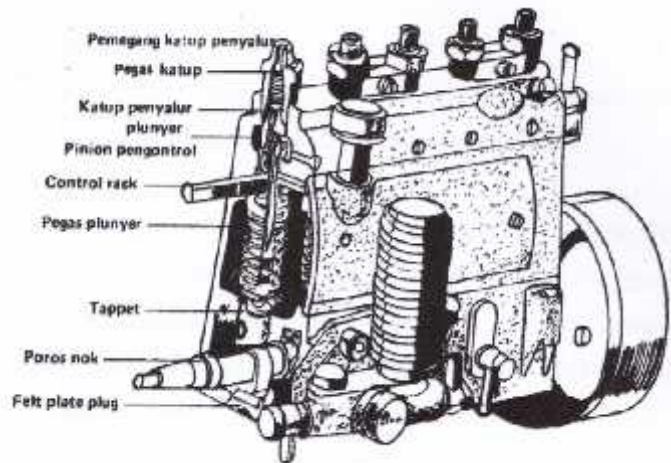
- b. Saringan bahan bakar (*fuel tangki*)
Saringan bahan bakar berfungsi untuk membersihkan bahan bakar dari partikel-partikel kotoran atau air. Untuk memisahkan air dari bahan bakar digunakan juga *water sedimenter* yang bekerja atas sifat gravitasi air sendiri yang lebih besar daripada bahan bakarnya.
- c. Pompa penyalur (*feed pump*)
Pompa penyalur berfungsi menghisap bahan bakar dari tangki dan diteruskan ke inlet pompa injeksi yang sebelumnya melewati *fuel filter*.
- d. Pompa injeksi (*injection pump*)
Pompa injeksi merupakan salah satu komponen utama sistem bahan bakar motor diesel yang berfungsi untuk memberikan tekanan tinggi pada bahan bakar untuk dimasukkan kedalam silinder melalui injektor dalam bentuk kabut.
- e. Pipa-pipa injeksi (*fuel injection lines*)
Pipa injeksi berfungsi sebagai penyalur bahan bakar dari pompa injeksi ke injektor.
- f. Injektor (*fuel injector*)
Injektor berfungsi untuk menghantar bahan bakar diesel dari pompa injeksi ke dalam silinder pada setiap akhir langkah kompresi dimana torak (piston) mendekati posisi TMA.
- g. Pipa-pipa pengembali bahan bakar (*fuel return lines*)
Pipa-pipa pengembali bahan bakar berfungsi untuk mengembalikan kelebihan suplai bahan bakar pada pompa injeksi.
- h. Busi pemanas
Busi pemanas berfungsi sebagai pemanas awal udara apabila mesin diesel dihidupkan dalam keadaan dingin, sehingga ruang bakarnya masih dalam keadaan dingin. Hal ini mengakibatkan tekanan udara dan suhu udara dalam kondisi yang kurang optimal untuk membakar bahan bakar sehingga mesin sukar dihidupkan. Problem ini sering terjadi pada mesin-mesin diesel yang dilengkapi dengan ruang tambahan (*auxiliary chamber*), hal ini disebabkan luas areal ruang bakar yang besar. Dengan alasan ini, diperlukan busi pijar pada ruang bakar mesin diesel tipe ruang tambahan.

2.3 Pompa Injeksi Bahan Bakar

Pompa injeksi adalah salah satu komponen vital dari mesin diesel yang berfungsi untuk mengatur jumlah dan menaikkan tekanan bahan bakar yang disalurkan ke injektor yang disesuaikan dengan kebutuhan dari kerja mesin itu sendiri.

2.3.1 Bagian-Bagian Pompa Injeksi

Pompa injeksi mempunyai bagian-bagian sebagai berikut:



Gambar 2.2 Pompa injeksi sebaris tipe bosch (PE)

a. Pemegang katup penyalur

Pemegang katup penyalur berfungsi sebagai dukungan dari pegas katup dan sebagai saluran keluar bahan bakar yang ditekan.

b. Pegas katup

Pegas katup berfungsi untuk mengembalikan katup penyalur ke posisi semula.

c. Katup penyalur (*delivery valve*)

Katup penyalur (*delivery valve*) berfungsi ganda, yaitu selain mencegah bahan bakar dalam pipa tekanan tinggi mengalir kembali ke plunyer juga berfungsi menghisap bahan bakar ruang injektor setelah penyemprotan.

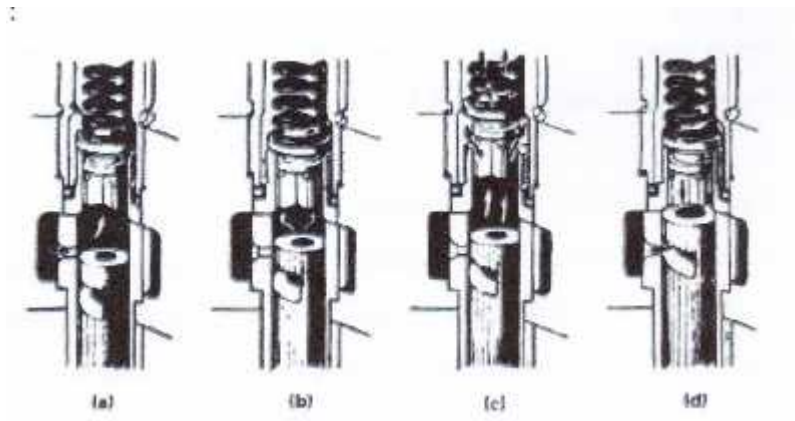
d. Plunyer

Plunyer berfungsi sebagai pengatur jumlah bahan bakar yang disalurkan untuk setiap silinder.

- e. Pinion pengontrol
Pinion pengontrol terhubung dengan *control rack* yang berfungsi untuk mengatur jumlah bahan bakar yang dikompresikan oleh plunyer.
- f. Control rack
Control rack bergerak maju mundur berfungsi untuk menggeser pinion pengontrol.
- g. Pegas plunyer
Pegas plunyer berfungsi untuk mengembalikan plunyer ke posisi semula ketika poros nok pada posisi tidak menekan.
- h. Tappet
Tappet berfungsi sebagai penerus gaya dari poros nok, gerak naik turun tappet tersebut diteruskan oleh batang pendorong (*push-rod*) ke tuas penekan katup (*rocker-arm*) sehingga menekan (katup terbuka) dan membebaskan katup (katup tertutup) secara bergantian mengikuti putaran poros nok yang lonjong (eksentrik).
- i. Poros nok
Poros nok berfungsi menggerakkan poros eksentrik untuk pompa injeksi dan sebagaiudukan nok, dimana nok tersebut yang akan menggerakkan batang penumbuk (*push rod*) melalui rol (*tappet roller*).

2.3.2 Prinsip Kerja Pompa Injeksi

Prinsip kerja pompa injeksi dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.3 Cara kerja elemen pompa injeksi sebaris

1. Pada saat plunyer berada pada titik terbawah (TMB), bahan bakar bertekanan rendah mengalir melalui lubang masuk (*feed hole*) pada silinder ke ruang penyalur (*delivery chamber*) di atas plunyer.
2. Pada saat poros pada pompa injeksi berputar dan menyetuh 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 injektor.
3. Plunyer tetap bergerak ke atas, tetapi ada saat bibir atas *control groove* bertemu dengan bibir bawah lubang masuk, maka penyaluran bahan bakar 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.

Pengontrolan jumlah bahan bakar yang disalurkan seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.4 Pengontrolan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan

Pada gambar di atas menunjukkan hubungan antara posisi pemutaran plunyer dengan jumlah bahan bakar yang disemprotkan. Disini panjang langkah dari plunyer adalah tidak berubah atau konstan. Tetapi dengan putarannya plunyer penyemprotan berubah-ubah, hal ini terpengaruh oleh reaksi kerja dari governor.

Tinggi pengangkatan nok adalah 8 mm, sehingga gerakan plunyer naik turun sebesar 8 mm. Pada saat plunyer pada posisi terbawah, plunyer menutup lubang masuk kira-kira 1,1 mm dari besar diameter lubang masuk sebesar 3 mm.

Dengan demikian plunyer baru akan menekan setelah bergerak ke atas kira-kira 1,9 mm. Langkah ini disebut “prestroke” dan pengaturannya dapat dilakukan dengan menyetel baut pada tappet roller. Prestroke ini berkaitan dengan saat injeksi (*injection timing*) bahan bakar keluar pompa. Jumlah pengiriman bahan bakar dari pompa diatur oleh governor (regulator) sesuai dengan kebutuhan mesin.

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.

2.4 Tinjauan Umum Test Bench

Pompa injeksi adalah bagian terpenting yang mempengaruhi performa dari mesin diesel, oleh karena itu pompa injeksi harus secara rutin dikalibrasi agar performa mesin tetap terjaga dalam kondisi yang tetap prima. Umumnya pengkalibrasian pompa injeksi dilakukan setelah pemakaian 50.000 km sampai 100.000 km, sedangkan untuk pengkalibrasian tersebut biasanya digunakan alat yang dinamakan test bench. Pada dasarnya alat tersebut bekerja secara sederhana yaitu hanya bertujuan untuk membaca pengeluaran atau penyemprotan solar dari pompa injeksi yang disemprotkan melalui injektor ke ruang bakar. Dengan alat tersebut kita dapat membaca debit aliran bahan bakar pada masing-masing injektor, dan apabila debit aliran tiap injektor tidak sama maka dapat dilakukan pengkalibrasian agar menjadi sama untuk setiap putarannya.