

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Dasar Mesin Diesel

Salah satu penggerak mula yang banyak dipakai adalah mesin kalor, yaitu mesin yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik atau yang mengubah energi termal menjadi energi mekanik. Energi itu sendiri dapat diperoleh dengan proses pembakaran, proses fisi bahan bakar nuklir atau proses-proses yang lain. Ditinjau dari cara memperoleh energi termal ini, mesin kalor dibagi menjadi dua golongan yaitu mesin pembakaran luar dan mesin pembakaran dalam.

Pada mesin pembakaran luar, proses pembakarannya terjadi diluar mesin dimana energi termal dari gas hasil pembakaran dipindah ke fluida kerja mesin melalui beberapa dinding pemisah. Sedangkan, pada mesin pembakaran dalam atau dikenal dengan motor bakar, proses pembakaran terjadi di dalam motor bakar itu sendiri. Sehingga, gas pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja.

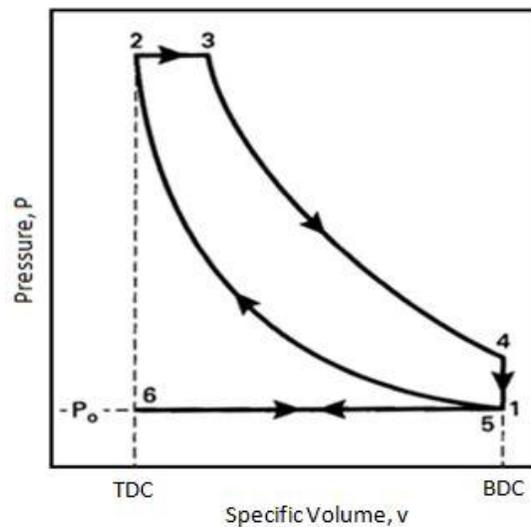
Motor diesel disebut juga motor bakar atau mesin pembakaran dalam karena pengubahan tenaga kimia bahan bakar menjadi tenaga mekanik dilaksanakan di dalam mesin itu sendiri. Di dalam motor diesel terdapat torak yang bergerak bolak-balik (translasi). Di dalam silinder itu terjadi pembakaran antara bahan bakar solar dengan oksigen yang berasal dari udara. Gas yang dihasilkan oleh proses pembakaran mampu menggerakkan torak yang dihubungkan dengan poros engkol oleh batang penggerak. Gerak translasi yang terjadi pada torak menyebabkan gerak rotasi pada poros engkol dan sebaliknya gerak rotasi tersebut mengakibatkan gerak bolak-balik torak.

Konsep pembakaran pada motor diesel adalah melalui proses penyalaan kompresi udara pada tekanan tinggi. Pembakaran ini dapat terjadi karena udara dikompresi pada ruangan dengan perbandingan kompresi jauh lebih besar daripada motor bensin (7-12) yaitu antara (14-22). Akibatnya udara akan mempunyai tekanan dan temperatur melebihi suhu dan tekanan penyalaan bahan bakar.

Hal ini berbeda untuk percikan pengapian mesin seperti mesin bensin yang menggunakan busi untuk menyalakan campuran bahan bakar udara. Mesin dan siklus termodinamika keduanya dikembangkan oleh Rudolph Diesel pada tahun 1892.

2.2 Siklus Diesel (Tekanan Tetap)

Siklus diesel adalah siklus teoritis untuk *compression-ignition engine* atau mesin diesel. Siklus diesel penambahan panas pada tekanannya tetap. Karena alasan ini siklus diesel kadang disebut siklus tekanan tetap. Dalam diagram P-V siklus diesel dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1 Siklus Diesel Diagram P-V

Proses dari siklus tersebut yaitu :

6-1 = Langkah Hisap pada $P = c$ (isobarik)

1-2 = Langkah Kompresi, P bertambah, $Q = c$ (isentropik/reversibel adiabatik)

2-3 = Pembakaran, pada tekanan tetap (isobarik)

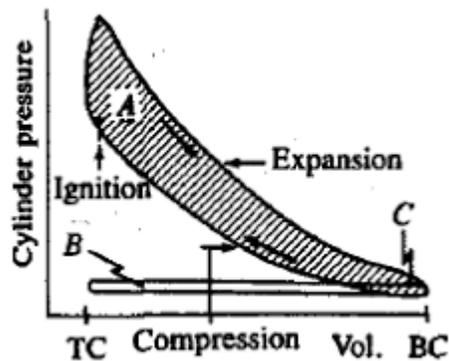
3-4 = Langkah Kerja P bertambah, $V = c$ (isentropik/reversibel adiabatik)

4-5 = Pengeluaran Kalor sisa pada $V = c$ (isokhorik)

5-6 = Langkah buang pada $P = c$

2.3 Siklus Aktual Motor Diesel

Dalam siklus diesel, kerugian-kerugian lebih rendah daripada yang terjadi pada siklus otto. Kerugian utama adalah karena pembakaran tidak sempurna dan penyebab utama perbedaan antara siklus teoritis dan siklus mesin diesel. Dalam siklus teoritis pembakaran diharapkan selesai pada akhir pembakaran tekanan tetap, tetapi aktualnya *after burning* berlanjut sampai setengah langkah ekspansi. Perbandingan efisiensi antara siklus aktual dan teoritis adalah sekitar 0,85.



Gambar 2.2 Siklus Aktual Motor Diesel 4 Langkah

2.4 Sistem Pembakaran Mesin Diesel

Menurut Samlawi (2015), faktor yang menentukan kualitas pembakaran, yaitu :

1. Kadar oksigen
2. Tekanan udara yang dikompresi
3. Suhu/panas udara yang dikompresi
4. *Timing* pembakaran
5. Tekanan pengkabutan bahan bakar pada *injector*
6. Kualitas bahan bakar
7. Jumlah (volume)

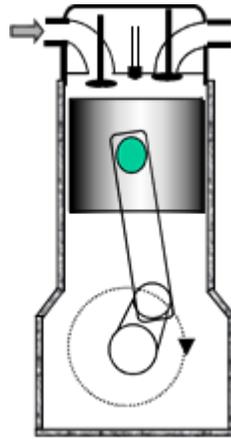
Bahan bakar yang diinjeksikan hasil dari pembakaran mesin diesel ditentukan oleh bakar bahas (HSD), *oxygen* dan kompresi yang tinggi. Namun suatu hal yang tidak kalah pentingnya adalah saat yang tepat menyempotkan bahan bakar tadi, ini

yang kita sebut dengan saat penyemprotan (*injection timing*). Bila saat penyemprotan tak tepat maka tidak mungkin kita bisa mendapatkan daya optimal sebaliknya. Apabila saat penyemprotan disetel tepat berarti mesin diesel tersebut akan mencapai daya yang optimal, tercapai efisiensi bahan bakar, kondisi mesin normal dan awet sehingga akan memperpanjang umur mesin dan menekan biaya pemeliharaan. Jadi mengenai penyemprotan bahan bakar itu diatur sesuai dengan derajat poros engkol. Masing-masing tipe mesin diesel berbeda berdasarkan pabrik pembuat dan disesuaikan dengan kapasitas masing-masing mesin berdasar urutan pengapiannya (*firing order*). Penyemprotan bahan bakar dapat dilakukan pada saat tekanan kompresi, katup masuk dan katup buang pada posisi tertutup, ruang bakar mencapai temperatur nyala, volume didalam silinder menurun tekanan dan temperatur udara naik. Pada akhir langkah 20 kompresi pada mesin diesel tekanan udara di dalam silinder mencapai ± 30 bar dan temperatur mencapai $\pm 550^{\circ}\text{C}$. Selama langkah kompresi piston bertugas menahan udara di dalam silinder (ruang bakar) dan pada roda gila dapat terlihat berapa derajat poros engkol terbaca. Misalnya, 22° sebelum mencapai titik mati atas (TMA) untuk mesin diesel pompa injeksi bahan bakar akan bekerja menekan bahan bakar ke dalam silinder dan terus akan mencapai kenaikan temperatur titik nyala. Poros engkol terus berputar selama penyemprotan berlangsung. Selama penyemprotan tekanan maximum didalam silinder naik ± 75 bar dan temperatur pembakaran bisa meningkat mencapai 1500°C atau lebih.

Dan poros engkol terus berputar selama penyemprotan berlangsung. Pemahaman yang lebih baik tentang apa yang terjadi dalam silinder mesin diesel selama periode pembakaran dapat diperoleh dengan cara penyajian secara grafik, seperti pada gambar. Perubahan tekanan ditunjukkan pada garis ordinat dan waktu ditunjukkan sebagai aksisnya. Gambar di atas menunjukkan perubahan tekanan selama 180° yaitu dari 90° sebelum TMA sampai 90° sesudah TMA. Kurva titik-titik yang simetris pada sisi kanan menunjukkan ekspansi pengisian udara tanpa adanya bahan bakar. Setelah bahan bakar diinjeksikan dan terjadi pembakaran, maka prosesnya akan terjadi 4 periode yang terpisah. Secara singkat prinsip kerja motor diesel 4 adalah sebagai berikut:

1. Langkah Pengisian (hisap)

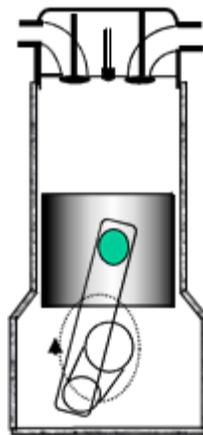
Piston bergerak dari TMA ke TMB. Katup hisap terbuka dan katup buang tertutup, karena *piston* bergerak kebawah makan tekanan di dalam silinder menjadi *vacum* (di bawah satu atmosfer) sehingga udara murni masuk ke dalam silinder.



Gambar 2.3 Langkah Hisap

2. Langkah Kompresi

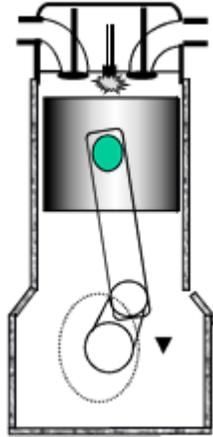
Piston bergerak dari TMB ke TMA. Katup hisap tertutup dan katup buang tertutup, udara di dalam silinder didorong (ditekan) sehingga timbul panas dan tekanan yang tinggi. Akhir kompresi bahan bakar dikabutkan (disemprotkan dengan tekanan yang sangat tinggi melalui lubang yang sangat kecil) sehingga terjadi pembakaran berupa ledakan.



Gambar 2.4 Langkah Kompresi

3. Langkah Usaha

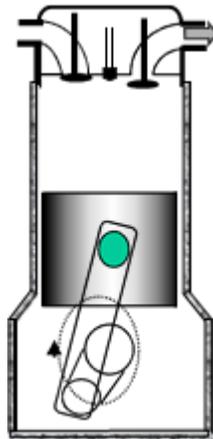
Pembakaran menghasilkan tekanan yang tinggi dalam ruang bakar, tekanan ini mendorong *piston* dari TMA menuju TMB untuk melakukan usaha.



Gambar 2.5 Langkah Usaha

4. Langkah Pembuangan

Akhir langkah usaha katup buang terbuka, sehingga gas buang keluar melalui katup tersebut, karena didorong oleh *piston* bergerak dari TMB menuju TMA.

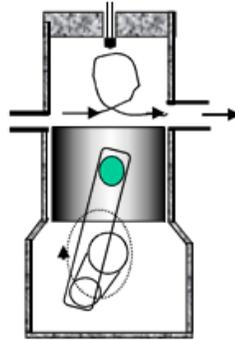


Gambar 2.6 Langkah Pembuangan

Mesin diesel 2 langkah :

1. Langkah Pengisian dan Kompresi

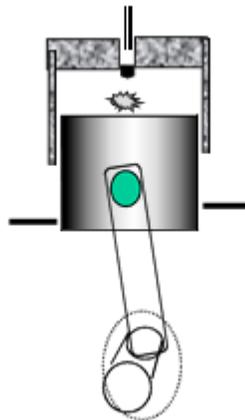
Piston bergerak dari TMA menuju TMB, udara pengisian masuk melalui lubang isap, kemudian disusul dengan kompresi, akhir kompresi bahan bakar diinjeksikan ke ruang bakar sehingga terjadi pembakaran.



Gambar 2.7 Langkah Pengisian dan Pembuangan

2. Langkah Usaha dan Pembuangan

Akibat adanya pembakaran dalam ruang bakar, tekanan yang tinggi mendorong *piston* dari TMA menuju TMB melakukan usaha disusul dengan pembuangan.



Gambar 2.8 Langkah Usaha dan Pembuangan

2.5 Perbedaan Mesin Bensin dan Mesin Solar (Diesel)

2.5.1 Mesin Bensin

Menurut Rosid (2016), salah satu *latest innovation* dalam hal *combustion* mesin bensin adalah teknologi sistem *port injection*, dimana bahan bakar disemprotkan pada *intake manifold*. Melalui inovasi yang mampu memberikan *injection* bahan bakar dan udara campuran. Karakter ini memiliki potensi yang besar untuk mengoptimalkan pemasukan bahan bakar, dalam menghasilkan pembakaran yang lebih baik pada pemakaian bahan bakar yang lebih hemat. Pengembangan teknologi sangat cepat melalui penemuan metode untuk memasukkan bahan bakar secara efektif dilakukan melalui injektor, yang mampu mereduksi kekurangan-kekurangan pada kinerja *engine*

motor otto yang telah ada. *Injection* merupakan suatu sistem yang memungkinkan kendali yang tepat terhadap campuran bahan bakar dan udara untuk waktu pengapian yang spesifik.

Motor otto dengan sistem *spark ignition* menggunakan bantuan bunga api untuk menyalaikan atau membakar campuran bahan bakar udara. Bunga api yang digunakan berasal dari busi. Busi akan menyala saat campuran bahan bakar udara mencapai rasio kompresi, temperatur dan tekanan tertentu sehingga akan terjadi reaksi pembakaran yang menghasilkan tenaga untuk mendorong torak bergerak bolak-balik. Siklus langkah kerja yang terjadi pada mesin jenis ini dinamakan siklus otto dengan mempergunakan bahan bakar bensin. Selama proses kompresi dan ekspansi tidak terjadi pertukaran panas, oleh karena itu selisih panas yang masuk dengan panas yang keluar merupakan usaha yang dihasilkan tiap siklus.

2.5.2 Mesin Diesel

Menurut Samlawi (2015), mesin diesel adalah motor bakar dengan proses pembakaran yang terjadi di dalam mesin itu sendiri (*interna combustion engine*) dan pembakaran terjadi karena udara murni dimampatkan (dikompresi) dalam suatu ruang bakar (silinder) sehingga diperoleh udara bertekanan tinggi serta panas yang tinggi, bersamaan dengan itu disemprotkan/dikabutkan bahan bakar sehingga terjadilah pembakaran. Pembakaran yang berupa ledakan akan menghasilkan panas mendadak naik dan tekanan menjadi tinggi didalam ruang bakar. Tekanan ini mendorong *piston* kebawah yang berlanjut dengan poros engkol berputar.

2.5.3 Perbedaan Motor Diesel dan Motor Bensin

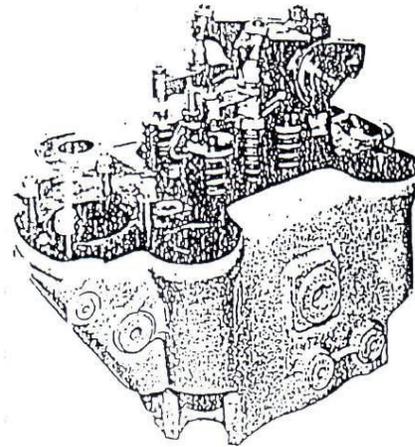
Tabel 2.1
Perbedaan Motor Diesel dan Motor Bensin

Item	Motor Diesel	Motor Bensin
Siklus pembakaran	Siklus Sabathe	Siklus Otto
Rasio kompresi	15-22	6-12
Ruang bakar	Rumit	Sederhana
Percampuran bahan bakar	Diinjeksikan pada akhir langkah	Dicampur dalam karburator
Metode penyalaan	Terbakar sendiri	Percikan busi
Bahan bakar	Solar	Bensin

Getaran	Besar	Kecil
Efisiensi panas (%)	30-40	22-30

2.6 Bagian-bagian Utama Mesin Diesel

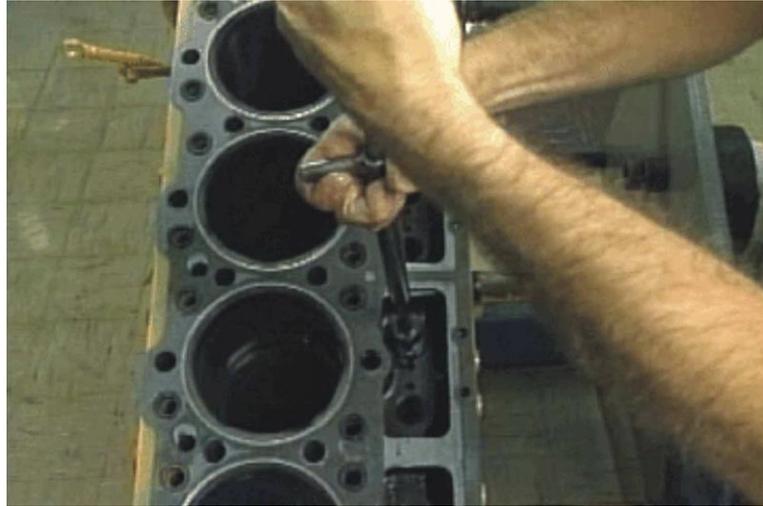
2.6.1 *Cylinder Head* dan *Cylinder Block*



Gambar 2.9 *Cylinder Head*

Fungsi :

1. Menutup bagian atas silinder
2. Tempat meletakkan peralatan :
 - Katup hisap dan buang
 - Injektor
 - *Rocker Arm*
 - Ruang bakar mula
3. Untuk pendinginan.



Gambar 2.10 Cylinder Block

Fungsi :

1. Rumah untuk *piston*
2. Ruang untuk pembakaran
3. Meneruskan panas keluar dari *piston*

2.6.2 Cylinder Liner

Cylinder liner berfungsi membentuk selubung air yang membatasi air pendingin dengan *piston*. Terdapat dua jenis *cylinder liner* : *wet type cylinder liner* (tipe basah) dan *dry type* (tipe kering). *Liner* basah mempunyai *o-ring* yang menyekat selubung air dan mencegah bocornya pendingin.

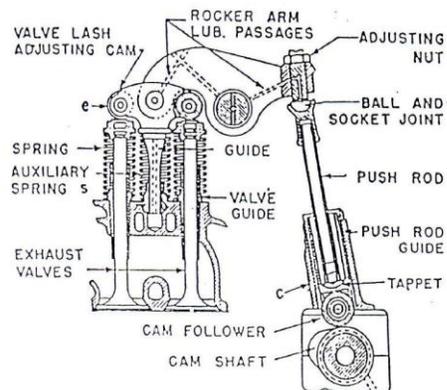
Dry liner atau biasa juga disebut *sleeve* dipakai untuk memperbaiki *parent bore* yang mengalami kerusakan. *Liner* semacam ini disebut “*dry*” karena sangat rapat pada dinding lubang *cylinder* di *block engine* tanpa ada air yang berkontak langsung dengannya.



Gambar 2.11 *Cylinder Liner*

2.6.3 Perangkat Katup (*Valve Gear*)

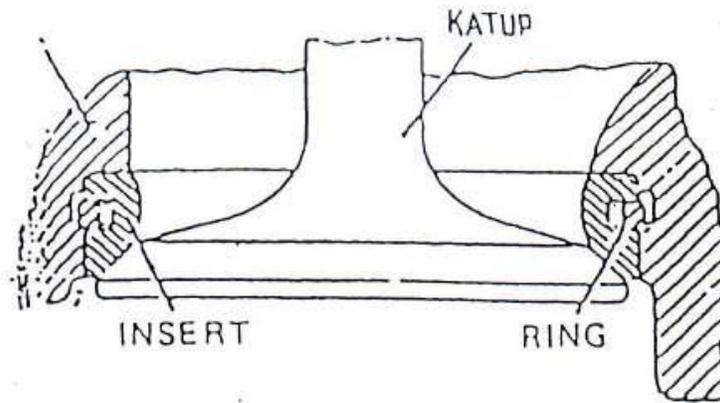
Fungsi *valve* adalah mengatur masuk dan keluarnya udara masuk dan gas buang sedangkan fungsi *valve guide* adalah untuk menjaga gerakan katup agar tegak lurus pada dudukannya.



Gambar 2.12 *Valve Gear*

2.6.4 *Rocker Arm* (Pelatuk)

Fungsi *Rocker arm* adalah untuk meneruskan gaya dari *camshaft* untuk menggerakkan katup.



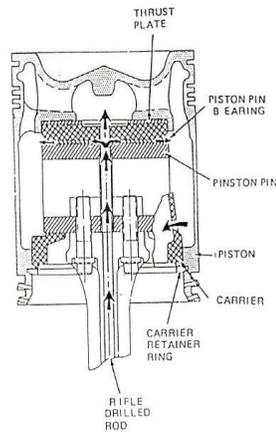
Gambar 2.15 Dudukan Katup (*Inlet Valve Seat*)

Sudut dudukan katup berkisar 30-45. Dudukan katup yang sudah aus sekali biasanya diganti baru.

2.6.6 Piston dan Ring Piston

Piston adalah komponen utama dalam mesin yang memiliki beberapa fungsi, yaitu :

1. Merapatkan ruangan silinder dari bagian dalam
2. Memampatkan udara
3. Menerima tekanan pembakaran waktu proses kerja
4. Meneruskan tekanan pembakaran ke poros engkol melalui batang penghubung (*connecting rod*)
5. Bagian permukaan menyerap panas selama proses berlangsung

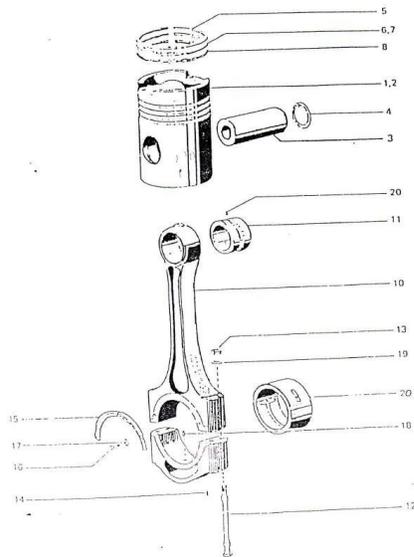


Gambar 2.16 Rangkaian Piston

Ring piston pada umumnya berfungsi :

1. Mencegah kebocoran ruang bakar
2. Menyalurkan panas dari *piston* ke air pendingin melewati dinding silinder

Ring piston memiliki dua tipe, *ring* kompresi dan *ring* oli. *Ring* kompresi berfungsi untuk pemampatan volume dalam silinder serta menghapus oli pada dinding silinder. Kemampuan kompresi *ring piston* yang sudah menurun mengakibatkan performa mesin menurun, dan juga mesin berasap. *Ring* oli berfungsi untuk menampung dan membawa oli serta melumasi *parts* dalam ruang silinder. *Ring* oli hanya ada pada mesin empat tak karena pelumasan mesin dua tak menggunakan oli samping.



Gambar 2.17 Komponen Piston

Keterangan :

1. *Piston* (rakitan lengkap torak)
2. Torak
3. Pena *piston*
4. *Ring* pengunci
5. *Ring* persegi
6. *Ring* kompresi muka plat *chromium*
7. *Ring* kompresi muka
8. *Ring* pegas *helix*
9. Rakitan lengkap batang penghubung (*connecting rod*)
10. Batang penghubung
11. Dudukan pena *piston*
12. Baut
13. Pena/pin
14. *Ring* 1/2
15. Sekrup

16. Pena pengunci
17. Pena *plug*
18. *Washer*
19. Baut kollar
20. Bantalan

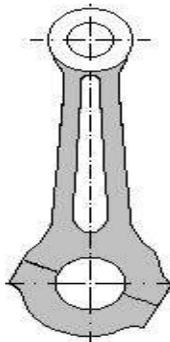
2.6.7 Connecting Rod (Batang Penghubung)

Connecting rod menghubungkan *piston* ke *crankshaft*. bagian-bagian dari *connecting rod* adalah sebagai berikut :

1. *Rod eye*
2. *Piston pin bushing*
3. *Shank*
4. *Cap*
5. *Rod bolt & nuts*
6. *Connecting rod bearing*

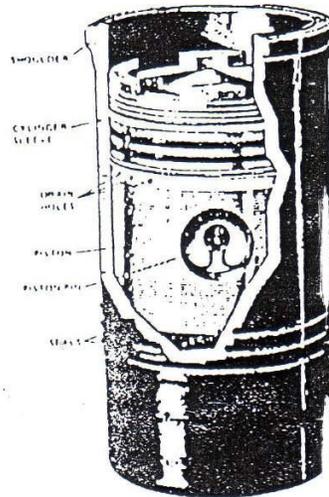
Fungsi batang penghubung adalah :

1. Meneruskan tekanan torak ke poros engkol
2. Meneruskan putaran poros engkol ke torak



Gambar 2.18 Batang penghubung

2.6.8 Dinding Silinder



Gambar 2.19 Dinding Silinder

Dinding silinder berfungsi sebagai tempat berlangsungnya seluruh urutan kerja mesin (hisap, kompresi, usaha dan buang).

Dinding silinder terbagi dua :

1. Dinding basah (*wet liner*)

Dinding basah adalah dinding yang didinginkan langsung oleh air pendingin, biasanya untuk mesin sedang/besar.

2. Dinding kering (*dry liner*)

Dinding kering adalah dinding yang didinginkan tidak oleh air, umumnya mesin kecil atau kondisi khusus.

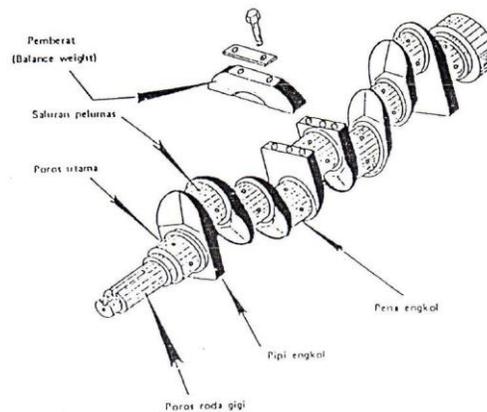
2.6.9 Poros Engkol (*Crankshaft*)

Crankshaft merubah gerak turun naik *piston* menjadi gerakan berputar yang dipakai untuk melakukan kerja. Di dalam *crankshaft* terdapat saluran lobang tempat

jalannya oli yang disebut *oil gallery*. Lubang saluran oli dibuntui pada satu ujungnya dengan *plug* atau *set screw*.

Fungsi poros engkol :

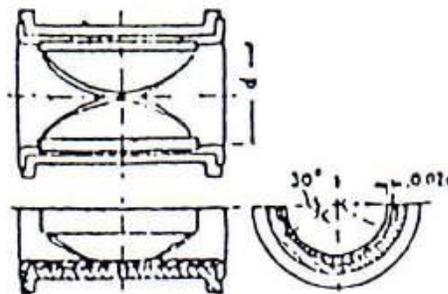
1. Menerima gaya inersia yang tinggi pada puncak tekanan gas diatas *piston*
2. Mengubah gerak bolak-balik (translasi) menjadi gerak putar (rotasi).



Gambar 2.20 Poros Engkol

2.6.10 Bantalan (*Main Bearing*)

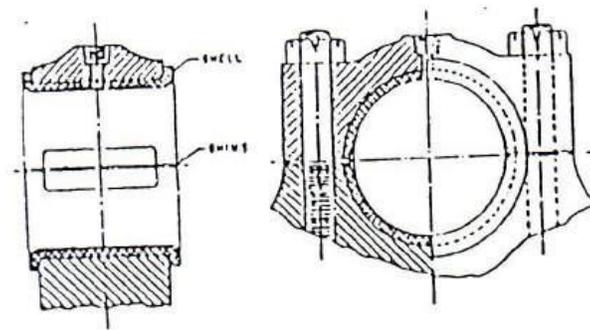
Bantalan berfungsi untuk mendukung bagian-bagian yang bergerak sehingga bagian-bagian tersebut tetap berada pada posisi yang diinginkan.



Gambar 2.21 Bantalan

Klasifikasi bantalan :

1. Bantalan untuk gerak putar (*rotary motion*)
 - a. *Journal Bearing* yang mendapat beban utama dari perputaran poros (*main bearing*)
 - b. *Trust Bearing* (bantalan *axial*) yang mendapat beban sepanjang poros yang berputar.
2. Bantalan untuk gerak bolak-balik (*reciprocating motion*)
 - a. Bantalan untuk gerak lurus (contoh: dinding silinder untuk mendukung pergerakan *piston*)
 - b. Bantalan untuk gerak tumbukan (contoh: *bushing* untuk mendukung *pin piston*)



Gambar 2.22 Klasifikasi Bantalan

2.6.11 Roda Gila (*Fly Wheel*)

Fly wheel dibautkan pada bagian belakang *crankshaft* di dalam rumah *fly wheel*. *Crankshaft* memutar *flywheel* pada langkah tenaga, dan gaya momentum *flywheel* menjaga *crankshaft* tetap berputar mulus pada langkah hisap, kompresi dan langkah buang. Fungsi *flywheel* ada tiga, yaitu :

1. Menyimpan energi untuk momentum di antara langkah tenaga
2. Membuat putara *crankshaft* supaya halus
3. Memindahkan tenaga ke mesin, *torque converter* atau beban lain

Pada bagian luar terdapat komponen *ring gear* melingkari *flywheel*. *Ring gear* dipergunakan sebagai roda gigi yang *spline* dengan *pinion starting* motor untuk *start engine*.

2.7 Bentuk-bentuk Perbaikan

Aktivitas perbaikan meliputi 2 bagian, yaitu :

1. Reparasi

Reparasi adalah bentuk perawatan dengan melakukan penggantian pada bagian-bagian yang tidak layak dipakai.

2. Overhaul

Overhaul adalah kegiatan bongkar pasang terhadap suatu komponen mesin dengan tujuan menganalisa serta memperbaiki kerusakan pada komponen mesin tersebut.

2.8 Spesifikasi Mesin

Spesifikasi umum pada mesin diesel 4 silinder tipe C240 adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2

Spesifikasi Mesin Diesel 4 Silinder Tipe C240

Jenis	4 Langkah
Jumlah Silinder	4 Buah
Tipe Bahan Bakar	Solar
Diameter Piston	90 mm
Diameter Silinder	90,1 mm
Panjang Langkah Piston	93 mm
Perbandingan Kompresi	20:1
Daya (HP)	69 hp
Torsi	144 Nm
Urutan Penyemprotan	1-3-4-2

Celah Katup (Mesin Dingin)	• Hisap	0,45 mm
	• Buang	0,45 mm
Kapasitas oli		7 Liter
Kapasitas Pendinginan		Transmisi Manual

2.9 Mencari Daya Mesin Diesel C240

A. Daya (HP)

P = Daya

T = 144,5 Nm

Rpm = 2500

Rad/s = 5252

$$P = \frac{T \cdot rpm}{5252}$$

$$P = \frac{144,5 \cdot 2500}{5252}$$

$$P = 69 \text{ hp}$$

B. Efisiensi Mesin Diesel

η = Efisiensi

\dot{m}_f = Laju air massa bahan bakar

LHV = *Lower Heating Value* (nilai kalor bahan bakar) (43,0 mj/kg)

$$\eta = \frac{P}{\dot{m}_f \cdot LHV} \times 100\%$$

Untuk basis volume bahan bakar

$$\dot{m}_f = \rho \cdot Q$$

ρ = *Massa Jenis bahan bakar* (kg/m₃)

Q = Debit bahan bakar (m³/detik)

Dimana :

V_g = Volume bahan bakar (m^3)

t = Waktu (detik)

$$mf = \frac{P}{\rho \cdot Q \cdot LHV} \times 100\%$$

$$= \frac{P}{\rho \cdot \frac{V_g}{t} \cdot LHV} \times 100\%$$