

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Prinsip Kerja, Operasi, dan Pemeliharaan



Ir. Habib Rochani MMT

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA DIESEL

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA DIESEL

Penyusun :
Ir Habib Rochani MMT

Penerbit :



2026

**PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA DIESEL**

Oleh : **Ir. Habib Rochani MMT**
Penerbit : INSTITUT TEKNOLOGI PLN
Alamat : Menara PLN, Jl. Lingkar Luar Barat,
Duri Kosambi, Cengkareng
Jakarta Barat, 11750
Telp/Fax : (021) 544 0342, 544 0344
Email : -

Hak Cipta@2026 pada Penerbit

Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang Pasal 72 ayat 1,2 dan 3 Undang-undang Republik Indonesia No. 19 Tahun 2002. Dilarang memperbanyak, sebagian atau seluruh isi buku dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari
Penerbit : INSTITUT TEKNOLOGI PLN

Cetakan Pertama, Januari 2026

Editor : Salsabila Tsamrotul Qolbi, S.T
Design & Layout : Ridho Chaerullah

ISBN : -

Nomor Anggota IKAPI :
No.574/Anggota Luar Biasa /DKI/2019

PRAKATA

Segala puji dan syukur hanya bagi Allah Yang Maha Kuasa, berkat bimbingan dan ridloNya akhirnya saya dapat menyelesaikan penulisan buku ini. Buku ini saya tulis dengan maksud untuk menyebarkan pengetahuan berdasarkan pengalaman praktis dan profesional selama saya bekerja di pembangkitan listrik. Selain hal itu, buku ini disusun dan dikembangkan juga untuk memenuhi kebutuhan bahan pengajaran saya pada Program Studi Mesin Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi (FTBE) Institut Teknologi Teknologi PLN (IT PLN). Materi dalam buku ini coba saya susun secara runtun untuk memudahkan mahasiswa dalam pemahaman tentang Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan memastikan kurikulum pengajaran dapat tercapai sesuai.

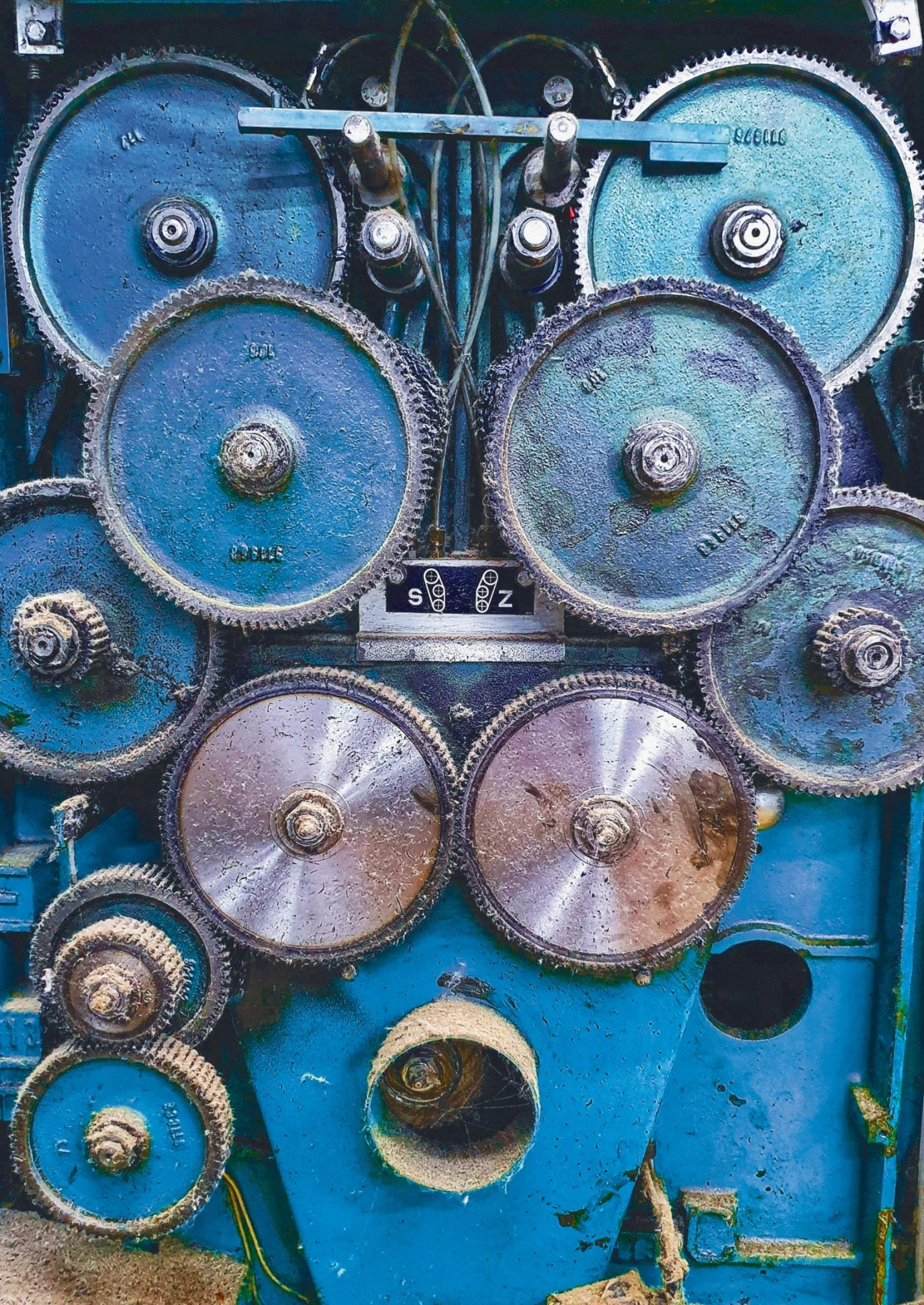
Sesuai acuan kurikulum materi PLTD pada Prodi Mesin, maka pembahasan yang dijabarkan dalam buku ini belum begitu mendalam, dan sekedar memberi gambaran kepada mahasiswa untuk mengenal secara garis besar dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel tersebut.

Akhirnya kami mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya buku ini khususnya penerbit ITPLN dan umumnya Civitas Akademika Institut Teknologi Teknologi PLN (IT PLN) yang telah banyak mendorong kami menyelesaikan buku ini.

Semoga bermanfaat.

Jakarta 27 Februari 2026.

Habib Rochani

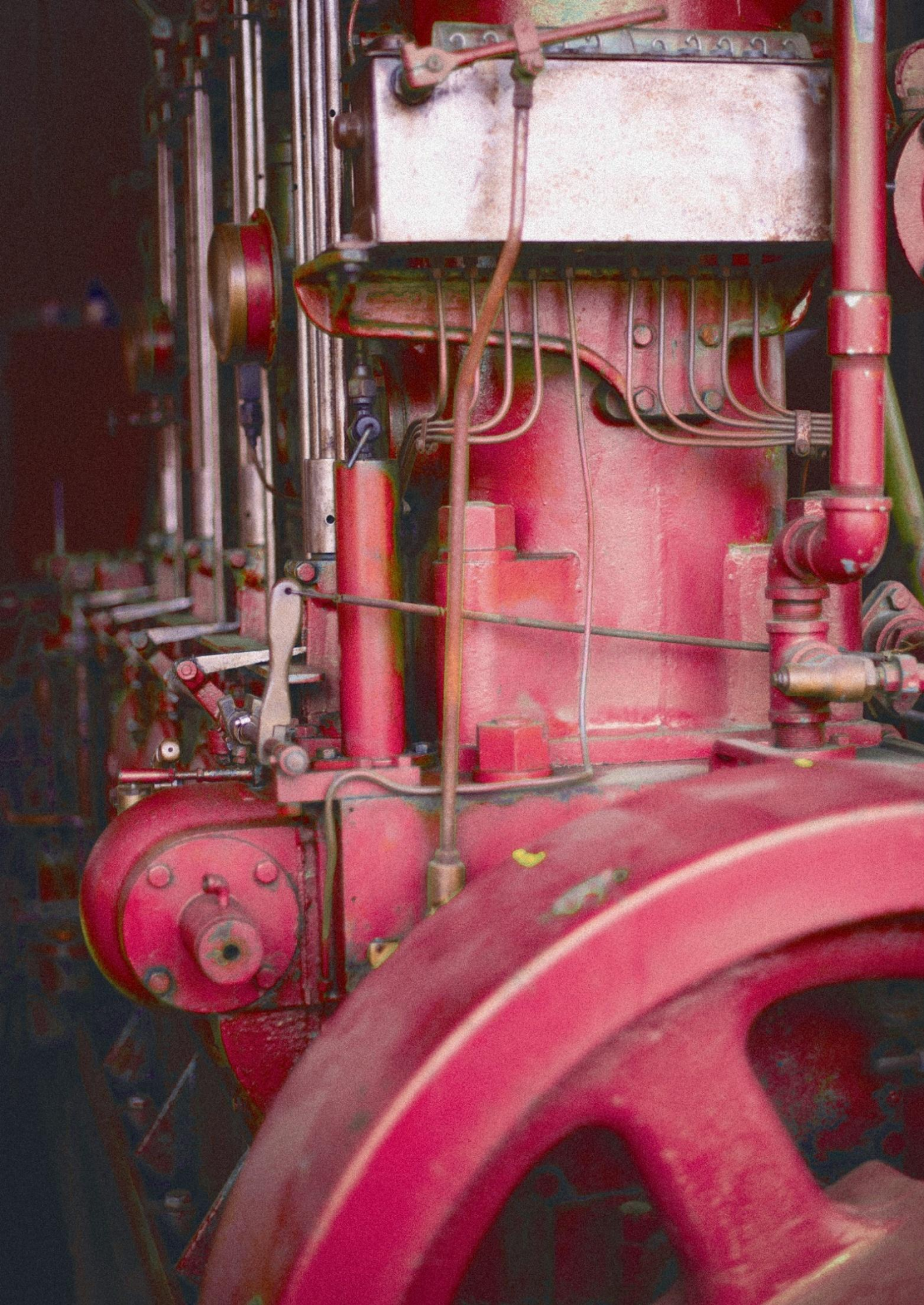


DAFTAR ISI

PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	17
1.1 PENGERTIAN	17
1.2 KEUNTUNGAN DAN KERUGIAN	17
1.3 KLASIFIKASI MESIN DIESEL	20
BAB II CARA KERJA	22
2.1 MESIN 4 LANGKAH	22
2.2 MESIN 2 LANGKAH	24
2.3 EFFISIENSI	27
BAB III BAGIAN BAGIAN UTAMA	33
3.1 BAGIAN UTAMA	33
3.2 CYLINDER BLOCK	33
3.3 CYLINDER HEAD	34
3.4 PISTON CONNECTING ROD ASSY	37
3.5 CRANKSHAFT	39
3.6 FLYWHEEL	41
3.7 INLET DAN EXHAUST VALVE	43
BAB IV KELENGKAPAN MESIN DIESEL	47
4.1 PENGERTIAN	47
4.2 SISTIM PEMUTAR POROS	47
4.3 SISTIM PELUMASAN	48
4.4 SISTIM AIR PENDINGIN	50
4.5 SISTIM BAHAN BAKAR	51

4.6 SISTIM SALURAN UDARA MASUK DAN SALURAN GAS BEKAS (Gambar 4.8).....	60
4.7 SISTIM KONTROL	61
4.8 SISTIM PENGAMAN	67
BAB V UNJUK KERJA (PERFORMANCE).	71
5.1 DAYA INDIKATIF	71
5.2 DAYA EFEKTIF	73
5.3 EFFISIEASI THERMAL INDIKATIF	75
5.4 EFFISIENSI MEKANIS	75
5.5 PEMAKAIAN BAHAN BAKAR SPECIFIC (SPECIFIC FUEL CONSUMPTION).....	76
5.6 NERACA KALOR DAN KERUGIAN KERUGIAN DIDALAM PLTD. ..	77
BAB VI GENERATOR.....	81
6.1 UMUM.....	81
6.2 PRINSIP KERJA GENEATOR	81
6.3 BEBAN GENERATOR.....	84
6.2 GENERATOR TIGA FASA.	86
6.3 GENERATOR SYNCHRON.....	88
6.4 PENGUATAN GENERATOR.....	89
6.5 GENERATOR BEROPERASI DIDALAM JARINGAN.	92
6.6 BATAS BATAS PENGOPERASIAN GENERATOR.	94
6.7 PENDINGINAN GENERATOR	96
BAB VII PENGOPERASIAN PLTD.....	100
7.1 COMISSIONING PLTD.....	100
7.2 MENGOPERASIKAN PLTD.....	101
7.2.1 MENSTART PLTD	102
7.2.2 MEMPARALLEL PLTD	103
7.2.3 MEMBEBANI PLTD	107
7.2.4 MEMBERHENTIKAN PLTD.	108
7.3 TUGAS OPERATOR SELAMA PLTD BEROPERASI.	109

7.4	FAKTOR FAKTOR OPERASI DAN KEANDALAN PEMBANGKIT.	111
BAB VIII PEMELIHARAAN PLTD..... 114		
8.1	Pendahuluan	114
8.2	Jenis-Jenis Pemeliharaan.....	114
8.3	Pemeliharaan Preventif (Preventif Maintenance)	115
8.3.1	Pemeliharaan rutin.....	116
8.3.2	Pemeliharaan Periodik / Overhaul.....	117
8.3.3	Pemeliharaan prediktif.	123
8.4	Pemeliharaan Korektif	124
8.5	Pemeliharaan Tidak Terencana	125
8.6	Macam macam jenis gangguan.	125
BAB IX PENENTUAN HARGA LISTRIK KELUAR PEMBANGKIT.		142
9.1	Harga Listrik Keluar Pembangkit	142
DAFTAR PUSTAKA		143
PROFIL PENULIS.....		144

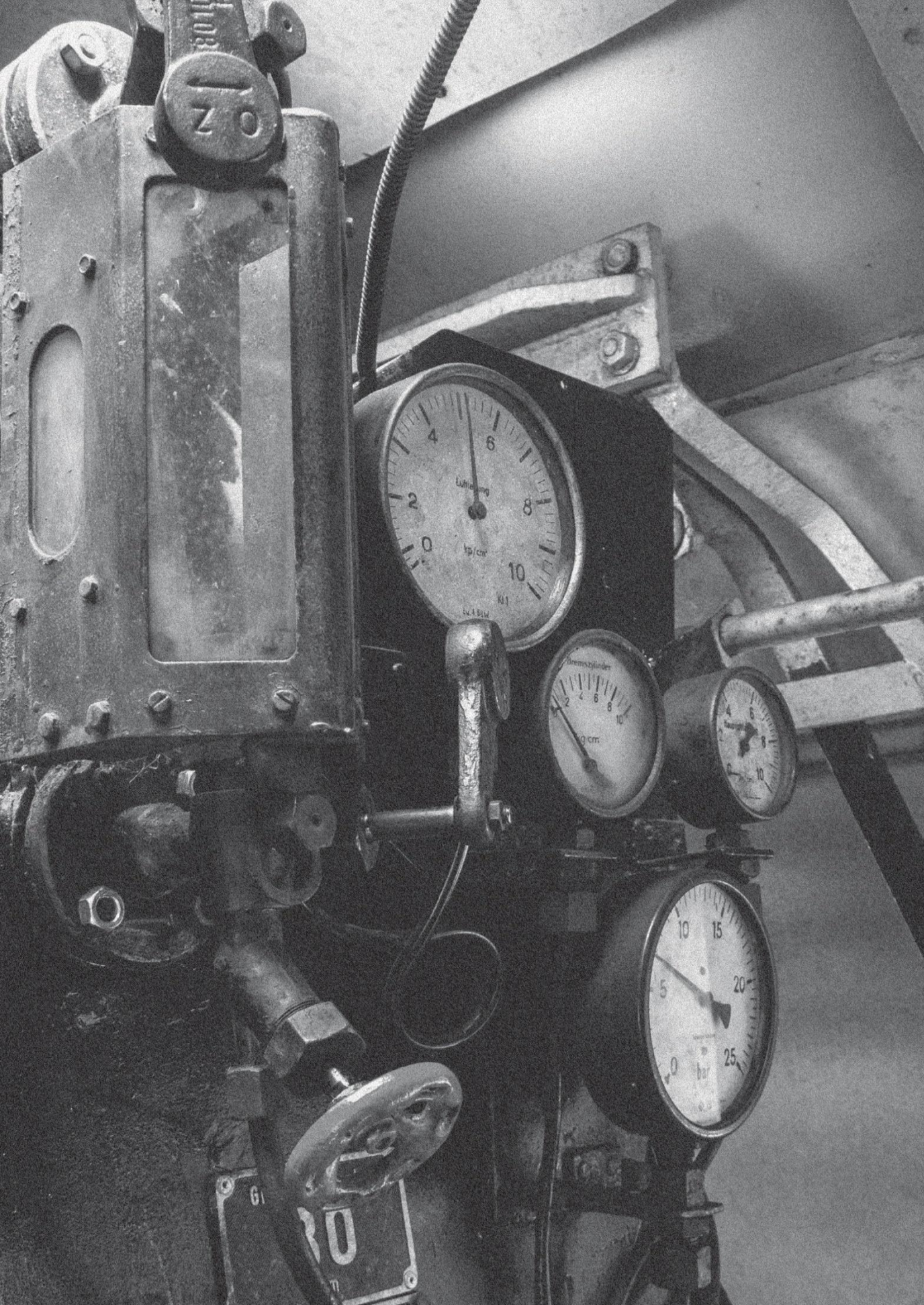


DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Prinsip sebuah mesin Diesel 1 silinder	18
Gambar 1. 2 Potongan melintang mesin Diesel	19
Gambar 1. 3 Potongan memanjang mesin Diesel 8 silinder 2 langkah.....	19
Gambar 1. 4 Potongan melintang mesin Diesel model V 2 langkah	20
Gambar 2. 1 Cara kerja mesin Diesel 4 langkah	22
Gambar 2. 2 Diagram p-v untuk mesin Diesel 4 langkah.....	23
Gambar 2. 3 Cara kerja mesin Diesel 2 langkah	25
Gambar 2. 4 Diagram p- v untuk mesin Diesel 2 langkah.....	26
Gambar 2. 5 Diagram indikator mesin 4 langkah.....	29
Gambar 2. 6 Diagram pv gabungan siklus Otto dan siklus Diesel	30
Gambar 3. 1 Frame mesin Diesel model V (V engine)8 silinder	34
Gambar 3. 2 Frame Mesin Diesel model lurus (Straight Line Engine) 4 silinder	35
Gambar 3. 3 Silinder head (Kepala silinder) untuk mesin 4 silinder	36
Gambar 3. 4 Susunan bagian Piston Connecting Rod Assembly	38
Gambar 3. 5 Piston dan batang piston	38
Gambar 3. 6 Poros engkol mesin Diesel 6 silinder	39
Gambar 3. 7 Lubang lubang saluran pelumas pada poros engkol.....	40
Gambar 3. 8 Flywheel dan penempatannya	43
Gambar 3. 9 Susunan Cam Shaft, Push Rod, Rocker Arm	44
Gambar 3. 10 Timing pembukaan katup masuk dan katup buang untuk msin 4 langkah	45
Gambar 3. 11 Camshaft (poros bubungan)	46
Gambar 4. 1 Peralatan start motor listrik dan dan motor udara	48
Gambar 4. 2 Sistim pelumasan mesin Diesel	50
Gambar 4. 3 Sistim air pendingin mesin PLTD	51
Gambar 4. 4 Nozzle mekanis	52
Gambar 4. 5 Berbagai bentuk nozzle bahan bakar	53

Gambar 4. 6 Sistim bahan bakar diluar mesin.....	54
Gambar 4. 7 Sistim bahan bakar diluar mesin.....	55
Gambar 4. 8 Sistim bahan bakar PLTD dengan bahan bakar MFO (minyak residu).....	56
Gambar 4. 9 Proses pembakaran terhadap langkah piston.....	59
Gambar 4. 10 Sistim saluran udara masuk dan saluran gas bekas	61
Gambar 4. 11 Rangkaian sistim control dan pengaman Carterpillar	64
Gambar 4. 12 Governor mekanik (prinsip dan kondisi terpasang)	65
Gambar 4. 13 Karakteristik governor dengan berbagai pembebanan pada putaran 100%.....	66
Gambar 5. 1 Mesin Indikator.....	71
Gambar 5. 2 Diagram Indikator	72
Gambar 5. 3 Pengukur Brake Horse Power	74
Gambar 5. 4 Neraca panas sebuah PLTD	80
Gambar 6. 1 Prinsip sebuah generator Listrik.....	
.....	82
Gambar 6. 2 Bentuk sinus soida	83
Gambar 6. 3 Beban Resistif	84
Gambar 6. 4 Beban Induktif	85
Gambar 6. 5 Beban Kapasitif	85
Gambar 6. 6 Beban campuran	86
Gambar 6. 7 Generator 3 fasa	87
Gambar 6. 8 Bentuk dasar sebuah generator synchron dan bentuk belitannya	89
Gambar 6. 9 Karakteristik penguatan generator.....	91
Gambar 6. 10 Perputaran rotor	92
Gambar 6. 11 Diagram pembebanan Generator	95
Gambar 7. 1 Rangkaian listrik dari lampu sinchrone	105
Gambar 7. 2 Peralata Synchron.....	107
Gambar 8. 1 Maintenance.....	116

Gambar 8. 2 Proses terjadinya kerusakan bagian mesin sampai mesin harus berhenti	124
--	-----



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Susunan urutan pembakaran (Firing Order)	41
Tabel 4. 1 Spesifikasi minyak diesel sesuai Surat Keputusan Dirjen Migas No.002/ P / DM / MIGAS /1979 Tanggal 25 Mei 1979	57
Tabel 4. 2 Spesifikasi minyak solar sesuai Surat Keputusan Dirjen Migas 3675.....	58
Tabel 4. 3 Sistim proteksi mesin Diesel.....	67
Tabel 5. 1 Performace dan Heat balance sebuah mesin Diesel 4 langkah dengan injeksi	78
Tabel 7. 1 Contoh Log sheet harian operator PLTD	110
Tabel 8. 1 Jenis gangguan dan kemungkinan penyelesaiannya.....	126



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 PENGERTIAN

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) adalah pembangkit listrik yang paling banyak digunakan diluar pulau Jawa dan daerah-daerah terpencil lainnya yang belum dapat dijangkau oleh jaringan listrik dengan pembangkit bersekala besar. Pembangkit listrik ini digerakkan dengan mesin Diesel yang merupakan suatu hasil research yang dilakukan oleh Rudolf Diesel (March 18, 1858 – September 29, 1913) di Jerman. Mesin ini termasuk kedalam golongan mesin dengan pembakaran didalam (Internal Combustion Engine) dengan penyalaan yang tanpa menggunakan busi. Penyalaan dilakukan dengan tekanan dan suhu udara yang tinggi akibat kompresi oleh gerak piston, karena itu mesin ini juga dikenal sebagai mesin dengan pembakaran dengan kompresi (compression ignition).

Secara prinsip mesin Diesel dapat digambarkan seperti gambar 1.1 dan secara lengkap mesin Diesel dapat dilihat pada gambar 1.2 (potongan melintang) dan gambar 1.3 (potongan memanjang).

1.2 KEUNTUNGAN DAN KERUGIAN

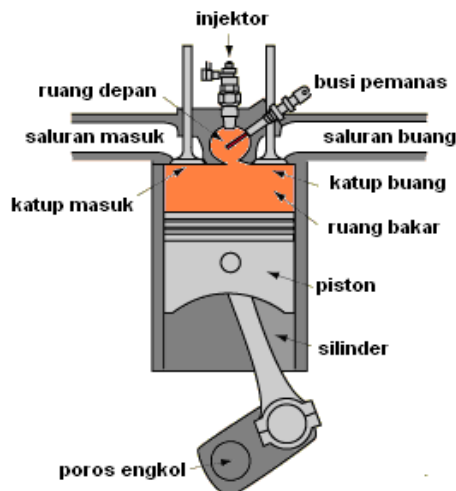
Dibanding mesin-mesin penggerak yang lain mesin Diesel mempunyai beberapa keuntungan antara lain:

- Lebih efisien dibanding dengan turbin gas dan mesin bensin. Karena mempunyai perbandingan kompresi yang lebih tinggi, maka mesin Diesel menjadi lebih efisien dibanding turbin gas maupun mesin bensin.
- Mempunyai daya lebih besar dengan ukuran yang sama dengan mesin bensin.
- Mudah dipindah-pindah.

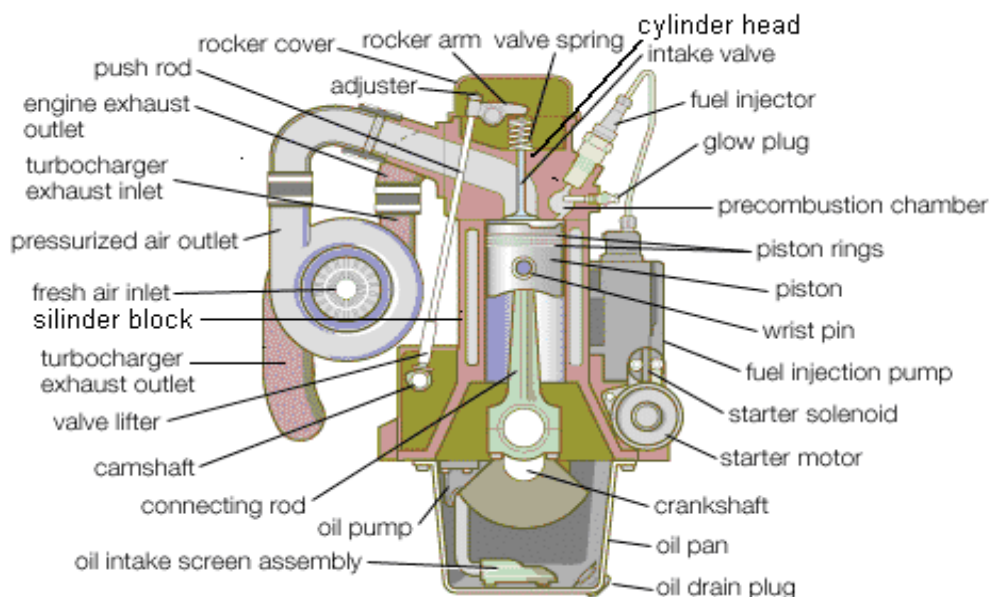
- Tidak memerlukan instalasi listrik untuk pembakaran bahan bakarnya. Karena menggunakan penyalaan dengan kompresi maka pembakaran bahan bakarnya tidak menggunakan busi, karena itu tidak diperlukan instalasi listrik. Busi pemanas yang ada didalam gambar hanya digunakan untuk pemanasan awal ketika mesin Diesel masih dingin dan belum distart.

Adapun kerugiannya antara lain adalah:

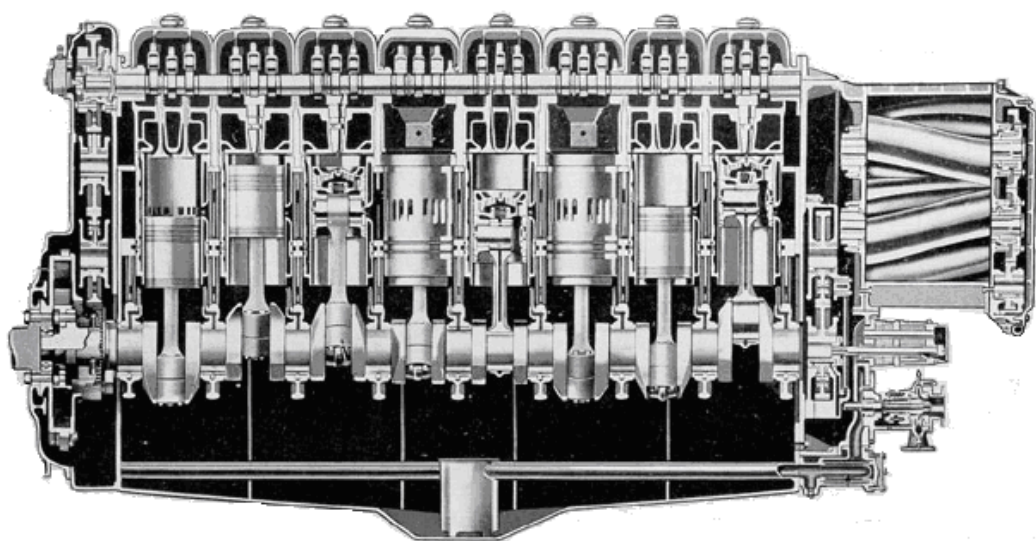
- Getaran lebih tinggi dan lebih berisik, karena perbandingan kompresi yang tinggi menyebabkan getaran menjadi lebih tinggi, dan gas buang keluar silinder menyebabkan suara yang lebih keras
- Kapasitas rendah. Dibanding turbin uap dan turbin gas mesin Diesel mempunyai kapasitas / daya mampu yang rendah.
- Karena bahan bakarnya harga listriknya menjadi mahal.
- Memerlukan fondasi yang lebih berat.
- Lebih berat dibanding turbin gas.
- Suara lebih berisik



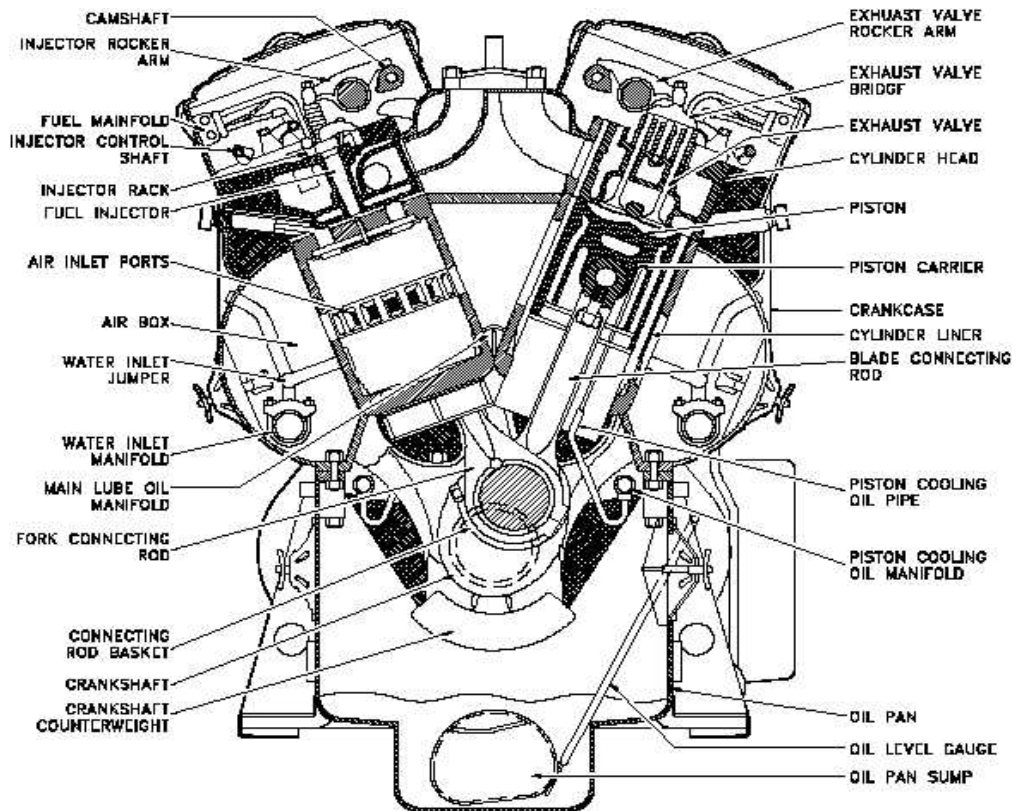
Gambar 1. 1 Prinsip sebuah mesin Diesel 1 silinder



Gambar 1. 2 Potongan melintang mesin Diesel



Gambar 1. 3 Potongan memanjang mesin Diesel 8 silinder 2 langkah



Gambar 1. 4 Potongan melintang mesin Diesel model V 2 langkah

1.3 KLASIFIKASI MESIN DIESEL

Mesin Diesel diklasifikasikan menurut berbagai kategori, antara lain sesuai langkah kerjanya, susunan silindernya, injeksi bahan bakarnya, dan putarannya.

1. Menurut langkah kerjanya dibagi kedalam: mesin Diesel 2 (dua) langkah dan mesin Diesel 4 (empat langkah). Akan dibicarakan lebih lanjut pada bab bab berikutnya.
2. Menurut jenis putarannya dibagi kedalam putaran rendah (< 300 rpm), putaran sedang ($300 - 1000$ rpm) dan putaran tinggi (> 1000 rpm).
3. Menurut susunan silindernya dibagi kedalam mesin dengan susunan silinder sebaris (vertical / horizontal), mesin Diesel dengan susunan

silinder bentuk V, bentuk W, bentuk bintang (radial), bentuk saling berhadapan dan bentuk saling membelakangi.

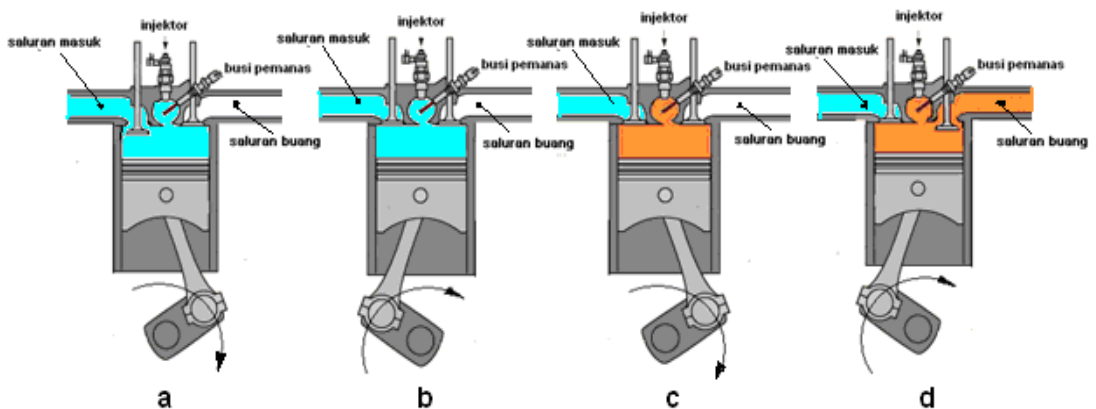
4. Menurut cara memasukkan bahan bakar kedalam silindernya dibedakan antara mesin Diesel dengan injeksi bahan bakar dengan udara dan mesin Diesel dengan injeksi bahan bakar tanpa udara.
5. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel dibagi kedalam 2 kategori yaitu: PLTD besar dengan daya mampu 1000 kW, dan PLTD kecil dengan daya mampu kurang dari 1000 kW. Ditinjau dari segi pengoperasiannya, PLTD dibedakan antara PLTD untuk pemikul beban dasar (base load) yang beroperasi secara continue, dan PLTD untuk standby / emergency / pemikul beban puncak yang beroperasi pada jam jam tertentu saja. Disebut beroperasi kontinu apabila dalam satu tahun PLTD tersebut beroperasi lebih dari 4000 jam atau 40 000 jam dalam 10 tahun pertama, sementara untuk PLTD standby jumlah jam operasi pertahun kurang dari 4000 jam.

BAB II

CARA KERJA

2.1 MESIN 4 LANGKAH

Mesin diesel pada umumnya terdiri dari satu sampai banyak silinder, masing masing silinder mempunyai cara kerja sesuai langkah pistonnya. Cara kerja mesin diesel dibedakan antara mesin diesel 2 langkah dan mesin diesel 4 langkah. Untuk mesin Diesel 4 langkah mempunyai cara kerja sebagai berikut (gambar 2.1).



Gambar 2. 1 Cara kerja mesin Diesel 4 langkah

Langkah hisap (gambar 2.1 a).

Piston bergerak kebawah mulai dari titik mati atas (TMA) ketitik mati bawah (TMB). Pada saat yang sama katup masuk membuka menyebabkan udara terhisap masuk kedalam silinder.

Langkah Kompresi (gambar 2.1 b).

Piston bergerak keatas dari Titik Mati Bawah (TMB) ke Titik Mati Atas (TMA). Pada saat yang sama katup masuk maupun katup buang dalam

keadaan tertutup. Udara didalam silinder terkompresi oleh gerak piston keatas dan menjadikan udara pada akhir langkah kompresi mempunyai tekanan dan suhu yang tinggi.

Langkah Kerja (gambar 2.1 c).

Pada akhir langkah kompresi bahan bakar dikabutkan kedalam silinder. Suhu udara yang tinggi hasil kompresi pada langkah kompresi tersebut menyebabkan bahan bakar menyala dengan sendirinya, menyebabkan udara tsb memuai dan mendorong piston kebawah. Pemuaian udara tersebut ditandai dengan gerakan piston kebawah dengan tekanan udara yang konstan (gambar 2.2). Selanjutnya setelah pengabutan bahan bakar berhenti, tekanan didalam silinder mulai menurun, dan akhirnya pada saat piston mencapai TMB, katup buang membuka, gas hasil pembakaran keluar dari dalam silinder melalui saluran pembuangan.



Gambar 2. 2 Diagram p-v untuk mesin Diesel 4 langkah

Langkah Pembilasan. (gambar 2.1 d).

Piston bergerak dari TMB ke TMA dan katup buang dalam keadaan terbuka. Gas bekas hasil pembakaran didorong oleh gerak piston keluar silinder, menjadikan ruang didalam silinder bersih terbebas dari gas bekas dan memungkinkan udara baru masuk keseluruh ruang silinder ketika piston bergerak ke TMB kembali sebagai langkah pertama (langkah hisap).

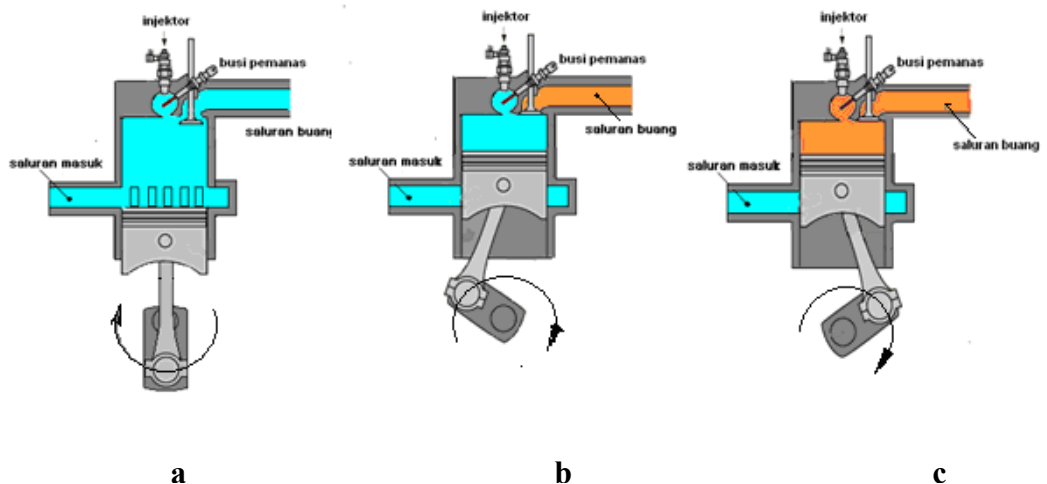
Langkah langkah tersebut diatas jika digambarkan didalam diagram tekanan dan volume akan terlihat sebagaimana gambar 2.2, dimana langkah hisap ditunjukkan sebagai garis lurus 1-2, langkah kompresi 2-3, langkah kerja 3-4-5, pembuangan gas 5-6 dan langkah pembilasan 6-1.

2.2 MESIN 2 LANGKAH

Untuk mesin Diesel 2 langkah mempunyai cara kerja sebagai berikut (lihat gambar 2.3). **Proses pembilasan** dan pengisian udara baru terjadi sekaligus ketika piston berada di Titik Mati Bawah. Gas bekas didorong keluar oleh aliran udara baru yang datang dari turbo charger (gambar 2.3 a).

Langkah kompresi (gambar 2.3 b)

Piston bergerak keatas dari Titik Mati Bawah (TMB) ke Titik Mati Atas (TMA). Pada saat yang sama katup buang dalam keadaan tertutup, dan kompresi dimulai ketika lubang lubang pemasukan udara pada dinding silinder tertutup oleh gerak piston keatas. Kompresi menghasilkan tekanan dan suhu udara yang tinggi pada akhir langkah piston.



Gambar 2. 3 Cara kerja mesin Diesel 2 langkah

Langkah Kerja (gambar 2.3 c).

Pada akhir langkah kompresi bahan bakar dikabutkan kedalam silinder. Suhu udara yang tinggi hasil kompresi pada langkah kompresi tersebut menyebabkan bahan bakar menyala dengan sendirinya, menyebabkan udara memuai dan mendorong piston kebawah. Pemuaiian udara tersebut ditandai dengan gerakan piston kebawah dengan tekanan udara yang konstan (gambar 2.4). Selanjutnya setelah pengabutan bahan bakar berhenti, tekanan didalam silinder mulai menurun, dan akhirnya sebelum piston mencapai TMB, katup buang membuka dan gas hasil pembakaran keluar dari dalam silinder. Pengisian udara baru berlangsung ketika piston telah melewati lubang pemasukan udara pada dinding silinder.

Langkah kompresi dan langkah kerja tersebut jika digambarkan dalam diagram p-v dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2. 4 Diagram p- v untuk mesin Diesel 2 langkah

Mesin Diesel 2 langkah mempunyai beberapa keuntungan dibanding mesin Diesel 4 langkah yaitu:

- Mempunyai daya yang lebih besar untuk ukuran dan putaran yang sama (1,5 – 1,6 kali)
- Mesin lebih ringan dan lebih kecil volumenya.
- Konstruksi lebih sederhana.

Sedang kerugiannya adalah:

- Proses pembilasannya kurang sempurna, sehingga bahan bakarnya lebih boros.
- Untuk mesin Diesel yang memanfaatkan Crankcase (Karter)nya sebagai suplai udara masuk kedalam silinder, penggunaan pelumasnya menjadi boros karena banyak pelumas terbawa oleh udara dan terbakar didalam silinder.

2.3 EFFISIENSI.

Effisiensi thermis mesin Diesel dihitung berdasarkan proses keliling (siklus) Diesel, sebagaimana yang sudah digambarkan pada gambar 2.4. dimana proses kompresi 1- 2 berlangsung secara adiabatik, proses pembakaran 2-3 berlangsung pada tekanan konstan (isobaris), ekspansi setelah pembakaran 3-4 berlangsung adiabatik dan pembuangan kalor 4 -1 pada volume konstan (isovolume).

Besarnya kalor yang diberikan: $Q_1 = c_p (T_3 - T_2)$

Besarnya kalor yang dibuang: $Q_2 = c_v (T_4 - T_1)$. sehingga efisiensi thermis mesin Diesel menjadi:

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v (T_4 - T_1)}{c_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{k} \times \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} = \rho \text{ atau } T_3 = \frac{T_2}{\rho};$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{k-1} = \delta^{k-1} \text{ atau } T_4 = \frac{T_3}{\delta^{k-1}};$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} = \varepsilon^{k-1} \text{ atau } T_1 = \frac{T_2}{\varepsilon^{k-1}} = \frac{T_3}{\rho \varepsilon^{k-1}}$$

dimana $\rho = \frac{v_3}{v_2}$ disebut perbandingan ekspansi isobaris.

$\delta = \frac{v_3}{v_4}$ disebut perbandingan ekspansi adiabatik

$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$ disebut perbandingan kompresi adiabatik

Selanjutnya dapat ditulis:

$$\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = \frac{\frac{T_3}{\delta^{k-1}} - \frac{T_3}{\rho \epsilon^{k-1}}}{\frac{T_3}{\rho}} = \frac{\frac{1}{\delta^{k-1}} - \frac{1}{\rho \epsilon^{k-1}}}{1 - \frac{1}{\rho}}$$

$$\delta = \frac{v_1 - v_1}{v_3 - v_2} \times \frac{v_2 - \epsilon}{v_3 - \rho}$$

Dengan demikian dapat ditulis:

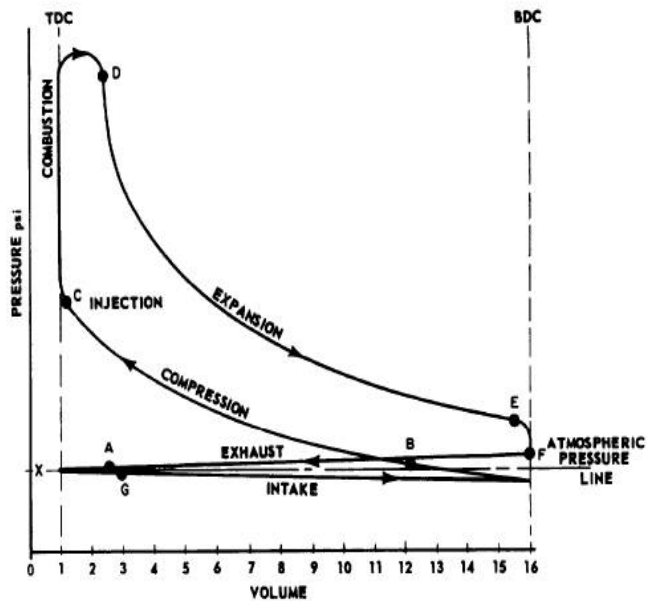
$$\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = \frac{\frac{\rho^{k-1}}{\epsilon^{k-1}} - \frac{1}{\rho \epsilon^{k-1}}}{\frac{\rho-1}{\rho}} = \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \times \frac{\rho^{k-1}}{\rho-1}$$

Karena itu efisiensi thermis dapat ditulis:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{k} \times \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \times \frac{\rho^{k-1}}{\rho-1}$$

Jadi efisiensi mesin Diesel ditentukan oleh besarnya perbandingan kompresi dan perbandingan ekspansi isobaris. Efisiensi akan menjadi tinggi jika perbandingan kompresinya besar dan perbandingan ekspansi isobarisnya kecil, demikian sebaliknya efisiensi menjadi rendah jika perbandingan kompresinya kecil dan perbandingan ekspansi isobarisnya besar.

Gab 2.4 adalah pendekatan yang dibuat oleh Rudolf Diesel ketika membangun mesin Diesel yang pertama, dengan pengabutan bahan bakar menggunakan udara bertekanan. Mesin Diesel sekarang menggunakan pengabutan dengan tekanan, dan injeksi bahan bakar tidaklah dimulai pada tepat di TMA tetapi beberapa derajat sebelum itu (gambar 2.5) Oleh karena pembakaran bahan bakar memerlukan waktu, maka proses pembakaran terjadi sampai beberapa derajat setelah TMA, maka pendekatan yang lebih mirip dengan kenyataan adalah dengan siklus gabungan antara siklus Otto dan siklus Diesel yang disebut siklus Sabathe (gambar 2.6)



Gambar 2. 5 Diagram indikator mesin 4 langkah

Persamaan efisiensi termal dari siklus gabungan dapat diperoleh sebagai berikut.

Jumlah kalor yang dimasukkan kedalam silinder adalah:

$$Q_1 = Q_{2-3} + Q_{3-3'} = Gc_v(T_3 - T_2) + Gc_p(T_{3'} - T_3)$$

Sedangkan jumlah kalor yang dikeluarkan adalah sesuai proses 4-1

:

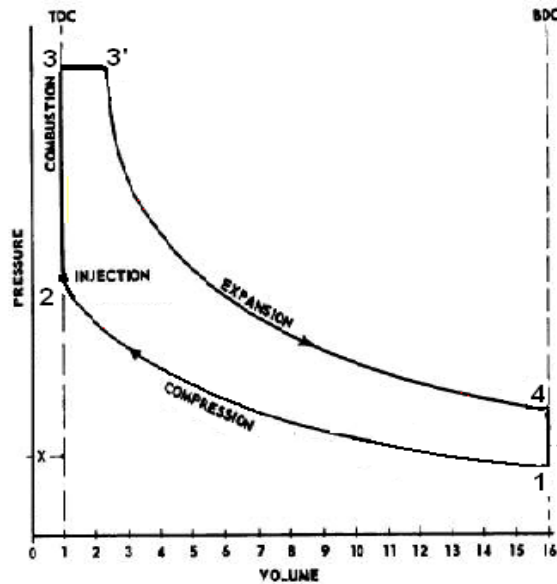
$$Q_2 = c_v(T_4 - T_1)$$

Karena itu rumus efisiensi menjadi:

$$\eta_t = 1 - \frac{T_4 - T_1}{(T_3 - T_2) + k(T_{3'} - T_3)}$$

Jika $p_3/p_2 = p_{3'}/p_2 = \alpha$ (perbandingan kenaikan tekanan pada volume konstan) dan, $V_{3'}/V_3 = V_3/V_2 = \rho$ (perbandingan kenaikan volume pada

tekanan konstan), dan karena proses ekspansi isentropis terjadi antara-3' dan 4, maka



Gambar 2. 6 Diagram pv gabungan siklus Otto dan siklus Diesel

$$\frac{T_4}{T_{3'}} = \left(\frac{V_{3'}}{V_4} \right)^{k-1} = \left(\frac{V_{3'}}{V_3} \times \frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} = \left(\frac{\varepsilon}{\rho} \right)^{k-1}$$

sehingga

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_4}{T_{3'}} \times \frac{T_{3'}}{T_2} \times \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{\rho}{\varepsilon} \right) \times \frac{p_3 V_{3'}}{p_2 V_2} \times \varepsilon^{k-1} = \rho^{k-1} \alpha \rho = \alpha \rho^k$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_3 V_3}{p_2 V_2} = \alpha$$

$$\frac{T_{3'}}{T_2} = \frac{p_3 V_{3'}}{p_2 V_2} = \rho$$

Jadi, berdasarkan hubungan tersebut di atas, dapat ditulis rumusan efisiensi thermis mesin Diesel dengan siklus gabungan Otto dan Diesel:

$$\eta_t = 1 - \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)^{k-1} \left[\frac{\alpha \rho^k - 1}{(\alpha - 1) + k\alpha(\rho - 1)} \right]$$

Dari persamaan tersebut dapat ditarik kesimpulan, jika $\alpha = 1$ maka menjadi sama dengan siklus Diesel (telah dibahas dimuka) dan jika $\rho = 1$ menjadi sama dengan siklus Otto.



BAB III

BAGIAN BAGIAN UTAMA

3.1 BAGIAN UTAMA

Mesin Diesel terbagi menjadi dua bagian utama yaitu bagian yang diam dan bagian yang bergerak. Bagian yang diam terdiri dari Cylinder Block, Cylinder Liner dan Cylinder Head, sedang bagian yang bergerak terdiri dari Piston, Connecting Rod, Crankshaft, Flywheel, Valve dan Penggerak valve.

3.2 CYLINDER BLOCK

Silinder blok atau juga biasa disebut sebagai Frame atau Kerangka, merupakan bagian yang diikatkan pada fondasi untuk mesin yang tidak bergerak, atau diikatkan pada chasis untuk mesin kendaraan. Bagian ini dibuat dari baja tuang atau dari baja dengan sambungan las. Padanya terletak cylinder liner sebagai pasangan piston yang bergerak maju mundur melakukan proses kompresi dan ekspansi. Padanya juga terpasang bantalan untuk crankshaft dan bantalan untuk cam shaft. Untuk mesin yang kecil, cylinder liner dituang menjadi satu bagian dengan cylinder block, atau dibuat terpisah kemudian dimasukkan kedalamnya, sedang untuk mesin yang besar cylinder liner dibuat terpisah, dan dapat dilepas dari cylinder block untuk tujuan perbaikan atau penggantian. Diantara cylinder liner dan cylinder block terdapat rongga untuk air pendingin, guna mendinginkan cylinder liner dari panasnya pembakaran bahan bakar yang terjadi didalamnya. Gambar 3.1 menunjukkan sebuah cylinder block mesin Diesel type V (V engine)

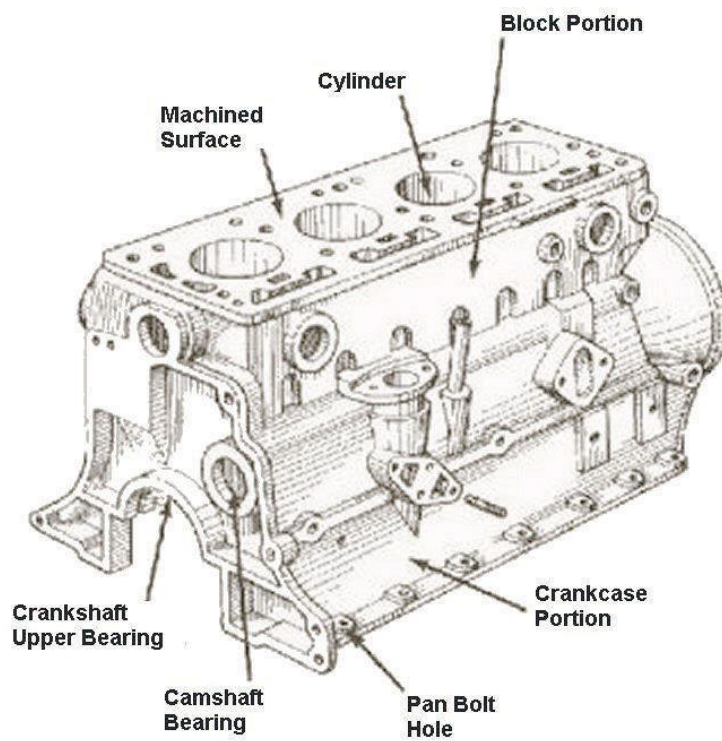
dengan konstruksi las, sedang gambar 3.2 menunjukkan cylinder block type lurus (Straight Line Engine) dengan konstruksi tuang (cast)

3.3 CYLINDER HEAD

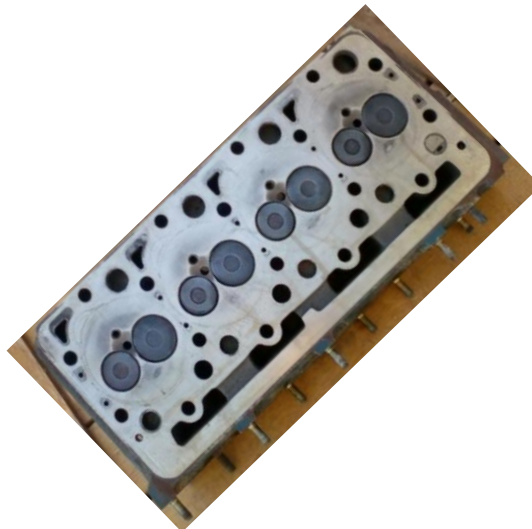
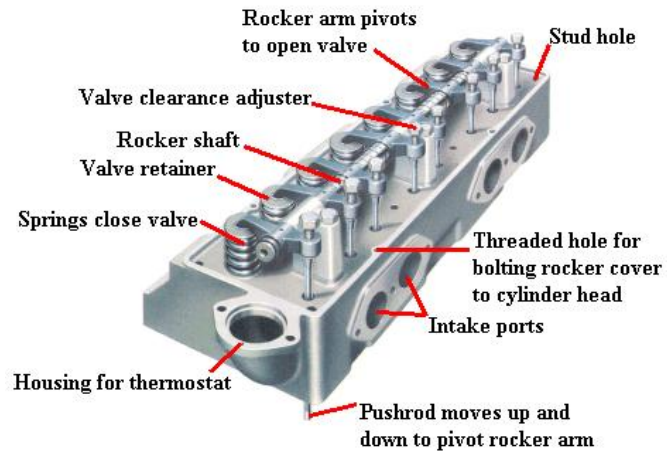
Cylinder head adalah bagian penutup silinder. Padanya terletak Inlet Valve (katup udara masuk), Exhaust Valve (katup buang gas bekas), dan Fuel Injector (injector bahan bakar). Padanya juga terdapat rongga rongga untuk saluran air pendingin guna mempertahankan bagian yang terkena panas agar tidak mengalami panas lebih.



Gambar 3. 1 Frame mesin Diesel model V (V engine)8 silinder



Gambar 3. 2 Frame Mesin Diesel model lurus (Straight Line Engine) 4
silinder



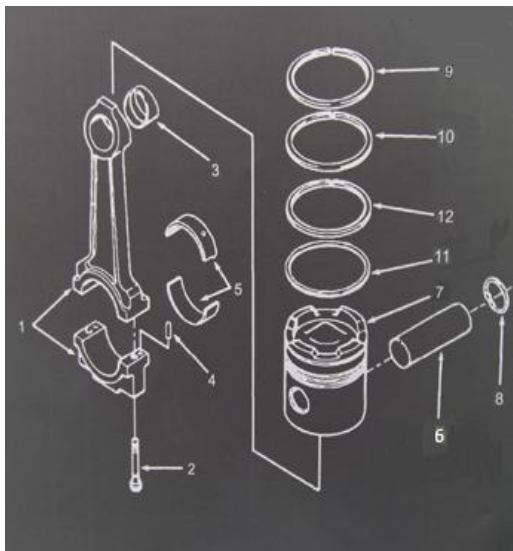
Gambar 3. 3 Silinder head (Kepala silinder) untuk mesin 4 silinder

Rongga rongga air ini juga terhubung langsung dengan rongga air yang ada didalam cylinder blok. Pada mesin kecil cylinder head dibuat menjadi satu bagian untuk seluruh silinder (gambar 3.3), sedang untuk mesin besar cylinder head dibuat terpisah sesuai silindernya masing masing.

3.4 PISTON CONNECTING ROD ASSY

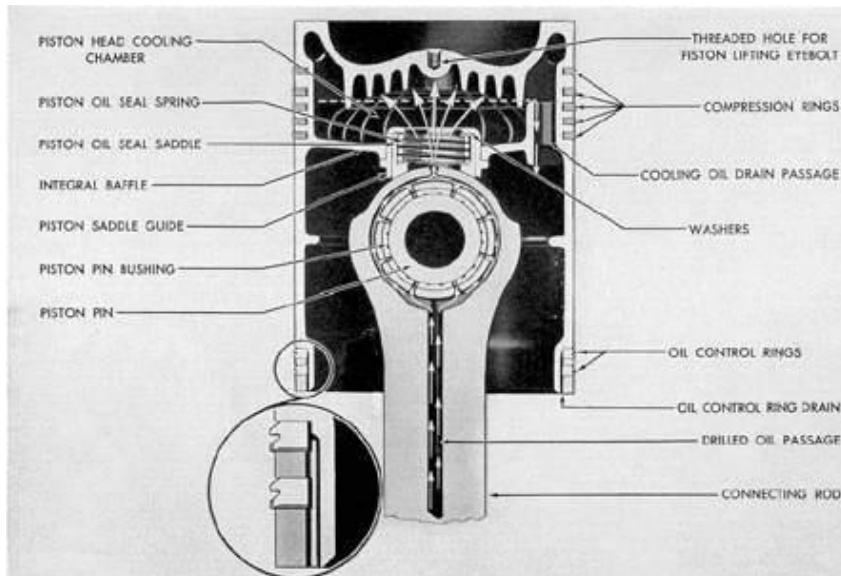
Piston Connecting Rod Assy adalah bagian mesin Diesel yang bergerak maju mundur mengkonversi tekanan pembakaran didalam ruang bakar menjadi gerak putar pada poros engkol (crankshaft). Piston dibuat ringan agar tidak menimbulkan momen inerti yang besar ketika beroperasi, karena itu dibuat berongga pada bagian bawahnya dan dari bahan yang ringan pula (campuran alumunium).

Piston menerima tekanan dan suhu pembakaran secara langsung, karena itu harus mendapat pendinginan secara cukup agar tidak kehilangan kekuatannya. Pendinginan piston dilakukan oleh pancaran minyak pelumas yang keluar dari ujung kecil connecting rod (lihat gambar 3. 6) dan oleh udara didalam Crankcase. Pada bagian keliling piston terpasang ring piston masing masing sebagai ring kompresi terletak dibagian atas dan ring oil terletak dibagian bawah.



NO	Nama Bagian
1	Connecting Rod
2	Connecting Screw
3	Connecting Bush
4	Locating pin
5	Connecting Bearing / metal jalan
6	Piston Pin
7	Piston
8	Retaining Ring
9	Compression Ring
10	Compression Ring
11	Compression Ring

Gambar 3. 4 Susunan bagian Piston Connecting Rod Assembly



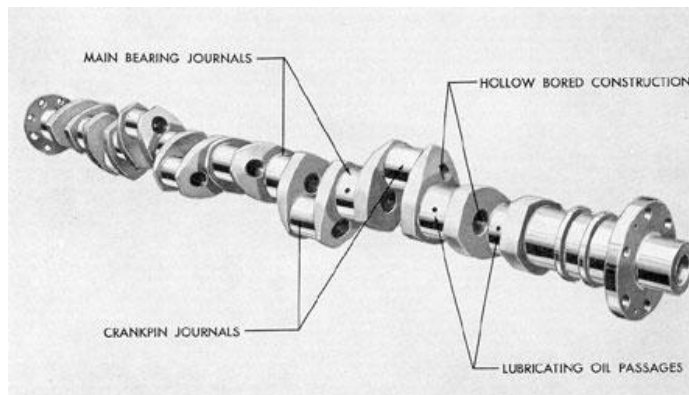
Gambar 3. 5 Piston dan batang piston

dibagian atas, dan ring pelumas terletak dibagian bawah. Piston tersambung bebas dengan batang piston oleh piston pin (gambar 3.4 dan 3.5).

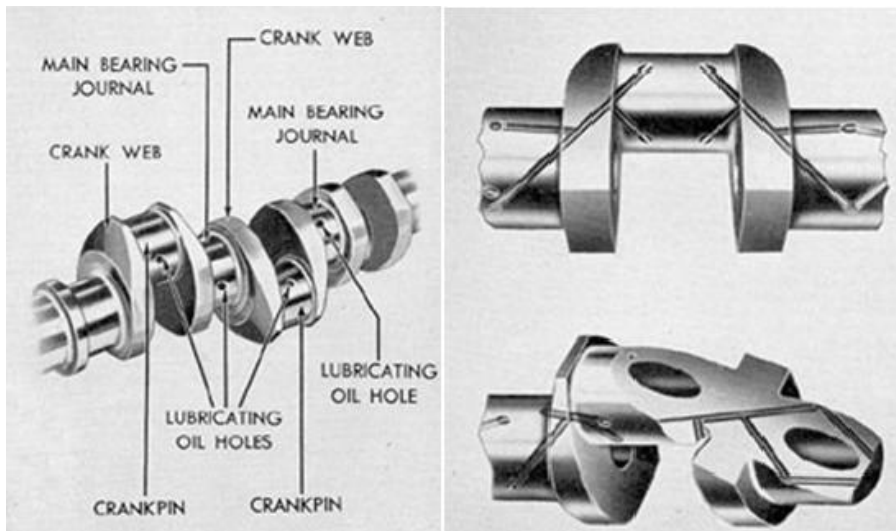
Connecting Rod (batang piston) pada ujung yang satu (ujung kecil) bergerak maju mundur sedang pada ujung yang lain (ujung besar) bergerak melingkar sesuai gerakan poros engkol. Didalam Connecting Rod terdapat saluran pelumas untuk menyalurkan pelumas dari poros engkol ke piston. Connecting Rod tersambung bebas dengan poros engkol melalui metal jalan yang terbuat dari bahan babbit.

3.5 CRANKSHAFT

Crank shaft atau poros engkol adalah bagian mesin Diesel yang merubah gerak maju mundur batang piston menjadi gerak putar. Bentuk dari crankshaft ini ditentukan oleh jumlah silinder dan urutan pembakaran yang berlaku (gambar 3.6). Urutan pembakaran ditentukan untuk mendapatkan momen puntir yang seimbang disepanjang crankshaft ketika mesin beroperasi, karena itu urutan pembakaran (Firing Order) tidak berurutan sesuai nomor silinder. Sesuai dengan jumlah silinder masing masing dan jenis langkahnya urutan pembakaran dapat dilihat pada tabel 3.1.

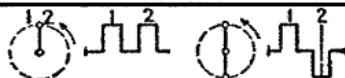
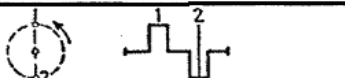
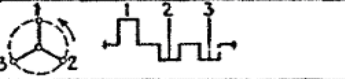
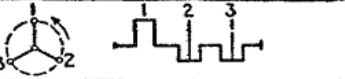
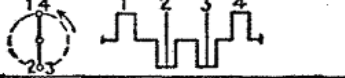
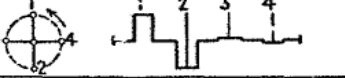
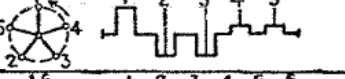
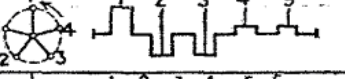
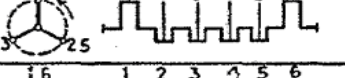
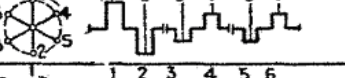
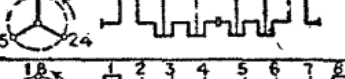
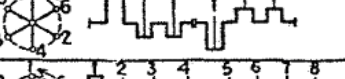
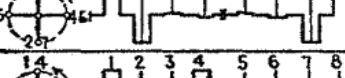
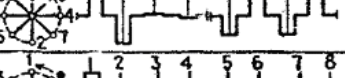
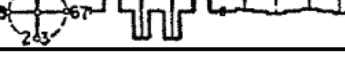
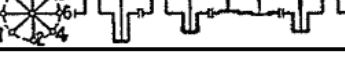


Gambar 3. 6 Porosengkol mesin Diesel 6 silinder



Gambar 3. 7 Lubang lubang saluran pelumas pada poros engkol

Tabel 3. 1 Susunan urutan pembakaran (Firing Order)

Juml Silin der	MESIN 4 LANGKAH		MESIN 2 LANGKAH	
	SUSUNAN ENKOL	Firing Order	SUSUNAN ENKOL	Firing Order
2		1-2- 1-2		1-2
3		1-3-2		1-2-3
4		1-2-4-3 OR 1-3-4-2		1-4-2-3
5		1-3-5- 4-2		1-4-3- 2-5
6		1-5-3-6- 2-4		1-4-5-2- 3-6
6		1-4-3- 6-2-5		1-6-7-4- 3-5
8		1-5-2-6- 3-4-7-8		1-6-4-7- 2-5-3-8
8		1-6-2-8- 7-3-5-4		1-8-6-4- 2-7-5-3

Disepanjang crankshaft terdapat lubang saluran pelumas guna mengalirkan pelumas dari pompa menuju piston (gambar 3.7). Pelumas ini mengalir dari pompa melalui bantalan, masuk kedalam poros dan diteruskan keconnecting rod, dan akhirnya kepiston untuk mendinginkan dinding piston dan melumasi bidang gesek antara piston dan cylinder liner.

3.6 FLYWHEEL

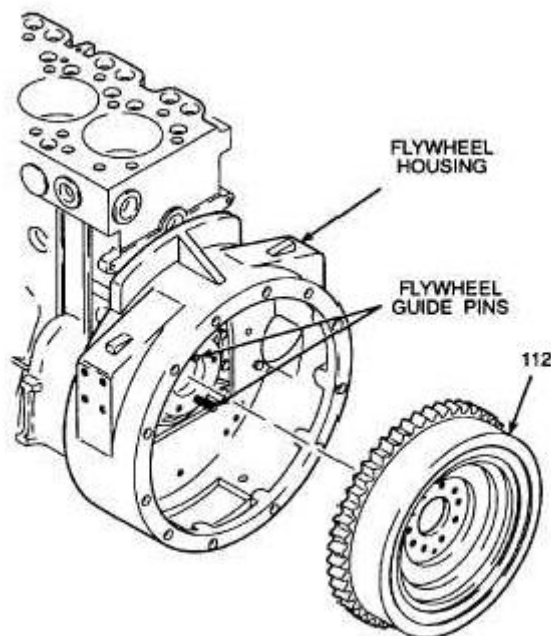
Flywheel atau juga disebut sebagai roda gila adalah bagian mesin Diesel yang berfungsi sebagai akumulator energi, yaitu bersifat menampung dan menyimpan energi ketika piston melakukan langkah kerja, dan menyerahkannya kembali ketika piston melakukan langkah

pembuangan, penghisapan dan kompresi. Dengan demikian putaran mesin Diesel menjadi lebih rata.

Flywheel umumnya dipasang pada bagian belakang mesin (gambar 3.8) dan padanya terpasang roda gigi yang tersambung dengan alat start. Sesuai jumlah silinder, maka ukuran flywheel akan semakin mengecil jika jumlah silinder semakin banyak, dan akan semakin besar jika jumlah silinder semakin sedikit. Berikut adalah rumusan besarnya flywheel

$$E = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Dimana E adalah energy yang ingin disimpan, I = momen inersia (massa m x jari jari r) dari flywheel dan ω adalah kecepatan sudut dari putaran poros engkol.



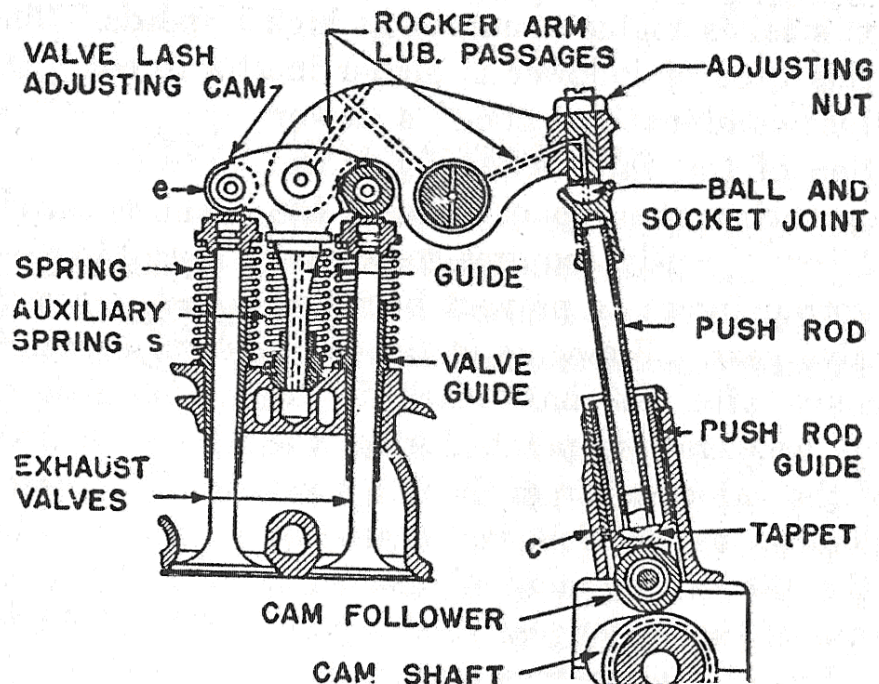
Gambar 3. 8 Flywheel dan penempatannya

3.7 INLET DAN EXHAUST VALVE.

Pada mesin Diesel 4 langkah, Inlet Valve berfungsi untuk mengatur pemasukan udara kedalam silinder dan Exhaust Valve berfungsi untuk mengatur pembuangan gas bekas hasil pembakaran keluar silinder. Pada mesin 2 langkah hanya terdapat Inlet Valve atau Exhaust Valve saja, karena fungsi valve lainnya digantikan oleh gerakan pistonnya sendiri. Pembukaan dan penutupan masing masing valve tersebut adalah sesuai dengan masing masing proses yang terjadi didalam silinder. Sebagai penggerak valve adalah camshaft (gambar 3.9), dimana gerak putar camshaft menyebabkan push rod (batang pendorong) bergerak maju untuk mendorong rocker arm dan membuka valve, Sebaliknya pegas katup mengembalikan katup keposisi menutup ketika gerakan putar camshaft menjadikan posisi pushrod mundur.

Putaran camshaft tergantung dari putaran mesin, dimana untuk mesin 4 langkah besarnya adalah setengah dari putaran mesin, sedang untuk mesin 2 langkah adalah satu kali putaran mesin.

Timing pembukaan dan penutupan katup adalah hal yang sangat menentukan besarnya efisiensi mesin Diesel 4 langkah. Pembukaan dan penutupan katup masuk maupun katup buang pada waktu yang tepat ditinjau dari posisi piston harus di amati dengan tepat. Kedua katup tersebut digerakkan dengan camshaft yang diputar oleh rantai, tali kipas bergigi atau dengan roda gigi dari crankshaft.

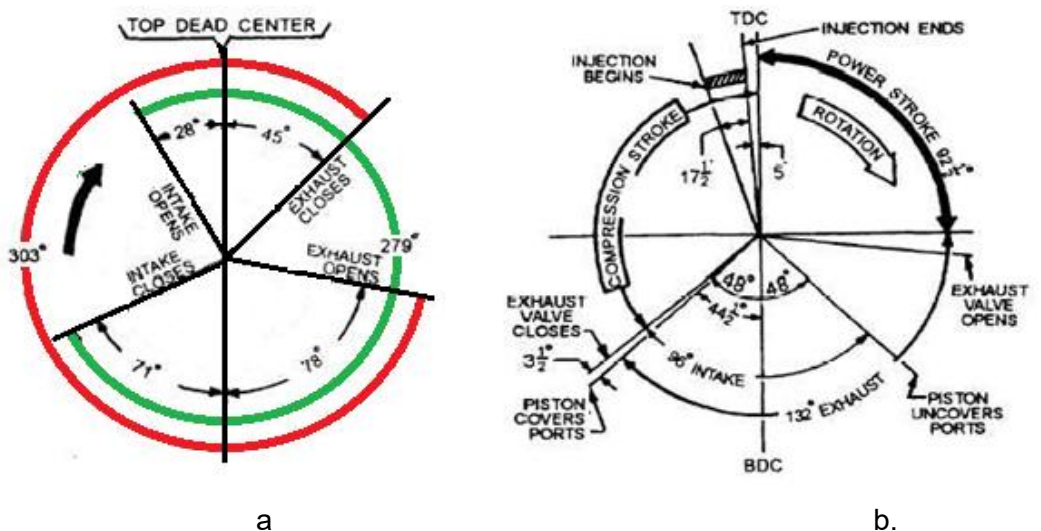


Gambar 3. 9 Susunan Cam Shaft, Push Rod, Rocker Arm

Gambar 3.10 a, menunjukkan saat pembukaan dan penutupan inlet dan exhaust valve pada mesin 4 langkah. Pada gambar ini terlihat bahwa pembukaan inlet valve (katup masuk) dimulai pada 28° putaran poros engkol sebelum piston mencapai Titik Mati Atas (Top Dead Center)

dan diakhiri pada 71° putaran poros engkol setelah piston mencapai Titik Mati Bawah (Bottom Dead Center). Sementara itu pembukaan dan penutupan Exhaust Valve (katup buang) berlangsung pada 78° sebelum TMB dan berakhir pada 45° setelah TMA.

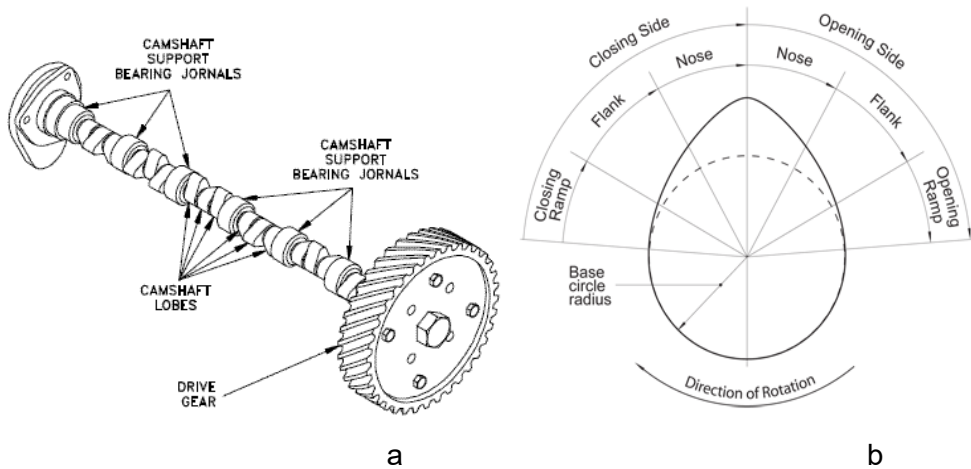
Gambar 3.10 b, menunjukkan saat pembukaan dan penutupan exhaust valve pada mesin 2 langkah. Pada gambar ini terlihat bahwa pembukaan exhaust valve (katup buang) berlangsung pada $\pm 100^{\circ}$ setelah TMA dan berakhir pada 48° setelah TMB. Sementara itu laluan udara masuk yang terbuka dan tertutup dilakukan oleh gerakan piston, terbuka pada 48° sebelum TMB dan tertutup 48° setelah TMB.



Gambar 3. 10 Timing pembukaan katup masuk dan katup buang untuk mesin 4 langkah

Gambaran lebih lengkap dari sebuah camshaft adalah seperti terlihat didalam gambar 3.11, dimana gambar a) menunjukk sebuah camshaft untuk mesin 6 silinder 4 langkah dengan roda gigi penggeraknya. Roda gigi ini terhubung dengan roda gigi yang terpasang dengan crankshaft, yang menjadikan camshaft berputar. Putaran camshaft untuk mesin 4 langkah

adalah setengah dari putaran crankshaft. Camshaft terbagi menjadi 2 sisi utama yaitu sisi untuk pembukaan katup (closing side) dan sisi untuk penutupan katup. Masing masing sisi terdiri dari nose (hidung), flank (panggul) dan ramp (lereng).



Gambar 3. 11 Camshaft (poros bubungan)

BAB IV

KELENGKAPAN MESIN DIESEL

4.1 PENGERTIAN

Disamping bagian utama yang sudah disebutkan diatas, mesin Diesel dilengkapi dengan bagian bagian lain untuk memungkinkan mesin Diesel dapat beroperasi dengan lancar, aman dan otomatis. Bagian bagian tersebut dapat dikelompokkan kedalam sistim sistim yaitu:

- Sistim pemutar poros.
- Sistim pelumasan.
- Sistim air pendingin
- Sistim bahan bakar.
- Sistim saluran udara masuk dan gas buang.
- Sistim kontrol.
- Sistim pengaman

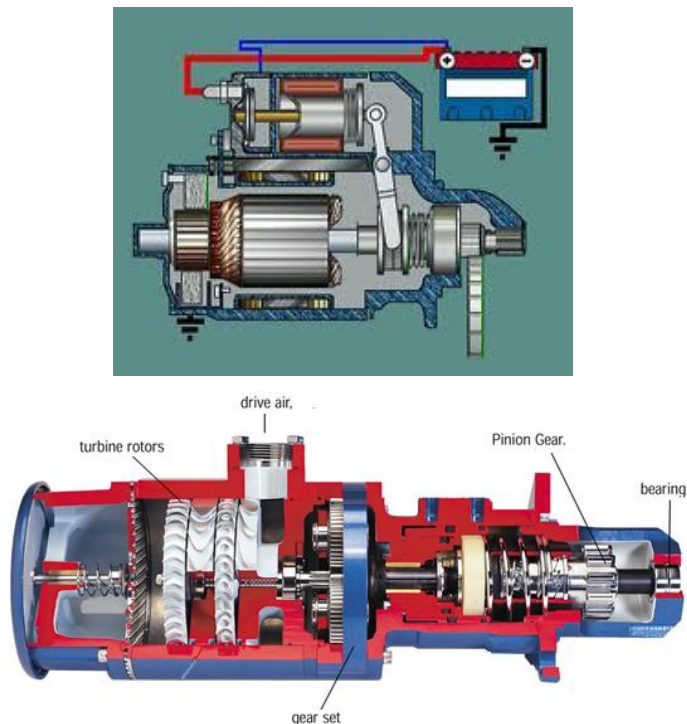
4.2 SISTIM PEMUTAR POROS

Sistim pemutar poros mesin Diesel digunakan untuk memutar poros diwaktu mesin Diesel distart dan belum dapat memutar dirinya sendiri. Ada tiga jenis pemutar poros mesin Diesel yaitu jenis pemutar tangan, motor listrik dan jenis motor udara. Jenis pemutar tangan digunakan untuk mesin Diesel dengan kapasitas sangat rendah, seperti untuk mesin mesin pertanian, dan mesin perahu. Jenis motor listrik banyak dijumpai pada mesin mesin Diesel untuk kendaraan dan mesin mesin dengan kapasitas sedang lainnya, sedang untuk mesin mesin pembangkit listrik atau yang stasioner dengan kapasitas besar, digunakan motor udara.

Motor listrik digerakkan oleh sumber listrik DC dari battery (gambar 4.1), dimana battery tersebut setelah digunakan diisi kembali. Pengisian battery menggunakan pengisi battery (battery charger) yang

listriknya disupply dari generator listrik yang digerakkan oleh mesin Diesel terkait atau dari pembangkit listrik lain.

Motor udara (gambar 4.1) digerakkan dengan udara bertekanan yang diperoleh dari tangki udara, dimana tangki udara ini selalu dijaga tekanannya oleh compressor khusus.



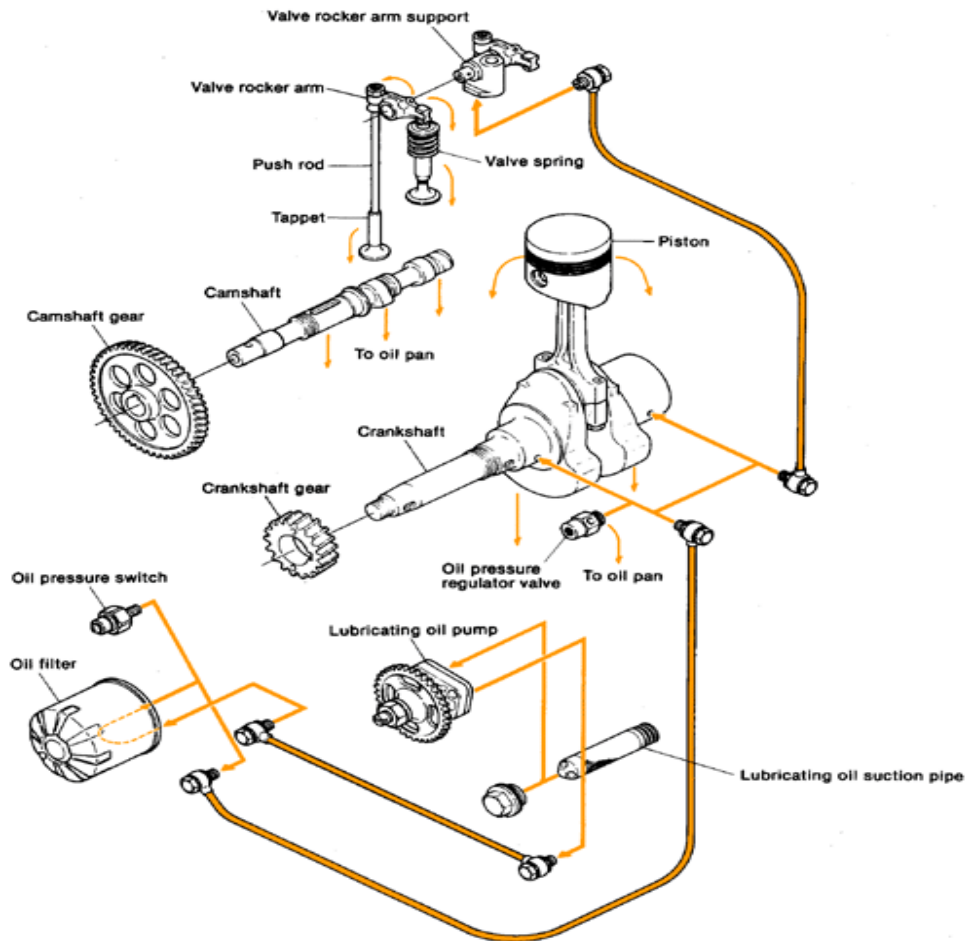
Gambar 4. 1 Peralatan start motor listrik dan dan motor udara

4.3 SISTIM PELUMASAN

Sistim pelumasan mesin Diesel berfungsi untuk melumasi dan mendinginkan bagian bagian yang bergesekan seperti piston dengan linernya, bantalan crankshaft, bantalan camshaft, valve dll. Disamping itu pelumas juga digunakan untuk mendinginkan dinding piston yang terkena langsung oleh panasnya pembakaran bahan bakar seperti sudah dikemukakan dimuka. Gambar 4.2 menunjukkan sebuah sistim pelumasan mesin Diesel, dimana mula mula pelumas dihisap dari crankcase oleh pompa pelumas melalui pipa hisap. Dari pompa pelumas

dialirkan menuju filter (saringan halus) untuk menyaring kotoran kotoran padat yang terbawa, dan selanjutnya dialirkan menuju bantalan dan masuk kedalam lubang saluran crankshaft, masuk kedalam saluran didalam connecting rod, dan keluar didinding piston dan connecting pin. Pelumas juga dialirkan menuju rocker arm support, rocker arm, inlet dan exhaust valve, pushrod dan camshaft. Dari masing masing bagian yang dilumasi pelumas akan jatuh kebawah kembali kedalam crankcase. Untuk mempertahankan suhu pelumas pada level yang ditentukan, khususnya pada mesin mesin besar diberikan pendingin pelumas tersendiri.

Minyak pelumas mesin Diesel akan terkontaminasi oleh unsur bahan bakar dan proses pembakaran yang terjadi didalam silinder. Karena itu pelumas mesin Diesel memerlukan penggantian yang lebih sering dibanding pelumas turbin uap maupun turbin gas. Untuk mengurangi besarnya kontaminasi tersebut dipasang alat tambahan yang diletakkan diluar mesin. Alat ini yang disebut sebagai "Oil Purifier" akan menghisap pelumas dari dalam crankcase, membuang kotorannya dan mengembalikannya lagi kedalam crankcase.

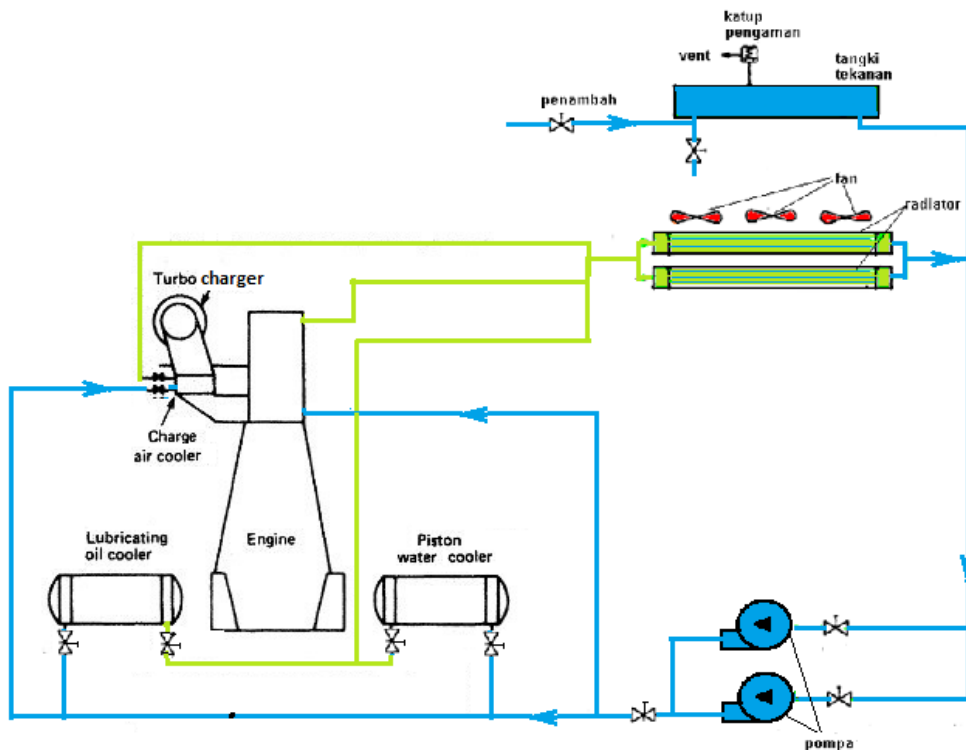


Gambar 4. 2 Sistim pelumasan mesin Diesel

4.4 SISTIM AIR PENDINGIN

Sistim air pendingin mesin Diesel berfungsi untuk mendinginkan mesin agar tidak terjadi panas lebih yang bisa menyebabkan keretakan pada cylinder head, cylinder block atau cylinder liner. Juga untuk mendinginkan udara masuk silinder setelah turbocharger agar daya mesin dapat dipertahankan pada level yang ditentukan. Air pendingin mengalir dengan sirkulasi tertutup dari radiator kemesin dan balik lagi ke radiator untuk didinginkan dengan udara atmosfer. Air yang digunakan haruslah air distillate ditambah bahan penambah (additive) untuk

menghindari terjadinya pengerakan dan korosi. Penggunaan air PDAM, atau air kali tidak dianjurkan karena akan menimbulkan kerak.



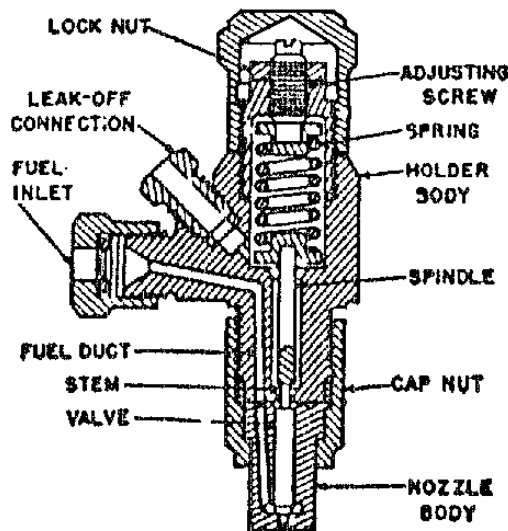
Gambar 4. 3 Sistim air pendingin mesin PLTD

4.5 SISTIM BAHAN BAKAR

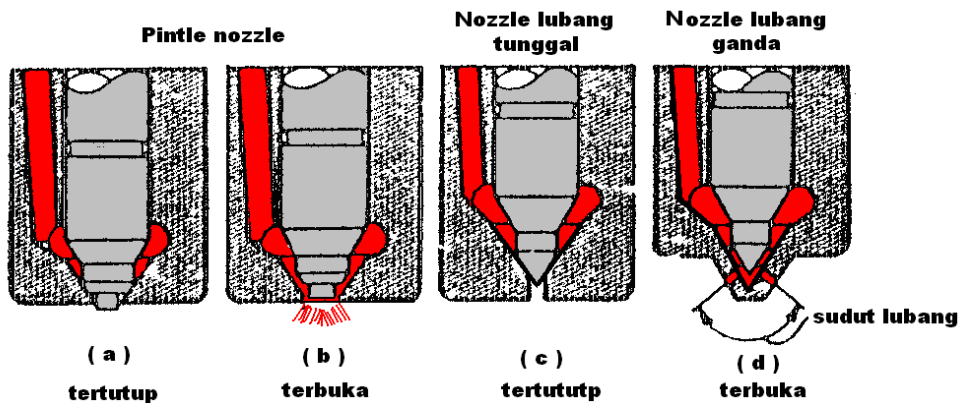
Sistim bahan bakar mesin PLTD terbagi menjadi dua bagian yaitu sistim bahan bakar didalam mesin dan sistim bahan bakar diluar mesin. Sistim bahan bakar didalam mesin meliputi pompa bahan bakar tekanan tinggi, pengatur aliran bahan bakar dan injektor. Injektor berfungsi untuk membuat bahan bakar masuk kedalam silinder dalam bentuk terpecah pecah menjadi butir butir kecil (kabut) sehingga mudah dapat bereaksi dengan udara. Untuk mencapai tujuan tersebut injektor terdiri dari dua jenis yaitu jenis injektor mekanis dan jenis injektor udara.

Dengan injektor mekanis dimaksudkan bahwa pengabutan bahan bakar terjadi atas dasar proses mekanis yaitu dengan tekanan tinggi yang menghasilkan kecepatan tinggi sehingga bahan bakar terpecah menjadi butir-butir kecil ketika bersinggungan dengan udara didalam silinder. Dengan injektor udara dimaksudkan bahwa pengabutan terjadi atas dasar kecepatan udara yang tinggi, dimana bahan bakar terbawa dan terpecah masuk kedalam silinder. Jenis injektor semacam ini sekarang sudah jarang digunakan karena memerlukan tambahan alat berupa kompressor dan tangki udara.

Gambar 4.3 menunjukkan sebuah injektor mekanis. Bahan bakar masuk melalui saluran masuk dengan tekanan yang tinggi. Dengan tekanan tersebut spindle akan terangkat keatas mendorong pegas penekan, dan karenanya bahan bakar masuk kedalam ruang bakar melalui lubang pengabut (nozzle). Nozzle mempunyai banyak bentuk tergantung bentuk dan besar kecilnya ruang pembakaran sebagaimana dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4. 4 Nozzle mekanis



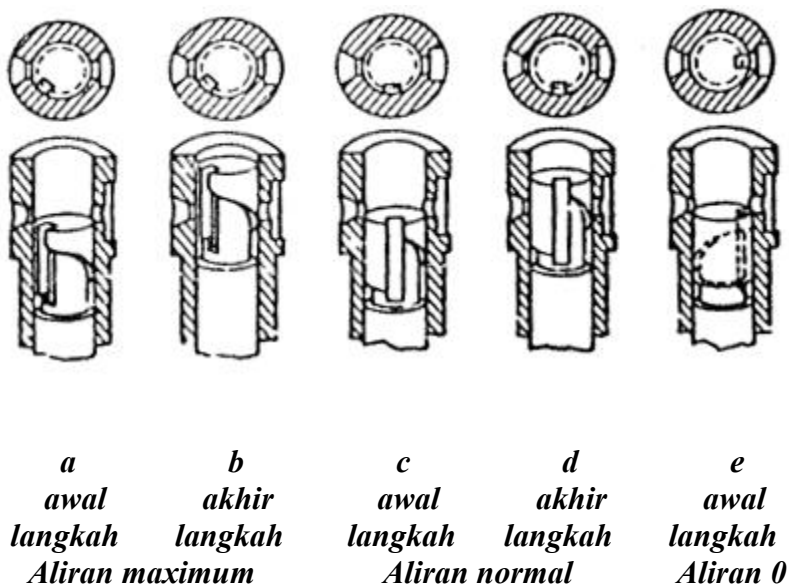
Gambar 4. 5 Berbagai bentuk nozzle bahan bakar

Pompa bahan bakar tekanan tinggi adalah jenis pompa langkah positif yaitu jenis roda gigi, jenis sekerup atau jenis plunyer. Pada jenis pompa plunyer, masing masing plunyer berhubungan langsung dengan masing masing injector didalam silinder. Pompa plunyer ini juga sekaligus berfungsi sebagai penakar jumlah bahan bakar yang dimasukkan kedalam silinder sesuai dengan besarnya daya mesin yang dikehendaki. Gambar 4.5 menunjukkan sebuah pompa plunyer dan injector yang terkait. Pompa ini mempunyai langkah plunyer yang tetap, tetapi dengan posisi sudut yang bisa digeser / diputar. Jumlah bahan bakar yang dimasukkan kedalam silinder tergantung kepada posisi sudut plunyer, semakin besar sudut plunyer semakin besar jumlah bahan bakar yang dialirkan, dan pompa tidak akan mengalirkan bahan bakar sama sekali jika posisi sudutnya adalah 0 (nol).

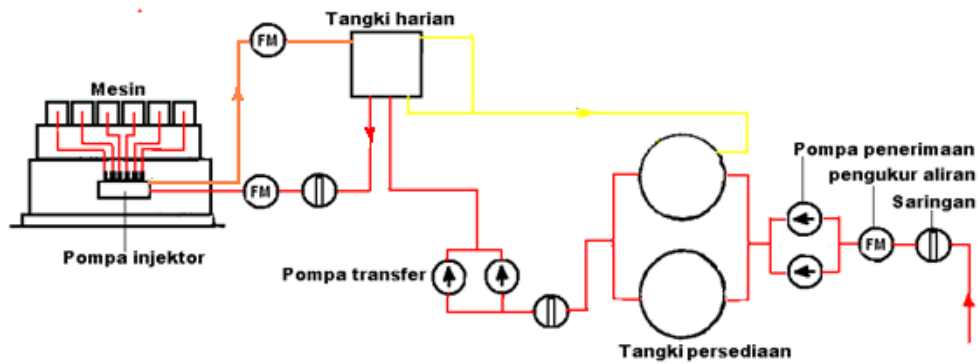
Sistim bahan bakar diluar mesin (gambar 4.6) untuk jenis minyak HSD (solar) meliputi instalasi penerimaan, penimbunan dan penyaluran bahan bakar kepompa bahan bakar didalam mesin. Pada sisi penerimaan terdapat saringan penerimaan, pengukur aliran penerimaan dan pemompaan kedalam tangki persediaan. Persediaan bahan bakar ditempatkan didalam tangki persediaan, terdiri minimal 2 buah tangki,

dengan maksud satu buah untuk penerimaan dan pengendapan, dan yang lainnya untuk dioperasikan melayani unit yang sedang beroperasi. Dari tangki persediaan bahan bakar dipompakan masuk kedalam tangki harian yang diletakkan pada posisi diatas mesin. Posisi tangki harian ini diperlukan untuk menjamin agar mesin masih bisa berjalan jika terjadi aliran listrik terputus. Selanjutnya dari tangki harian bahan bakar dialirkan masuk kedalam mesin melalui saringan dan pengukur aliran.

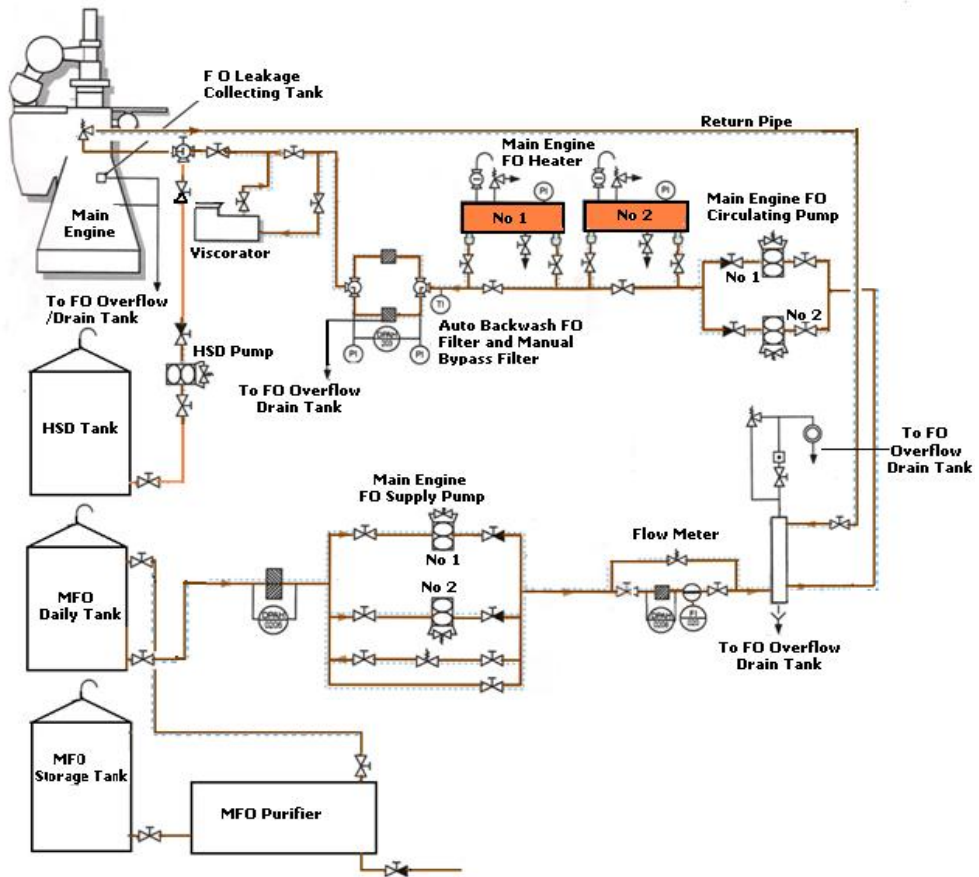
Sistim bahan bakar diluar mesin untuk minyak jenis MFO (residu) (gambar 4.7) memerlukan tambahan peralatan berupa pemanas dan purifier. Pemanas diperlukan untuk mendapatkan nilai viskositas (kekentalan) yang sesuai untuk tujuan pengabutan, sedang purifier diperlukan untuk membuang air dan kotoran lainnya yang bisa mengganggu proses injeksi dan pembakaran bahan bakar tersebut didalam silinder.



Gambar 4. 6 Sistim bahan bakar diluar mesin



Gambar 4. 7 Sistim bahan bakar diluar mesin



Gambar 4. 8 Sistim bahan bakar PLTD dengan bahan bakar MFO (minyak residu).

Pada dasarnya ada dua jenis bahan bakar yang umum digunakan untuk mesin Diesel yaitu bahan bakar untuk mesin Diesel putaran rendah dan untuk mesin Diesel putaran tinggi. Untuk mesin Diesel putaran rendah digunakan bahan bakar minyak IDO (industrial Diesel Oil) yang disebut juga sebagai minyak MDF (Marine Diesel Fuel). Minyak IDO mempunyai angka Cetane (Cetane number) antara 40 – 45. Adapun spesifikasi minyak IDO atau MDF adalah seperti yang tertera pada table 4.1

Untuk mesin Diesel putaran tinggi digunakan minyak solar atau juga disebut minyak HSD (High Speed Diesel) dengan angka Cetane minimum 45. Adapun spesifikasi minyak HSD adalah seperti yang tertera pada table 4.2.

Tabel 4. 1 Spesifikasi minyak diesel sesuai Surat Keputusan Dirjen Migas No.002/ P / DM / MIGAS /1979 Tanggal 25 Mei 1979

NO	PROPERTIES	SATUAN/UNIT	LIMITS		TEST METHODS	
			MIN	MAX	ASTM	IP
1	Specific Gravity 60 / 60 °F		0.840	0.920	D-1298	
2	Viscosity Redwood 1/100 °F	Secs	35	45	D-445 *)	IP 70
3	Pour Point	°F	-	65	D-97	
4	Sulphur Content	% wt	-	1.5	D-1551/ 1552	
5	Conradson Carbon Residu	% wt	-	10	D-198	
6	Water Content	% vol	-	0.25	D-95	
7	Sediment	% wt	-	0.02	D-473	
8	Ash	% wt	-	0.02	D-482	
	Netralization Value :					
	- Strong Acid Number	mgKOH/gr	-	Nil		
9	Flash Point P.M.c.c	°F	150	-	D-93	
10	Colour ASTM		6	-	D-1500	

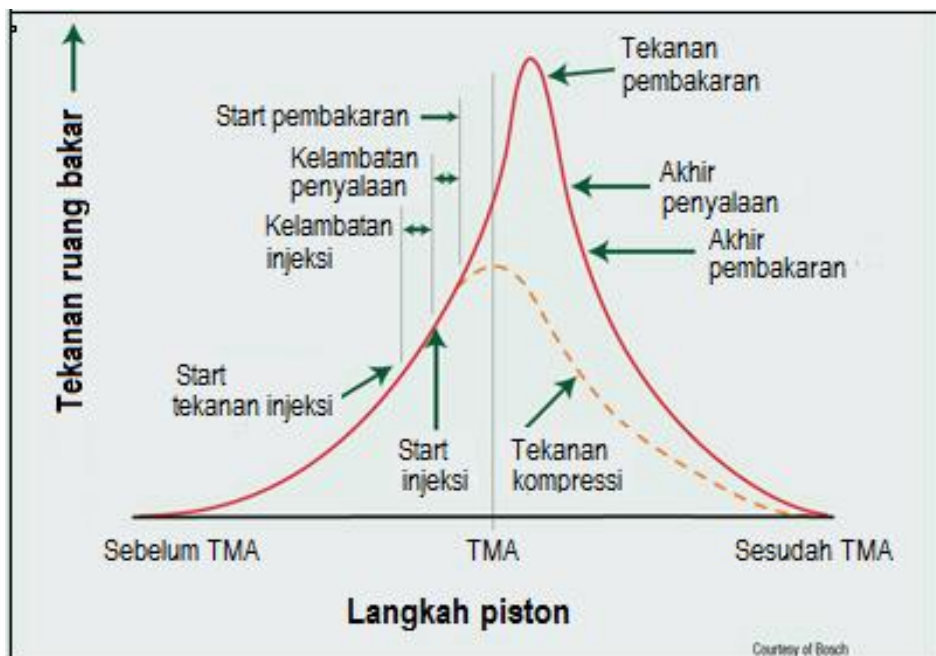
Tabel 4. 2 Spesifikasi minyak solar sesuai Surat Keputusan Dirjen Migas

3675

NO	Karakteristik	UNIT	Batasan		Metode Uji ASTM/lain	
			MIN	MAX	ASTM	IP
1	Angka Setana		45	-	D-613	
2	Indeks Stana		48	-	D4737	
3	Berat Jenis pada 15 ⁰ C	Kg/m ³	815	870	D-1298 / D-4737	
4	Viskositas pada 40 ⁰ C	Mm2/sec	2.0	5.0	D-445	
5	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0.35	D-1552	
6	Distilasi : T95	°C	-	370	D-86	
7	Titik Nyala	°C	60	-	D-93	
8	Titik Tuang	°C	-	18	D-97	
9	Karbon Residu	merit	-	Kelas I	D-4530	
10	Kandungan Air	Mg/kg	-	500	D-1744	
11	Biological Growth	-	Nihil			
12	Kandungan FAME	% v/v	-	10		
13	Kandungan Metanol & Etanol	% v/v	Tak Terdeteksi		D-4815	
14	Korosi bilah tembaga	Merit	-	Kelas I	D-130	
15	Kandungan Abu	% m/m	-	0.01	D-482	
16	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0.01	D-473	
17	Bilangan Asam Kuat	mgKOH/gr	-	0	D-664	
18	Bilangan Asam Total	mgKOH/gr	-	0.6	D-664	
19	Partikulat	Mg/l	-	-	D-2276	
20	Penampilan Visual	-	Jernih dan terang			
21	Warna	No.ASTM	-	3.0	D-1500	

Cetane adalah jenis bahan bakar minyak yang dibawah tekanan sangat cepat bisa terbakar, dihitung dari saat injeksi dilakukan. Kecepatan terbakarnya minyak Cetane diberi angka 100. Cetane Number adalah angka perbandingan kecepatan terbakar dibawah tekanan dari bahan bakar mesin Diesel terhadap minyak Cetane. Makin tinggi Cetane Number maka makin pendek waktu yang diperlukan untuk pembakaran, dan ini cocok untuk mesin Diesel kecepatan tinggi. Cetane Number juga dikenal sebagai angka yang menunjukkan kelambatan terbakarnya suatu jenis minyak, artinya semakin rendah Cetane Number semakin lama waktu yang diperlukan untuk pembakaran.

Gambar 4.8 menunjukkan bagaimana suatu pembakaran bahan bakar didalam ruang bakar berlangsung, dimulai dari start tekanan injeksi bahan bakar, dilanjutkan dengan start injeksi, start pembakaran sampai akhir pembakaran. Cetane Number memegang peran dari start pembakaran samapi akhir pembakaran, dan itu harus berlangsung pada posisi piston relative dekat TMA, atau ketika nilai kompresi tinggi. Pembakaran yang berlangsung jauh sesudah TMA tidak akan memberikan gaya dorong yang besar, atau sebaliknya pembakaran yang dilakukan jauh sebelum TMA akan menghambat gerak piston. Disini jelas bahwa semakin cepat putaran mesin diperlukan waktu pembakaran yang lebih pendek dibanding mesin yang putarannya lambat.



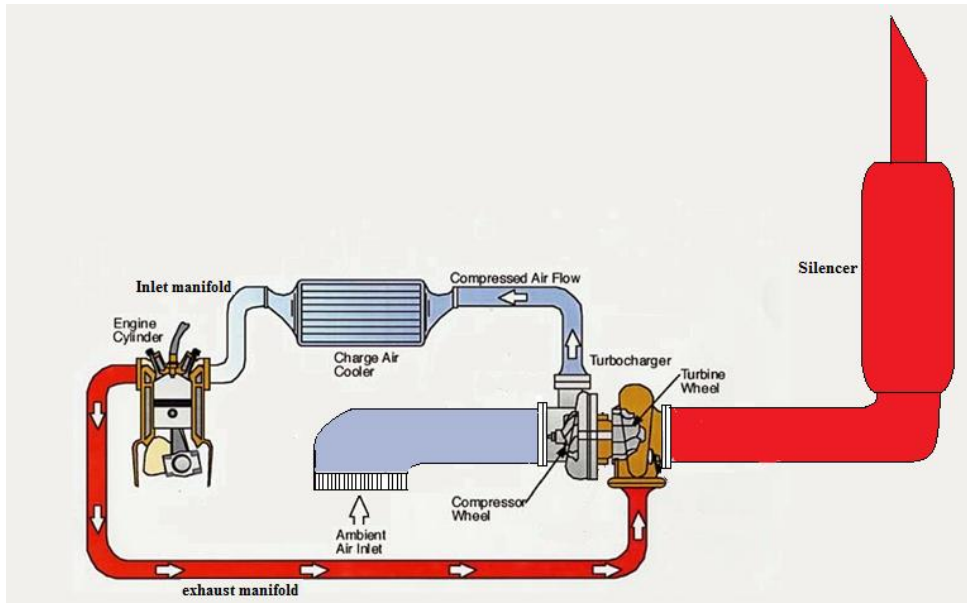
Gambar 4. 9 Proses pembakaran terhadap langkah piston

4.6 SISTIM SALURAN UDARA MASUK DAN SALURAN GAS BEKAS

(Gambar 4.8)

Sistim saluran udara masuk terdiri dari saringan, saluran, bagian kompressor dari turbocharger, pendingin udara dan inlet manifold. Saringan digunakan untuk menyaring kotoran padat yang terbawa oleh udara yang bisa mengakibatkan pengotoran atau kerusakan pada bagian kompressor maupun bagian silinder. Kompressor berfungsi untuk meningkatkan jumlah udara masuk kedalam silinder, guna meningkatkan daya mesin. Kompressor ini digerakkan oleh turbin yang digerakkan oleh aliran gas bekas keluar silinder. Pasangan kompressor dan turbin dikenal dengan sebutan turbocharger. Kompressor juga bisa digerakkan oleh mesinnya sendiri dan untuk ini dikenal dengan sebutan supercharger. Inlet manifold adalah bagian mesin Diesel yang mendistribusikan aliran udara masuk silinder dengan jumlah aliran yang sama.

Sistim saluran gas bekas keluar silinder terdiri dari exhaust manifold, bagian turbin dari turbocharger, exhaust pipe dan exhaust silencer. Exhaust manifold berfungsi untuk menyalurkan gas bekas keluar masing masing silinder untuk digabung menjadi satu menuju turbin turbocharger. Gas bekas yang masih memiliki energi cukup tinggi dimanfaatkan untuk memutar turbin guna memutar kompressor turbocharger sebagaimana sudah dijelaskan dimuka. Exhaust pipe digunakan untuk menyalurkan gas bekas dari turbin turbocharger kesilenser guna menurunkan intensitas suara yang ditimbulkan oleh aliran gas bekas.



Gambar 4. 10 Sistim saluran udara masuk dan saluran gas bekas

4.7 SISTIM KONTROL

Sistim kontrol merupakan kelengkapan PLTD untuk:

1. Mengendalikan pelaksanaan urut urutan start secara otomatis dari saat tombol start membuka, udara start mengalir, mesin mulai berputar, terjadi pembakaran, pemanasan putaran rendah, akselerasi, pemanasan putaran tinggi, pembentukan tegangan pada generator, sinkronisasi dengan jaringan listrik / pembangkit lain (jika beroperasi bersama jaringan / pembangkit lain), pembebanan minimum, kenaikan beban dan pembebanan maksimum, pompa pelumas beroperasi, pompa air pendingin beroperasi, katup udara
2. Mengendalikan putaran mesin pada putaran nominalnya saat dibebani (jika operasi tunggal) atau mengendalikan daya mesin

terhadap perubahan frekuensi yang terjadi (jika beroperasi parallel dengan jaringan atau pembangkit lain).

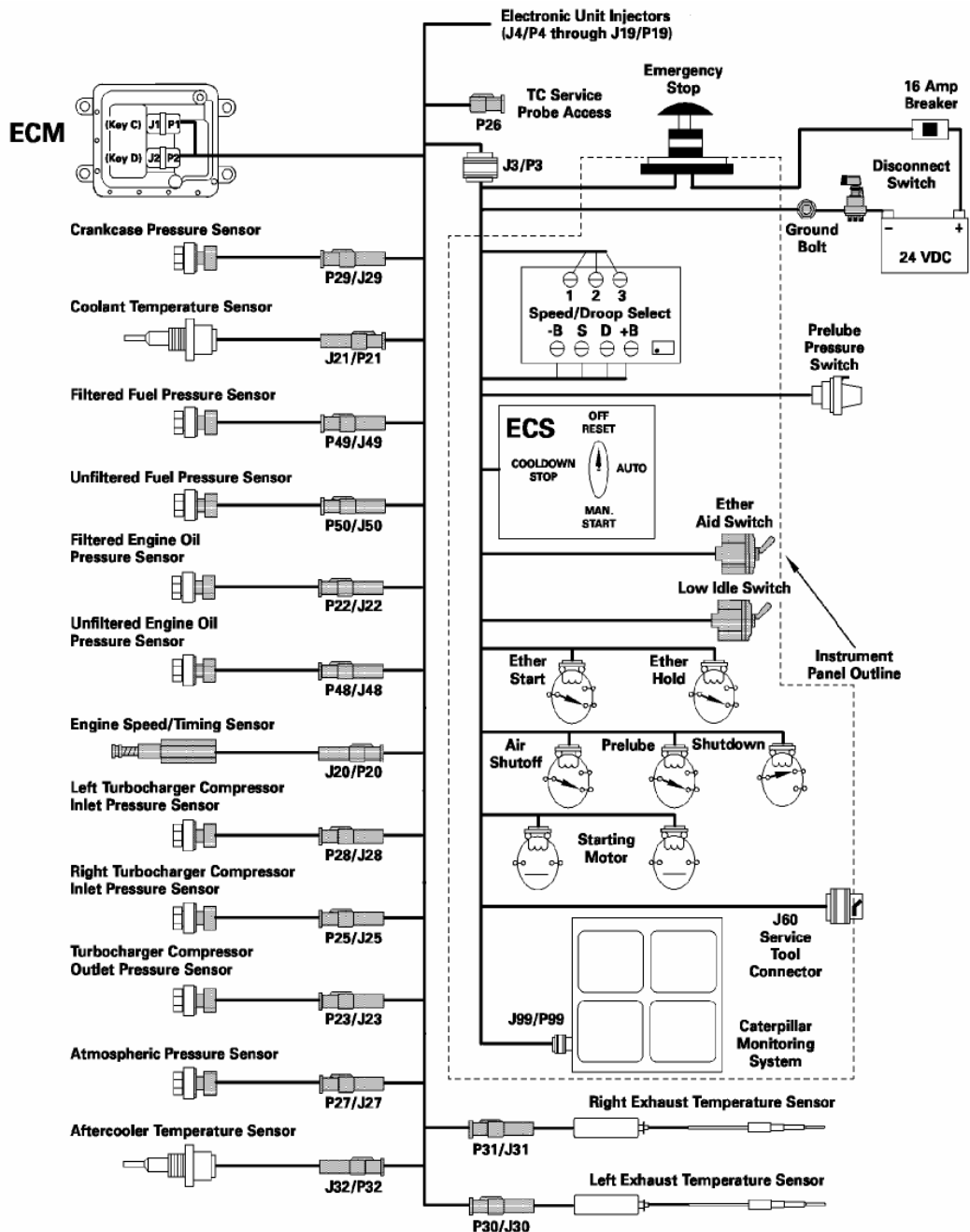
3. Mengendalikan pelaksanaan urutan stop secara otomatis dari penurunan beban, pembebanan minimum, keluar dari parallel, pendinginan putaran tinggi, penurunan putaran, pendinginan putaran rendah, penutupan katup bahan bakar, sirkulasi minyak pelumas dan penghentian operasi pompa pelumas.

Yang dikendalikan oleh sistem kontrol adalah jumlah bahan bakar yang dikabutkan kedalam silinder selama proses pembakaran melalui nozel bahan bakar. Pada mesin Diesel yang lama pengaturan dilakukan secara mekanik, yaitu dengan merubah posisi plunyer pompa bahan bakarnya (lihat 4.5). Mesin Diesel modern pengaturan dilakukan dengan bantuan alat electronic (gambar 4.9).

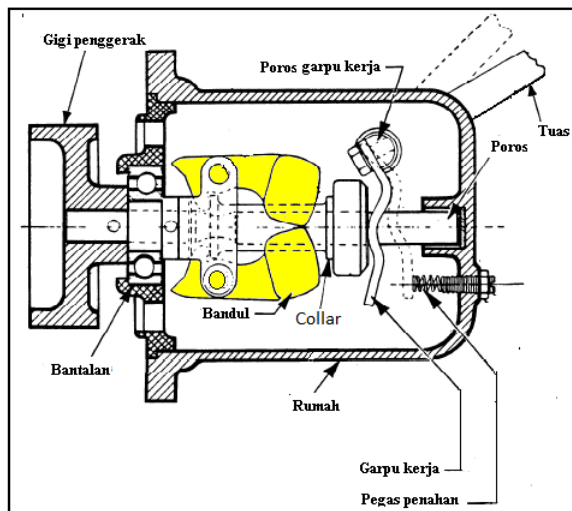
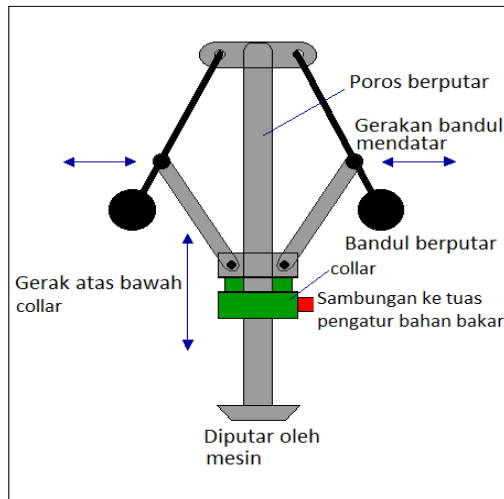
Pada gambar 4.9 tsb digambarkan untuk kepentingan start digunakan ECS (Electronic Control Start) dengan menempatkan tombol ke posisi start manual atau start otomatis dan untuk kepentingan stop dengan menempatkan tombol ke posisi shutdown. Pada putaran nominal, pengaturan putaran terhadap perubahan beban dilakukan oleh governor sesuai speed droop yang dipilih (speed / droop selector). Selanjutnya sinyal yang diberikan oleh ECS, putaran dan speeddroop, bersama masukan dari sinyal lainnya akan diolah didalam ECM (Electronic Control Module) dan diteruskan ke Electronic Unit injection guna memasukkan bahan bakar kedalam silinder.

Governor sebagaimana disebutkan diatas, adalah governor electronic yang digunakan pada mesin mesin modern. Namun prinsip kerja governor dapat dijelaskan sebagai berikut (lihat gambar 4.10). Jika mesin tidak beroperasi maka bandul akan terletak pada posisi paling bawah. Ketika

mesin mulai berputar maka bandul juga akan berputar. Akibat putaran maka gaya sentrifugal yang timbul akan melempar bandul keluar, mengakibatkan collar bergerak keatas sampai pada suatu posisi tertentu sesuai putaran kerja mesin. Ketika mesin dibebani maka putaran akan turun dan collar bergerak kebawah menggerakkan tuas pengatur aliran bahan bakar untuk menambah aliran bahan bakar, sehingga putaran mesin dapat ditahan untuk tidak terus turun menuju 0 rpm. Ketika putaran mesin naik dari putaran kerja, maka collar akan bergerak naik, menggerakkan tuas pengatur aliran bahan bakar untuk mengurangi aliran bahan bakar. sehingga putaran mesin dapat ditahan untuk tidak terus naik menuju over speed.



Gambar 4. 11 Rangkaian sistim control dan pengaman Carterpillar



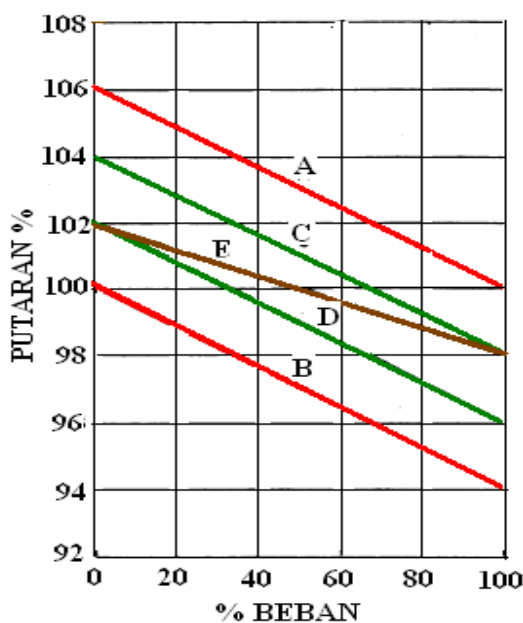
Gambar 4. 12 Governor mekanik (prinsip dan kondisi terpasang)

Governor sebagaimana disebutkan diatas adalah governor generasi pertama. Kini governor telah berkembang lebih jauh. Bandul mekanis diganti dengan pompa yang membangkitkan tekanan pada sistim governor hydrolis, atau diganti dengan pulsa generator yang membangkitkan pulsa listrik pada governor electronic. Demikian halnya dengan tuas mekanik, digantikan dengan pipa minyak hidrolis pada governor hydrolis, dan dengan kabel listrik pada governor electronic.

Governor mempunyai karakteristik yang dikenal dengan sebutan speeddroop dengan satuan persen.

$$\text{Speed droop} = \frac{\text{perubahan putaran pada perubahan beban } 100\%}{\text{putaran kerja}} \times 100\%$$

Untuk menjelaskan rumusan diatas lihat gambar 4.13. Untuk A, speed droop 6%, pada putaran nominal (100% = frekuensi generator = 50 Hz), dan beban 100%, maka jika beban dihilangkan menjadi 0% putaran akan naik menjadi 106%. Demikian sebaliknya pada putaran 100% dengan beban 0%, maka jika beban naik menjadi 100%, putaran akan turun menjadi 94%.



Kecepatan putaran v-s beban.

- A. Speed droop 6%, putaran nominal pada beban 100%
- B. Speed droop 6%, putaran nominal pada beban 0 %
- C. Speed droop 6%, putaran nominal pada beban 66,7 %
- D. Speed droop 6%, putaran nominal pada beban 33,3%
- E. Speed droop 4%, putaran nominal pada beban 50%

Gambar 4. 13 Karakteristik governor dengan berbagai pembebanan pada putaran 100%.

4.8 SISTIM PENGAMAN

Sistim pengaman (proteksi) digunakan untuk mengamankan mesin dari kerusakan berat oleh karena kondisi operasi yang diluar batas. Sistim proteksi terdiri dari dua macam, yaitu sistim proteksi yang memberikan komando secara langsung untuk mematikan mesin (trip), dan sistim proteksi yang memberikan peringatan (alarm) kepada operator untuk untuk segera mengambil langkah guna menghindari kerusakan lebih lanjut dari mesin.

Tabel 4.3 menunjukkan nama nama, jenis dan tujuan proteksi yang diterapkan pada mesin Diesel Pembangkit Listrik. Terdapat 21 nama alat proteksi, 3 diantaranya mengkomando pemberhentian operasi pembangkit tersebut (Stop), yang lainnya memberikan peringatan kepada operator agar melakukan langkah langkah guna menyelamatkan pembangkit tersebut dari kerusakan lebih lanjut.

Tabel 4. 3 Sistim proteksi mesin Diesel

No	Nama alat proteksi	Jenis proteksi	Tujuan proteksi
1	Tekanan minyak pelumas rendah	S	Menghindari kerusakan bagian bergesekan akibat kurangnya minyak pelumas
2	Suhu minyak pelumas tinggi	A	Menghindari kerusakan bagian yang bergesekan akibat kekentalan minyak pelumas yang menurun
3	Level minyak pelumas rendah	A	Menghindari kerusakan bagian bergesekan akibat hilangnya aliran minyak pelumas
4	Selisih tekanan filter minyak pelumas tinggi	A	Menghindari kerusakan bagian bergesekan akibat terhambatnya aliran minyak pelumas
5	Tekanan Carter / crankcase tinggi	S	Menghindari pecahnya crankcase akibat tekanan lebih

6	Terdapat butir butir uap minyak pelumas diruang atas crankcase	A	Menghindari berlanjutnya gesekan berat pada crankshaft yang menimbulkan panas lebih dan menguapkan pelumas
7	Terdeteksi ada serpihan logam dalam minyak pelumas	A	Menghindari berlanjutnya pengikisan logam akibat gesekan.
8	Suhu air pendingin jacket tinggi	S	Menghindari adanya kekurangan pelumasan pada piston dan silinder yang menimbulkan suhu tinggi.
9	Tekanan air pendingin Jacket rendah	A	Menghindari berkurangnya aliran air pendingin ke jacket
10	Suhu air after cooler tinggi	A	Menghindari turunnya efisiensi mesin Diesel karena naiknya suhu udara masuk kedalam silinder akibat berkurangnya aliran air pendingin
11	Tekanan air after cooler rendah	A	Menghindari turunnya efisiensi mesin Diesel karena naiknya suhu udara masuk kedalam silinder akibat hambatan yang terjadi didalam after cooler
12	Level air pendingin di tangki rendah	A	Menghindari kurangnya volume air pendingin disistem air pendingin.
14	Tekanan bahan bakar rendah	A	Menghindari turunnya kualitas pembakaran didalam ruang bakar dan turunnya daya mampu mesin,
15	Suhu bahan bakar tinggi	A	Menghindari kerusakan pada nozel akibat turunnya viscostas.
16	Selisih tekanan pada Filter tekanan tinggi, besar.	A	Menghindari turunnya daya mesin, akibat terhambatnya aliran bahan bakar pada filter.
17	Tekanan udara start rendah	A	Menghindari gagal start akibat kurangnya tekanan udara pada tangki.

18	Suhu udara masuk ruang bakar tinggi	A	Menghindari turunnya daya dan efisiensi mesin akibat terjadinya masalah pada sistem udara masuk (turbo charger / after cooler).
19	Suhu keluar cerobong tinggi	A	Menghindari kerusakan mesin akibat suhu operasi yang tinggi
20	Selisih suhu keluar silinder tinggi	A	Menghindari pincangnya operasi mesin akibat pengalutan bahan bakar yang tidak sama antar nozel
21	Mesin putaran lebih	S	Menghindari kerusakan berat akibat putaran lebih



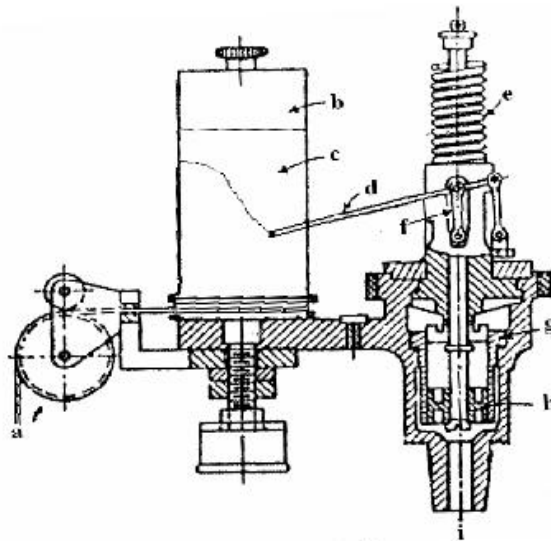
BAB V

UNJUK KERJA (PERFORMANCE).

Unjuk kerja atau performance mesin Diesel terdiri dari daya indikatif, daya efektif, pemakaian bahan bakar spesifik dan efisiensi.

5.1 DAYA INDIKATIF

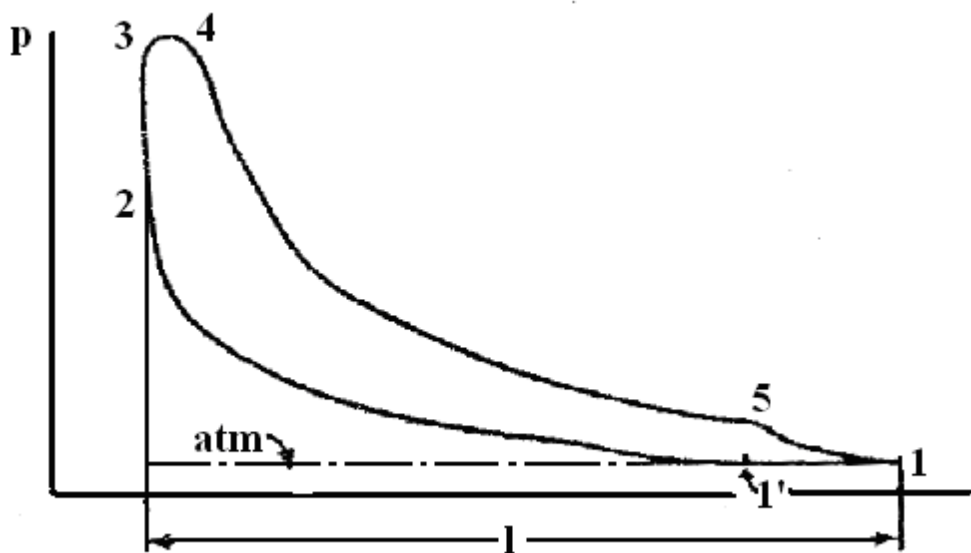
Daya indikatif adalah daya mesin yang diperoleh dari hasil pengukuran parameter parameter operasi dari mesin yaitu tekanan rata rata didalam silinder (Indicated Mean Effectif Pressure), langkah piston, diameter piston, jenis langkah mesin, dan putaran mesin.



Gambar 5. 1 Mesin Indikator

Tekanan rata rata didalam silinder diperoleh dari diagram indikator yang menunjukkan langkah piston dan tekanan didalam silinder sebagaimana ditunjukkan didalam gambar 5.1. Tekanan didalam silinder diperoleh melalui saluran (i) dimana tekanan ini diteruskan ke piston (h) yang akan bergerak naik turun didalam liner (g) sesuai dengan tinggi rendahnya tekanan didalam

silinder. Gerakan piston diteruskan kepengungkit (f) yang menyebabkan pinsil (d) bergerak keatas dan kebawah dan menulis diatas kertas (c). Tali (a) yang terhubung dengan gerakan poros menyebabkan drum (b) dimana padanya terletak kertas (c) bergerak kekiri dan kekanan sesuai dengan putaran mesin. Gabungan gerakan pinsil dan gerakan kertas menyebabkan terbentuknya gambar sebagaimana ditunjukkan didalam gambar 5.2. Dengan gambar tersebut dapat diketahui besarnya tekanan rata rata p_i (Indicated Mean Effectif Pressure) didalam silinder.



Gambar 5. 2 Diagram Indikator

1. **Titik Mati Bawah**
- 1'. **Awal langkah kompresi.**
2. **Titik Mati Atas / Awal masa pembakaran**
3. **Puncak tekanan pada volume konstan**
4. **Akhir masa pembakaran.**
5. **Katup buang membuka**

Daya indikatif (yang juga biasa disebut dengan Indicatif Horse Power / IHP) mesin Diesel dirumuskan sebagai berikut:

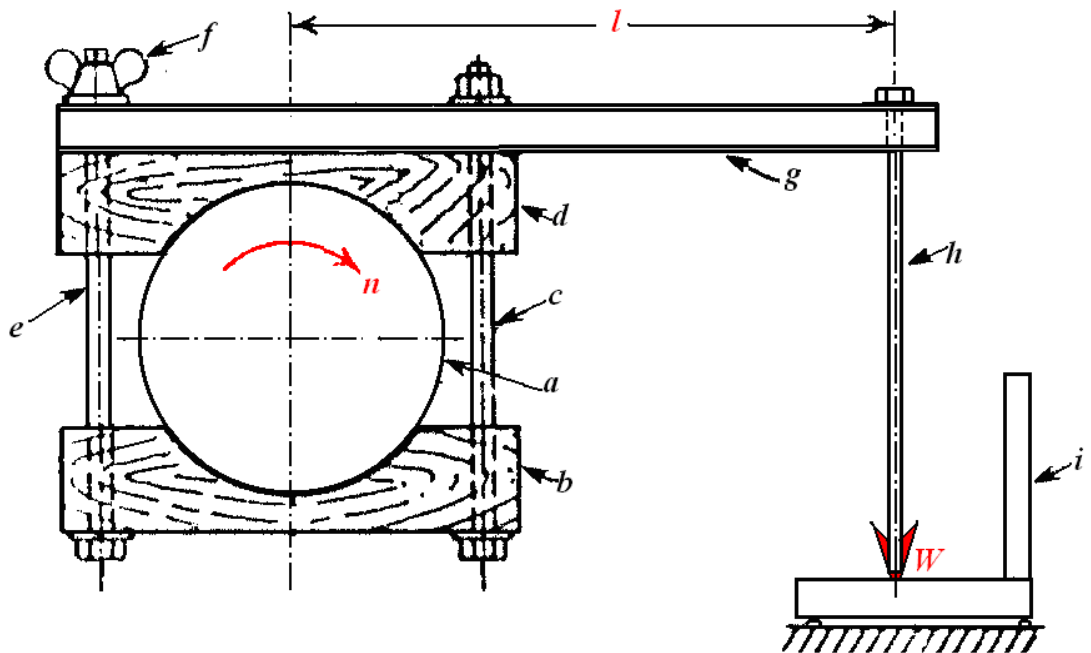
$$N_i = \frac{p_i \times \frac{\pi}{4} d^2 \times s \times n \times z \times a}{60 \times 75}$$

- N_i = daya indikatif dlm pk.
- p_i = Tekanan rata rata indikatif dlm kg /cm².
- d = diameter silinder dlm cm.
- s = langkah piston dlm m.
- n = putaran mesin permenit.
- a = jenis langkah mesin
 - = 1 untuk mesin 2 langkah
 - = 0,5 untuk mesin 4 langkah.

5.2 DAYA EFEKTIF

Daya efektif, adalah daya mesin yang diperoleh dari pengukuran momen puntir M_t pada poros. Daya efektif yang juga biasa disebut sebagai Brake Horse Power besarnya lebih kecil daripada Daya Indikatif karena adanya kerugian gesekan didalam mesin. Daya efektif diukur dengan

menggunakan alat ukur rem sebagaimana terlihat pada gambar 5.3.



Gambar 5. 3 Pengukur Brake Horse Power

- | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| a. Poros mesin | g. Lengan momen. |
| b. Sepatu rem bawah. | h. Batang penerus gaya puntir.. |
| c. Baut pengikat rem kanan. | i. Timbangan / pengukur gaya puntir. |
| d. Sepatu rem atas. | j. Panjang lengan momen. |
| e. Baut pengikat rem kiri. | k. Putaran poros |
| f. Mur pengatur pengereman | |

Pengukuran dilakukan dengan mengencangkan mur f sampai putaran mesin mengalami sedikit penurunan (proses pengereman bekerja). Proses pengereman ini akan menyebabkan gaya puntir yang ada pada poros diteruskan oleh lengan momen g sebagai gaya puntir W. Dan gaya puntir ini besarnya dapat ditunjukkan oleh timbangan i atau alat ukur lain yang disediakan.

Selanjutnya besarnya Daya Effektiv dihitung sebagaimana rumus berikut

$$N_e = \frac{M_t \omega}{75} = \frac{M_t \times 2\pi \times n}{75 \times 60} = \frac{W \times l \times 2\pi \times n}{75 \times 60}$$

dimana:

N_e = daya efektif dlm pk.

M_t = momen puntir kgm

n = putaran mesin per menit.

W = Gaya puntir yang ditunjukkan oleh timbangan kg.

l = panjang lengan rem dalam meter.

5.3 EFFISIEASI THERMAL INDIKATIF

Effisiensi thermal indikatif, adalah perbandingan antara energi indikatif (daya indikatif dalam satu jam) yang ditunjukkan oleh mesin dengan energi yang diberikan oleh bahan bakar dengan satuan yang sama

$$\eta_t = \frac{N_i \times 75 \times 60 \times 60}{G_{bb} \times H_{bb} \times 427}$$

G_{bb} = Berat bahan bakar per jam

H_{bb} = Nilai kalor bahan bakar kkal /kg.

427 = Nilai konversi kkal → kgm

5.4 EFFISIENSI MEKANIS

Effisiensi mekanis adalah perbandingan antara daya efektif dengan daya indikatif dalam %. Dengan efisiensi mekanis diketahui besarnya kerugian mekanis / energy yang terbuang oleh karena gesekan gesekan yang terjadi didalam bagian bagian mesin Diesel. Gesekan antara piston dan linernya, gesekan poros engkol dengan bantalannya, gesekan pada katup,

camshaft, pushrod dll yang semuanya itu akan mengurangi besarnya energy / daya mekanik pada poros mesin Diesel.

Besarnya efisiensi mekanis adalah:

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} \times 100 \%$$

Besarnya kerugian mekanis:

$$k_m = \frac{N_i - N_e}{N_i} \times 100 \%$$

5.5 PEMAKAIAN BAHAN BAKAR SPECIFIC (SPECIFIC FUEL CONSUMPTION)

Bahan bakar cair (minyak solar, minyak IDO atau minyak residu) merupakan bahan baku utama PLTD untuk memproduksi tenaga listrik. Karena itu penggunaan bahan bakar harus dapat diketahui setiap saat untuk dibandingkan dengan produksi listrik yang dihasilkan. Dengan demikian dapat diketahui dengan cepat jika terjadi pemborosan penggunaan bahan bakar, untuk segera diambil langkah penanggulangannya.

Pemakaian bahan bakar spesifik (Specific Fuel Consumption) didefinisikan sebagai jumlah liter pemakaian bahanbakar dalam kurun waktu tertentu dibagi jumlah kWh listrik dibangkitkan dalam kurun waktu yang sama, atau untuk mesin PLTD berlaku:

$$SFC = \frac{V_{bb}}{\text{jumlah kWh}} \quad \text{liter/kwh}$$

V_{bb} = Volume bahan bakar yang digunakan dalam waktu tertentu (liter).

kwh = jumlah energi listrik yang dibangkitkan dalam kurun waktu yang sama (kwh).

Sejalan dengan pemakaian bahan bakar spesifik, adalah pemakaian kalor spesifik, atau dikenal dengan istilah **Heat Rate**, didefinisikan dengan rumusan berikut.

$$\text{Heat Rate} = \frac{V_{bb} \times \gamma_{bb} \times H_{bb}}{\text{Jumlah kWh}} \text{ kkal/kWh}$$

dimana :

γ_{bb} = berat jenis bahan bakar kg / liter

H_{bb} = nilai kalor bahan bakar kkal/kg

5.6 NERACA KALOR DAN KERUGIAN KERUGIAN DIDALAM PLTD.

Neraca kalor sebuah mesin Diesel menunjukkan distribusi panas yang terjadi didalam mesin dari panas yang tersedia didalam bahan bakar yang diinjeksikan kedalam silinder. Panas tersebut sebagian menjadi tenaga mekanik pada poros Q_e , yang lainnya terdistribusikan kedalam kerugian kerugian melalui air pendingin Q_{ap} , kerugian gas panas keluar cerobong Q_{cer} dan kerugian sisa (yang tidak dihitung) Q_s .

Panas yang tersedia didalam bahan bakar adalah :

$$Q_{bb} = V_{bb} \times \gamma_{bb} \times H_{bb} \text{ kkal/jam.}$$

Panas berhasil dirubah menjadi tenaga mekanik adalah sesuai dengan besarnya tenaga efektif yang diukur pada poros:

$$Q_e = 632 N_e \text{ kkal / jam}$$

Kerugian panas yang terbuang melalui air pendingin adalah:

$$Q_{ap} = V_{ap} \times \gamma_{ap} \times C_{ap} \times (t_{ap \text{ out}} - t_{ap \text{ in}}) \text{ kkal/jam}$$

dimana:

V_{ap} = volume air pendingin yang mengalir masuk kedalam mesin dalam liter

γ_{ap} = berat jenis air pendingin dalam kg / liter

C_{ap} = panas jenis air pendingin dalam kkal/kg⁰C.

$t_{ap\ out}$ = suhu air pendingin keluar mesin dalam ⁰C

$t_{ap\ in}$ = suhu air pendingin masuk mesin dalam ⁰C

Kerugian panas keluar cerobong:

$$Q_{cer} = V_g \times \gamma_g \times C_g \times (t_{g\ in} - t_{atm}) \text{ kkal/jam}$$

dimana:

V_g = volume gas bekas yang mengalir keluar cerobong m³

γ_g = berat jenis gas bekas dalam kg / m³

C_g = panas jenis gas bekas dalam kkal/kg⁰C.

$t_{g\ out}$ = suhu gas bekas keluar mesin dalam ⁰C

t_{atm} = suhu atmosfer ⁰C.

Kerugian panas sisa terdiri dari kerugian panas akibat pembakaran yang tidak sempurna, kerugian karena radiasi panas dari tubuh mesin ke atmosfer, sebagian kerugian akibat gesekan dan kerugian kesalahan hitung. Kerugian panas sisa dihitung sebagai:

$$Q_s = Q_{bb} - (Q_e - Q_{ap} - Q_{cer}) \text{ kkal /jam.}$$

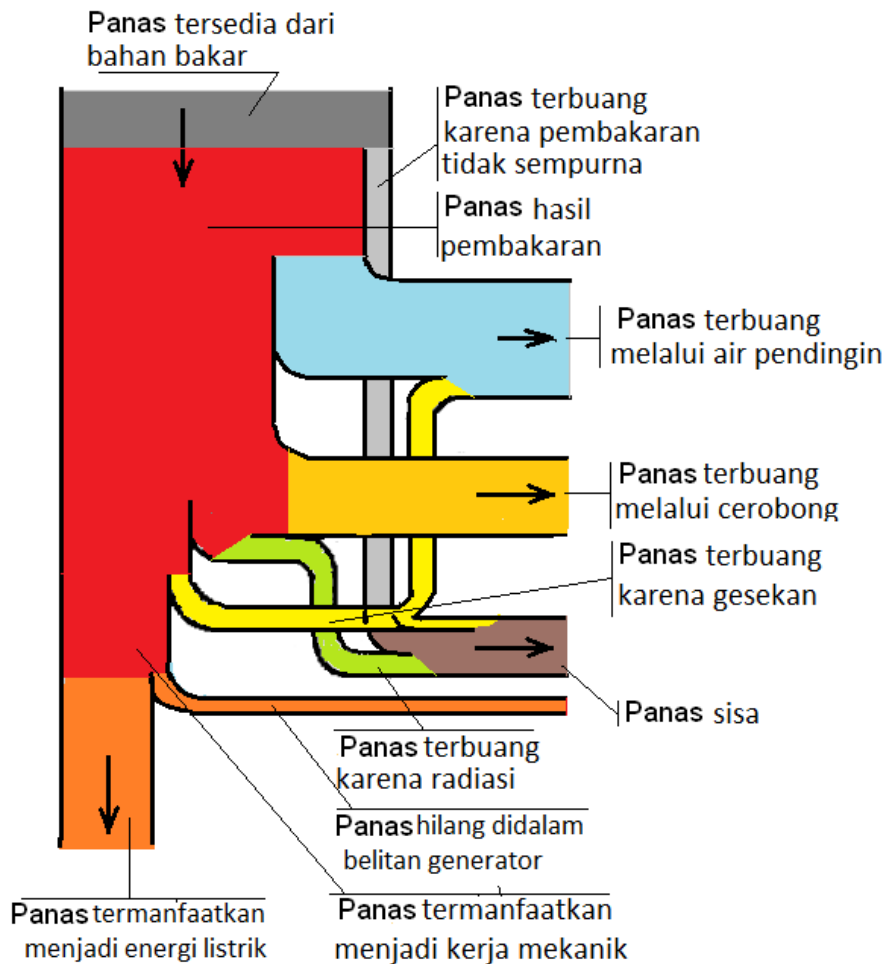
Neraca kalor ditabelkan didalam tabel neraca sebagaimana terlihat didalam tabel 5.1 dan digambarkan didalam sebuah diagram yang dikenal dengan diagram Sankey seperti terlihat didalam gambar. 5.4.

Tabel 5. 1 Performance dan Heat balance sebuah mesin Diesel 4 langkah dengan injeksi

No	Faktor performance	Dengan turbocharger	Tanpa supercharger
----	--------------------	---------------------	--------------------

1	Tenaga BHP	690	950
2	Jumlah silinder buah	6	6
3	Putaran rpm	700	700
4	Diameter piston mm	280	280
5	Langkah piston mm	380	380
	<i>Heat balance %</i>		
6	Panas setara dng BHP Q_e	36	37
7	Panas hilang melalui air prndingin Q_{ap}	28.3	18.5
8	Panas hilang keluar cerobong Q_{cer}	33.5	42.5
9	Panas sisa Q_s	2,2	2,0

Untuk sebuah PLTD daya efektif generator diukur pada terminal keluar generator, setelah memperhitungkan kerugian didalam generator.



Gambar 5. 4 Neraca panas sebuah PLTD

BAB VI

GENERATOR

6.1 UMUM.

Semua transformasi energi dari energi termal menjadi energi mekanik yang terjadi didalam mesin mesin kalor yang dibahas dimuka pada akhirnya digunakan untuk memutar medan magnet didalam generator listrik. Listrik yang keluar dari generator mempunyai tegangan yang relatif rendah, kemudian dengan menggunakan sebuah transformator, tegangan tersebut dinaikkan menjadi tegangan tinggi atau extra tinggi. Semua pembangkit pembangkit listrik beriterkoneksi didalam suatu sistim jaringan listrik tegangan tinggi atau extra tinggi.

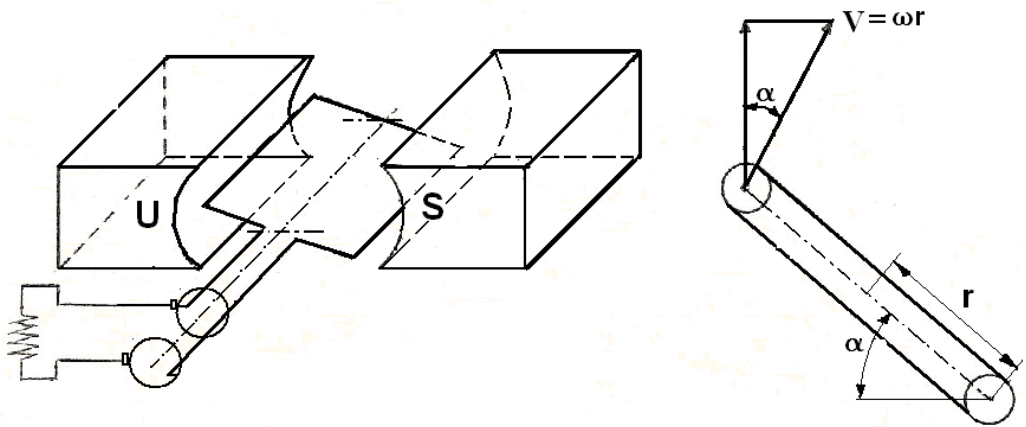
Dari jaringan listrik tegangan extra tinggi, tegangan diturunkan dan masuk kedalam jaringan tegangan tinggi, dan dari jaringan tegangan tinggi kemudian tegangan diturunkan dan masuk kedalam jaringan listrik distribusi. Selanjutnya tegangan listrik kemudian diturunkan menjadi tegangan pemakaian dan disalurkan kepada konsumen.

6.2 PRINSIP KERJA GENERATOR

Prinsip kerja dari sebuah generator adalah sesuai dengan proses induksi yaitu apabila sebuah penghantar bergerak memotong suatu medan magnet maka didalam penghantar tersebut akan timbul tegangan yang disebut tegangan induksi. Apabila kepada kedua ujung penghantar tersebut dihubungkan dengan sebuah tahanan maka akan timbul arus listrik (gambar 6.1).

Besarnya tegangan yang dihasilkan tergantung dari kekuatan medan magnet, kecepatan penghantar, panjang penghantar yang memotong medan magnet, atau dengan rumus dapat ditulis :

$$\Phi = B \cdot l \cdot v$$



Gambar 6. 1 Prinsip sebuah generator Listrik

α = sudut arah gerakan terhadap arah medan magnet

ω = kecepatan sudut gerakan penghantar

r = jari jari gerakan penghantar terhadap sumbu putar

dimana :

Φ = tegangan induksi : Volt

B = kekuatan medan magnetik : Gauss

l = panjang penghantar : meter

V = kecepatan penghantar : meter/det

Oleh karena gerakan penghantar didalam generator melingkari sumbu, maka besarnya tegangan induksi dapat ditulis:

$$\Phi = B l r \omega \cos \alpha \rightarrow \omega = \frac{d\alpha}{dt}$$

Besarnya tegangan setiap saat.

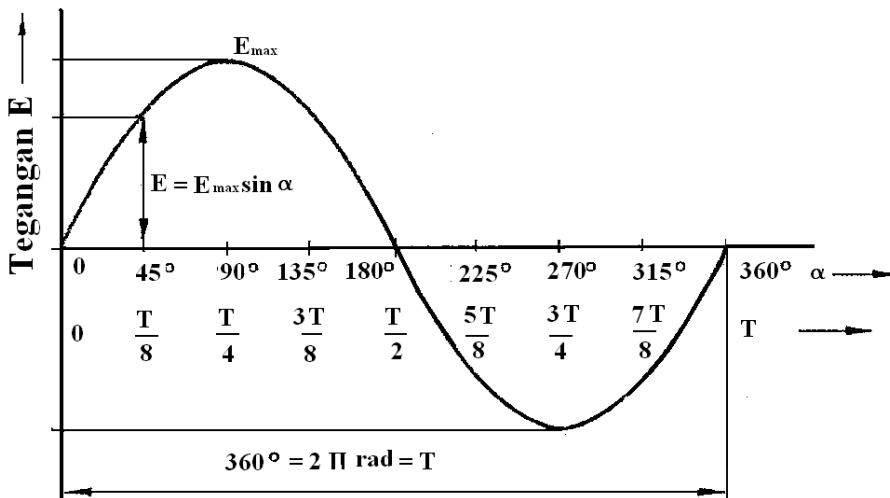
$$E = B l r \omega \frac{d \cos \alpha}{dt}$$

$$= B l r \sin \omega t$$

$$= B l r \sin \omega t, \text{ akan menjadi max, jika}$$

$$\sin \omega t = 1$$

$$\text{atau } \Phi = E_{\max} \sin \omega t$$



Gambar 6. 2 Bentuk sinus soida

Jadi tegangan generator merupakan bentuk sinus soida yang besarnya tergantung dari sudut penghantar terhadap arah medan magnit. Apabila kedua ujung penghantar dihubungkan dengan tahanan, maka akan mengalir arus yang berbentuk sinus soida pula.

$$I = I_0 \sin \omega t$$

Arus dan tegangan yang keluar dari generator disebut arus / tegangan bolak balik yang berbentuk sinus soida. Didalam sebutan sehari-hari tegangan dan arus yang dipakai adalah nilai tegangan atau arus efektif, yaitu tegangan / arus yang menghasilkan daya yang sama dengan arus searah.

$$W = I^2 \cdot R \text{ (arus searah)}$$

$$W_{\text{eff}} = 0,5 W$$

$$= 0,5 I^2 R \text{ (arus bolak balik)}$$

jadi :

$$I_{\text{eff}}^2 = 0,5 I^2$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{1}{2} I \sqrt{2}$$

Dengan jalan yang sama :

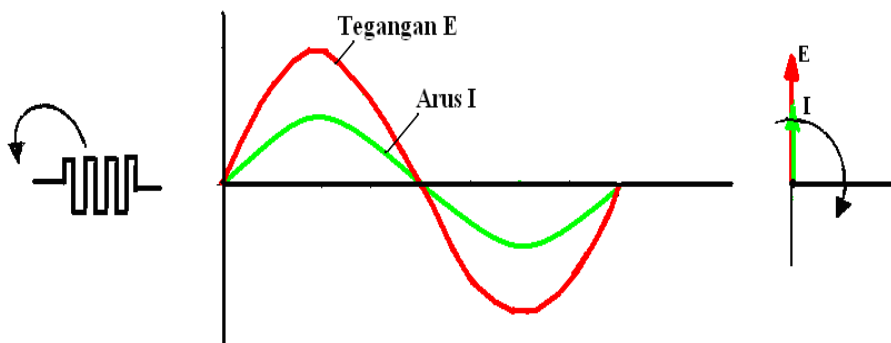
$$E_{\text{eff}} = \frac{1}{2} E \sqrt{2}$$

6.3 BEBAN GENERATOR

Beban Generator terdiri dari tiga macam yang masing-masing mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap generator, yaitu beban resistif, induktif dan kapasitif.

1. Beban Resistif.

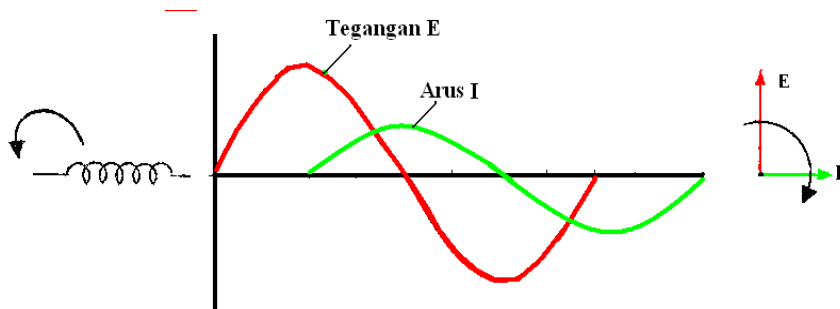
Beban ini berupa tahanan murni seperti bola lampu pijar dan seterika listrik. Tahanan murni akan menimbulkan arus yang sejajar dengan arah tegangan (gambar 6.3).



Gambar 6. 3 Beban Resistif

2. Beban Induktif.

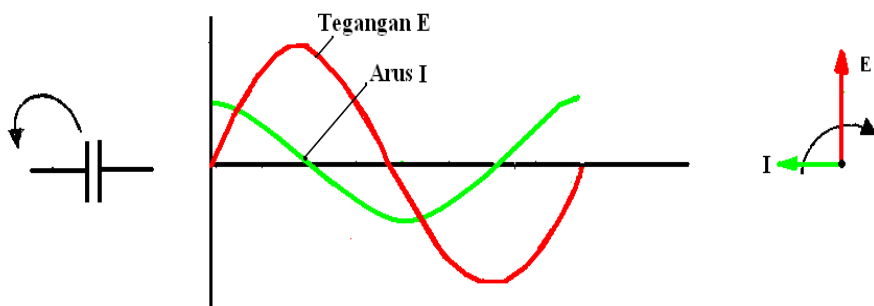
Beban ini ditimbulkan oleh belitan, seperti terdapat pada motor listrik, transformator dan sebagainya. Belitan akan menimbulkan arus yang membentuk sudut $+ 90^{\circ}$ terhadap tegangan (gambar 6.4).



Gambar 6. 4 Beban Induktif

3. Beban Kapasitif.

Beban ini ditimbulkan oleh kapasitor, yaitu dua penghantar yang sejajar dan saling berdekatan. Keduanya dimuati listrik yang berbeda, seperti yang terjadi pada kawat transmisi, kabel listrik dan peralatan yang disebut kapasitor atau kondensator. Kapasitor akan menimbulkan arus yang terbelakang 90° dari tegangan (gambar 6.5).

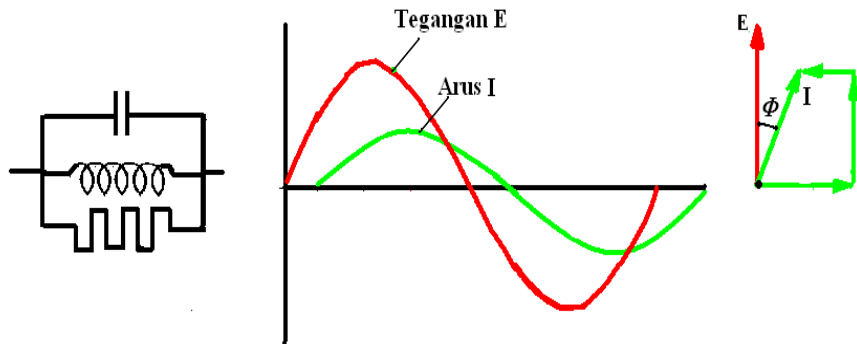


Gambar 6. 5 Beban Kapasitif

Beban Campuran.

Didalam praktek generator akan dibebani secara bersama-sama dari ketiga jenis beban tersebut. Disini arus akan membentuk sudut

terhadap tegangan antara -90° dan $+90^\circ$, tergantung jenis beban mana yang dominan.



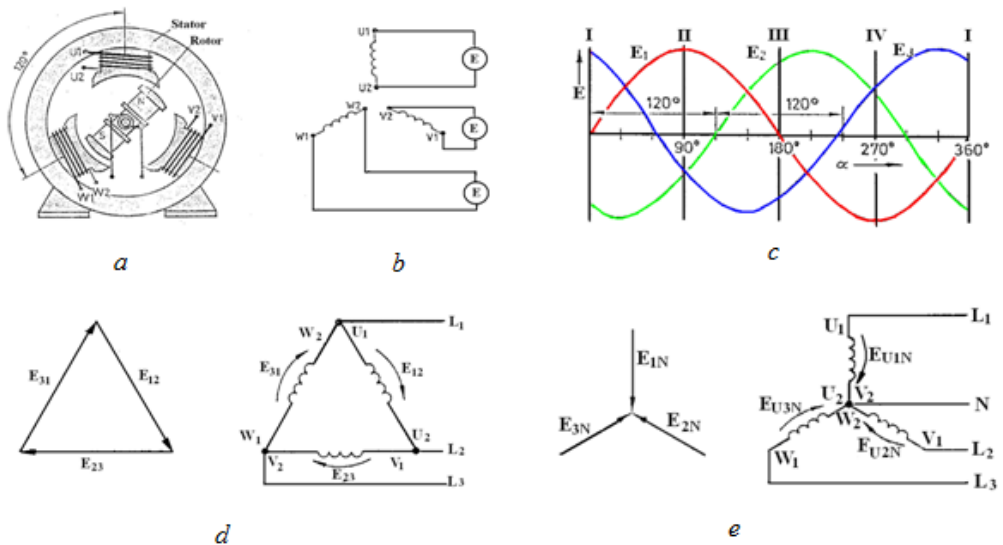
Gambar 6. 6 Beban campuran

Besarnya beban:

$$W = E I \cos \varphi$$

6.2 GENERATOR TIGA FASA.

Generator 1 fasa menghasilkan putaran rotor yang tidak stabil, dan hal tersebut didalam putaran yang tinggi merupakan vibrasi. Generator 3 fasa akan menghasilkan putaran yang lebih stabil, dan getaran yang terjadi dengan sendirinya akan lebih baik. Gambar 6.7a menunjukkan sebuah generator dengan medan magnit yang berputar dan dengan 3 belitan yang terpasang pada stator masing-masing terpisah dengan sudut 120° .



Gambar 6. 7 Generator 3 fasa

- a. Pembangkitan dari 3 buah generator arus bolak balik yang masing-masing terpisah 120°**
- b. Penggambaran listrik dari gambar -a.**
- c. Bentuk tegangan induksi dari gambar - a**
- d. Sambungan Δ (delta / segitiga)**
- e. Sambungan Y (star / bintang)**

Perputaran medan magnit akan menimbulkan tegangan bolak balik pada masing-masing belitan yang masing-masing juga terpisah 120° sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 6.7c. Ketiga belitan tersebut membentuk apa yang dinamakan Fasa, dan tegangan yang timbul padanya disebut tegangan fasa.

Titik awal dari ketiga belitan fasa tersebut masing-masing diberi simbol U₁, V₁, dan W₁, dan titik akhirnya diberi simbol U₂, V₂, dan W₂. Dengan Generator seperti ini maka diperlukan enam penghantar untuk mencapai beban yang harus dipikul (gambar. 6.7 b). Apabila beban pada masing-

masing belitan dapat disamakan, maka titik U_2 , V_2 dan W_2 dapat dihubungkan menjadi satu, sehingga jumlah penghantar cukup empat buah saja. Generator semacam ini akhirnya disebut sebagai generator 3 fasa.

Penyambungan antara U_2 , V_2 dan W_2 seperti yang dilakukan diatas disebut sambungan bintang, dimana titik sambung tersebut disebut sebagai titik Netral (N). Jika penyambungan dilakukan antara $U_1 - W_2$, $U_2 - V_1$, $V_2 - W_1$, maka belitan tersebut disebut belitan segitiga dan penghantar yang diperlukan hanya 3 buah. Tegangan diantara $U_1 - V_1$, $U_1 - W_1$ dan $V_1 - W_1$ disebut tegangan antar fasa dan besarnya :

$$E_{U1-W1} = E_{U1N}\sqrt{2}$$

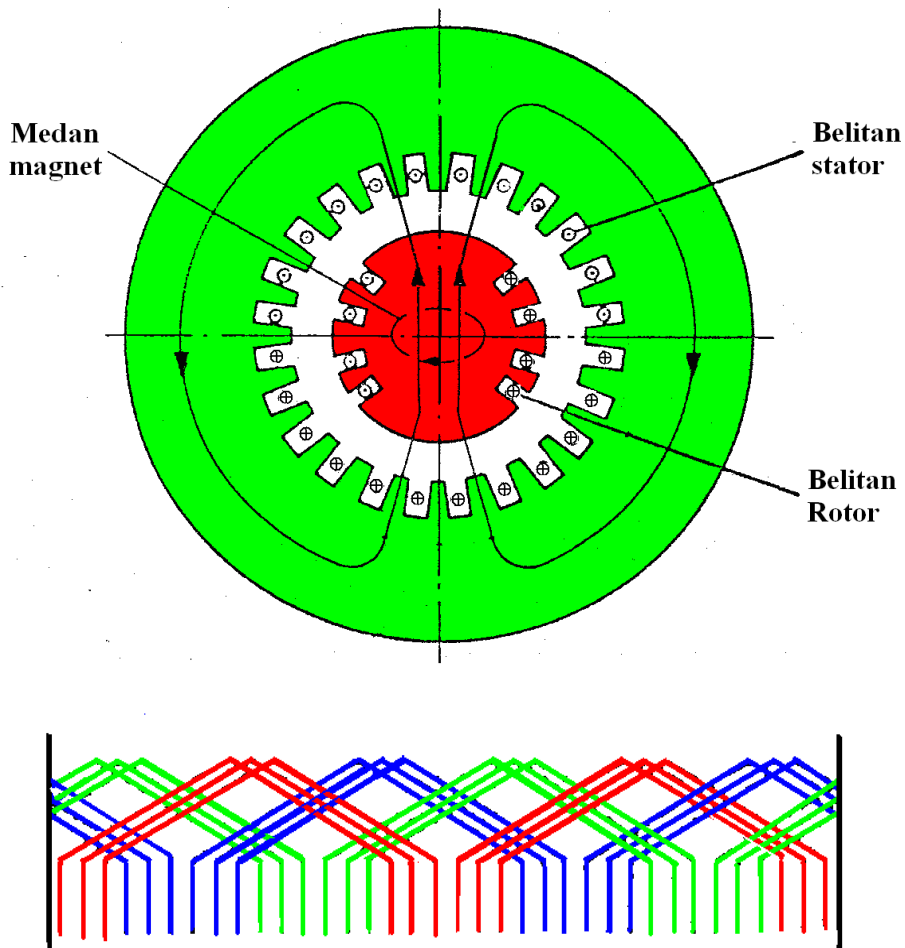
Generator dengan sambungan bintang maupun sambungan segi tiga biasa disebut generator synchron.

6.3 GENERATOR SYNCHRON.

Generator yang dipergunakan didalam pembangkit tenaga listrik bersekala besar adalah jenis generator synchron. Terdiri dari dua bagian utama yaitu rotor dan stator. Rotor terbuat dari besi tempa berbentuk silinder. Pada dua pertiga bagian rotor terdapat alur-alur (gambar. 6.8a) dimana penghantar tembaga diletakkan dan membentuk belitan. Pada bagian yang tidak beralur terletak kutub-kutub magnit yang ditimbulkan oleh arus searah yang mengalir pada belitan selama generator bekerja. Tegangan dan arus searah ini dikenal sebagai tegangan atau arus penguatan.

Stator terdiri dari pelat-pelat yang sangat tipis yang disusun saling berhimpitan membentuk sebuah silinder berongga. Pada bagian dalam silinder ini terdapat alur-alur dimana belitan tembaga diletakkan. Belitan ini terbagi menjadi tiga kelompok yang masing-masing membentuk 120° . Didalam alur belitan terbagi menjadi 2, yaitu belitan luar dan belitan dalam. Ketiga kelompok belitan tadi dihubungkan dengan jaringan transmisi melalui

3 buah penghantar. Pada generator ini putaran rotor akan lebih stabil dari pada bentuk tersebut dalam gambar. 6.8.



Gambar 6. 8 Bentuk dasar sebuah generator synchron dan bentuk belitannya

6.4 PENGUATAN GENERATOR.

Pada generator-generator kecil, medan magnet yang diperlukan untuk membangkitkan tegangan cukup diperoleh dari magnet permanent. Pada generator semacam ini besarnya tegangan tergantung dari besarnya putaran

dan beban yang dipikul. Jika putaran bertambah maka tegangan akan naik, dan demikian sebaliknya jika putaran turun. Demikian pula halnya, jika beban bertambah maka tegangan juga turun, dan jika beban berkurang maka tegangan akan naik.

Pada generator besar, dimana diperlukan tegangan yang tinggi dan stabil serta arus yang besar, dipergunakan magnet buatan yang terpasang pada rotor. Besarnya medan magnet yang diperoleh tergantung dari besarnya tegangan arus searah yang mengalir masuk kedalam belitan rotor. Tegangan dan arus searah ini disebut tegangan dan arus penguatan (excitasi). Sehubungan dengan arus penguatan ini ada 2 karakteristik yang perlu diketahui yaitu :

1. Karakteristik Beban Nol.

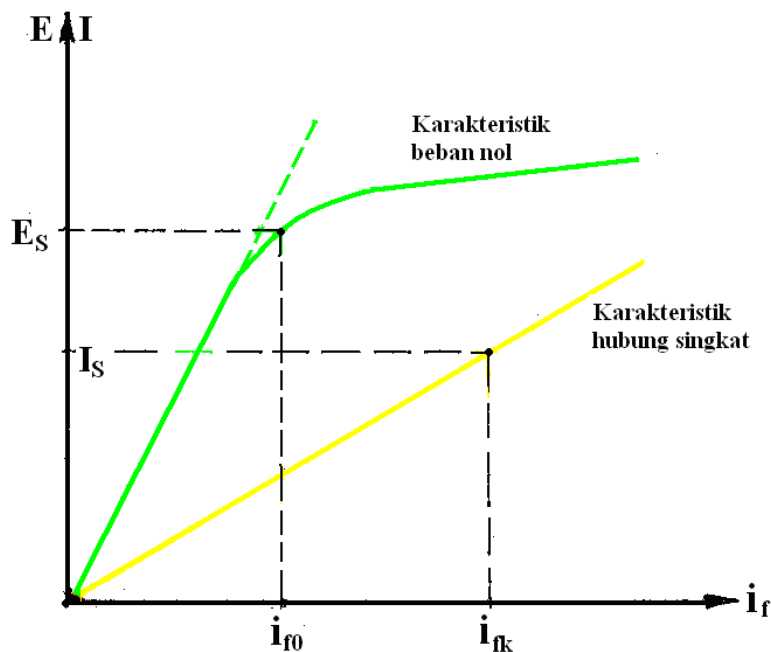
Apabila generator telah mencapai putaran kerja maka pemberian arus penguatan diberikan untuk mendapatkan tegangan pada titik keluar (U, V, W) generator. Mula-mula naiknya tegangan generator sebanding dengan naiknya arus penguatan. Tetapi kemudian tegangan generator tidak bisa naik lagi walaupun arus penguatan diperbesar. Dalam hal ini inti besi dimana belitan generator bertaut, telah mencapai titik jenuh. Kondisi jenuh ini diperlukan untuk menghindari naiknya tegangan yang sangat tinggi jika generator kehilangan beban akibat gangguan. Pada waktu beban penuh besarnya arus penguatan sebesar 2 – 3 kali arus penguatan pada beban nol. Karena itu naiknya tegangan akibat hilangnya beban secara matematis adalah 2 – 3 kalinya. Namun karena sifat jenuh tadi maka naiknya tegangan hanya akan mencapai $\pm 40 \%$ saja.

2. Karakteristik Hubung Singkat.

Jika titik keluar generator (U, V, W) dihubung singkat kemudian diberikan penguatan, maka arus penguatan yang diberikan akan menimbulkan arus yang mengalir didalam belitan stator. Besarnya

arus ini sebanding dengan besarnya arus penguatan yang diberikan. Tegangan didalam belitan stator dapat dikatakan = 0 (demikian kecilnya sekedar cukup untuk menimbulkan arus saja). Didalam belitan stator timbul induksi yang sangat besar dibanding dengan tahanan R ($L \gg R$). Karena itu arus yang mengalir berada $\pm 20^\circ$ didepan tegangan. Pemberian arus penguatan terlihat tidak akan memberikan titik jenuh pada stator. Hal ini sama halnya dengan apabila generator dibebani dengan beban induktif.

Arus penguatan menimbulkan medan magnet penguatan, sedang arus yang timbul pada belitan stator juga akan menimbulkan medan magnet yang bersifat melawan medan magnet penguatan. Didalam hal karakteristik hubung singkat ini dapat ditulis.



Gambar 6. 9 Karakteristik penguatan generator

$$\text{Besaran} : i_f \rightarrow \Phi_f \rightarrow E_i = \frac{d\phi}{dt} \rightarrow I_s \rightarrow \Phi_{\text{lawan}}$$

Phasa : $0^0 \rightarrow 0^0 \rightarrow 90^0 \rightarrow 180^0 \rightarrow 180^0$

Dimana : i_f = Arus penguatan

Φ_f = Kekuatan medan magnit penguatan

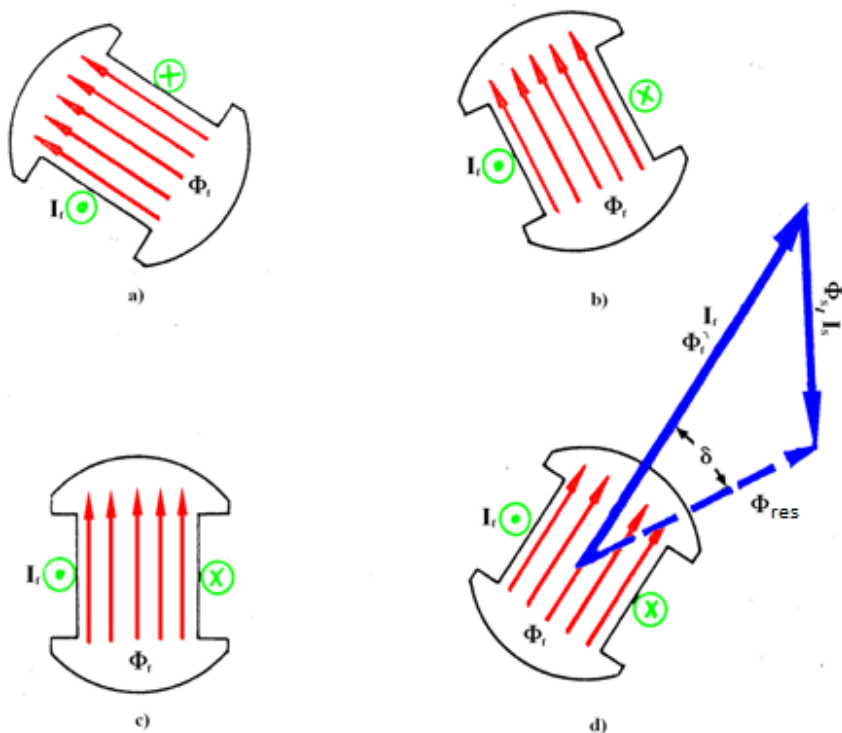
E_s = Tegangan stator

I_s = Arus stator

Φ_{lawan} = Kekuatan medan magnit lawan

6.5 GENERATOR BEROPERASI DIDALAM JARINGAN.

Gambar 6.10 menunjukkan perputaran kutub-kutub magnit pada rotor generator dalam berbagai posisi. Didalam rotor tersebut terdapat belitan-belitan penguatan (digambarkan satu belitan saja). Arus searah yang diberikan I_f menyebabkan timbulnya medan magnit Φ_f .



Gambar 6. 10 Perputaran rotor

Tegangan dan arus yang timbul didalam belitan stator juga akan menimbulkan medan magnet yang bersifat melawan medan magnet rotor. Arah medan magnet rotor mempunyai sudut yang tetap terhadap belitan rotor, namun arah medan magnet stator sangat tergantung dari jenis beban yang dipikul dimana ia berpengaruh terhadap kedudukan arus I_s terhadap tegangan E_s . Pada gambar 6.10d ditunjukkan kedudukan arah medan magnet rotor Φ_f dan medan magnet stator Φ_s , sehingga resultante dari keduanya Φ_{res} membentuk sudut δ dengan arah medan magnet rotor Φ_f .

Kini jelas bahwa dalam keadaan normal (tidak ada perubahan beban / gangguan) maka antara medan magnet rotor dan medan magnet stator (kedua-duanya berputar) terdapat suatu ikatan tetap. Putaran rotor dan medan magnetnya berjalan bersama-sama (synchron) dengan medan magnet stator dan karena itu disebut generator synchron.

Arah medan magnet rotor dan stator menghasilkan medan magnet resultante Φ_0 , dan ini merupakan tegangan induksi yang terdapat dalam klem (titik keluar) generator. Karena itu besarnya Φ_0 dengan sendirinya setara dengan tegangan generator yang ditunjukkan oleh Voltmeter.

Perubahan beban akan menyebabkan perubahan arus didalam belitan stator I_s , demikian pula dengan besarnya medan magnet lawan Φ_s . Perubahan beban juga akan menyebabkan perubahan terhadap arus penguatan I_f serta besar medan magnet penguatan Φ_f . Sementara itu besarnya medan magnet resultante adalah konstan. Jadi perubahan beban menyebabkan berubahnya apa yang dinamakan "sudut angker δ ".

Peristiwa diatas dapat dijumpai pula didalam gambar. 6.11 yang disebut "diagram pembebanan". Oleh karena besarnya medan magnet resultante Φ_0 sebanding dengan tegangan generator E_k didalam gambar. 6.10 adalah juga sebanding dengan θ_0 di gambar. 6.11 maka arus stator I_s yang membentuk medan magnet lawan (θ_{lawan}) adalah penyebab dari besar

dan arah apa yang disebut “daya generator” (sudut ϕ dan MVA). Dengan menghubungkan kedua ujung θ_0 dan θ_{lawan} maka diperoleh medan magnet penguatan yang di gambar 6.11 diberi simbol θ_{res} , dimana ia sebanding dengan arus penguatan I_f .

Untuk beban yang dipikul sebesar P pada putaran $n = \text{konstan}$, momen generator adalah :

$$M \sim P = 3 E_s I_s \cos \phi \rightarrow E_s = E_N \sqrt{3} = \text{tegangan fasa}$$

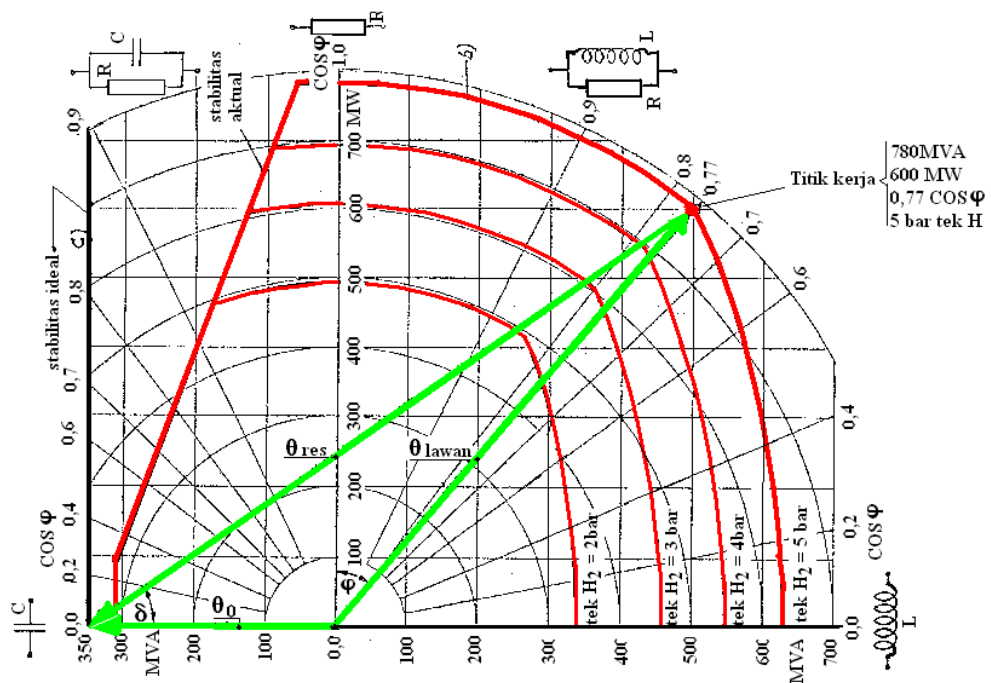
Dari gambar. 6.13 : $\theta_{\text{lawan}} \cdot \cos \phi = \theta_{\text{res}} \cdot \sin \delta$

dan $\theta_{\text{lawan}} \sim I_s \rightarrow \theta_{\text{res}} \sim I_f$

maka berlaku : $M \sim P \sim I_s \cdot I_f \cdot \sin \delta$

6.6 BATAS BATAS PENGOPERASIAN GENERATOR.

Operasi generator dengan beban kosong, atau beban hubung singkat merupakan hal khusus dan jarang terjadi ; pengoperasian yang normal adalah seperti yang tergambar didalam diagram beban generator (gambar. 6.11). Terdapat 3 batas operasi generator yaitu :



Gambar 6. 11 Diagram pembebanan Generator

1. Batas maksimal pemanasan rotor.

$$\Phi_{\text{res}} \sim I_f = \text{Constan}$$

$$\Phi_{\text{res}} = \Phi_{\text{resistif}}$$

$$I_f = \text{arus penguatan}$$

2. Batas maksimal pemanasan stator.

$$\Phi_{\text{lawan}} \sim I_s = \text{Constan}$$

$$\Phi_{\text{lawan}} = \text{medan magnit lawan}$$

$$I_s = \text{arus stator}$$

$$\sim = \text{sebanding.}$$

3. Batas maksimal stabilitas belitan rotor.

Untuk butir 1 dan 2 jelas dapat dimengerti bahwa arus yang mengalir pada belitan rotor maupun stator akan menghasilkan panas, dan hal tersebut harus dibatasi sesuai dengan sistim pendinginan yang digunakan.

Untuk butir 3 berlaku bahwa (pembebanan kapasitif) moment terbesar terjadi apabila sudut menjadi 20° ($\sin \delta = 1$). Jika sudut ini menjadi lebih besar dari 20° , maka moment turbin dan moment listrik tidak lagi sama, kemudian turbin akan mengalami percepatan dan putarannya bertambah cepat. Generator tidak lagi synchron dengan jaringan, dan terjadilah gangguan. Kejadian ini disebut “Generator Lepas Synchron”.

Dalam hal ini turbin kehilangan beban, sehingga katup masuk uap akan tertutup. Generator akan berubah fungsi menjadi motor dan memutar turbin. Peristiwa semacam ini akan menyebabkan kerusakan didalam turbin karena itu tidak boleh terjadi. Untuk menghindari hal itu, generator dilengkapi dengan rele daya kembali, yang berguna untuk melepas PMT generator, sehingga generator tidak lagi terhubung dengan jaringan.

Pada umumnya generator tidak boleh dioperasikan sampai mencapai batas stabilitas teoritis seperti tersebut diatas (sudut $\delta = 90^\circ$), tetapi hanya dibatasi sampai dengan batas stabilitas praktis (aktual) atas dasar naiknya suhu pada bagian stator yang bertepatan dengan adanya medan magnet yang paling kuat (gambar. 6.11).

6.7 PENDINGINAN GENERATOR

Arus listrik yang mengalir melalui belitan rotor maupun stator pada akhirnya akan menimbulkan panas. Untuk menghindari terjadinya suhu yang tinggi pada belitan, maka belitan harus cukup terdinginkan dengan baik. Ada beberapa cara pendinginan belitan generator yaitu:

- Pendinginan dengan udara terbuka.
- Pendinginan dengan udara tertutup.
- Pendinginan dengan gas hydrogen.
- Pendinginan dengan air.

Pendinginan dengan udara terbuka dilakukan pada generator generator dengan kapasitas kecil (25 MW kebawah). Pada pendinginan

semacam ini akan banyak kotoran yang terdapat didalam udara ikut terbawa masuk kedalam generator dan menempel pada belitan. Untuk mengurangi besarnya intensitas pengotoran maka dipasang saringan halus (filter) pada sisi masuk laluan udara pendingin tersebut. Selanjutnya secara periodik filter tersebut harus dibersihkan atau diganti baru jika telah menjadi kotor.

Pendinginan dengan udara tertutup akan lebih menjamin kebersihan belitan rotor maupun stator. Disini udara pendingin didinginkan oleh air pendingin yang didinginkan oleh radiator atau oleh air pendingin kondensor. Kelemahan dari pendinginan dengan udara tertutup ini adalah bahwa udara pendingin akan mempunyai suhu yang lebih tinggi daripada pendinginan dengan udara terbuka, kecuali jika udara pendingin dilakukan dengan air.

Pendinginan dengan gas Hydrogen digunakan untuk generator generator yang lebih besar. Gas hydrogen mempunyai thermal conductivity hampir 7 (tujuh) kali, dan berat jenis $1/14$ (seperempat belas) kali dari udara. Karena itu penggunaan gas hydrogen sebagai pendingin generator menjadikan pendinginan lebih efektif dan pengaliran gas yang lebih ringan. Sebagaimana pada pendinginan dengan udara tertutup, gas hydrogen selanjutnya juga didinginkan dengan air pendingin.

Kemampuan gas hydrogen mendinginkan generator sangat tergantung dari kerapatan gas hydrogen tersebut, dan kerapatan tergantung dari tekanannya. Pada gambar 6.11 ditunjukkan juga tentang batasan batasan pembebanan generator terkait dengan tekanan gas hydrogen didalam ruang pendinginan generator.

Oleh karena gas hydrogen merupakan gas yang mudah terbakar, maka diusahakan agar gas hydrogen tidak berhubungan dengan udara baik pada waktu pengisian maupun pada waktu beroperasi. Pada waktu pengisian sebelum gas hydrogen dimasukkan, udara didorong keluar dari ruang pendinginan dengan gas CO_2 , selanjutnya gas hydrogen baru

dimasukkan. Pada waktu generator beroperasi diusahakan agar gas hydrogen tidak bocor keluar dari ruang pendinginan. Untuk ini diperlukan perapatan khusus terutama pada celah antara poros dan rumah generator (gambar 6.11).

Pendinginan dengan air secara langsung terhadap belitan stator dilakukan terhadap generator dengan kapasitas sangat besar (1200 MW) keatas, ketika pendinginan dengan hydrogen dirasa sudah tidak efektif lagi. Disini air pendingin dialirkan diantara penghantar penghantar listrik yang berfungsi sebagai belitan stator, sehingga dengan demikian panas yang timbul akibat mengalirnya arus listrik pada belitan dapat langsung dibuang melalui air pendingin ini



BAB VII

PENGOPERASIAN PLTD

7.1 COMISSIONING PLTD.

Suatu unit PLTD yang telah selesai pembangunannya, maka sebelum unit PLTD tersebut dinyatakan layak operasi, maka harus dilakukan apa yang disebut comissioning. Comissioning adalah kegiatan melaksanakan pemeriksaan dan pengujian pada peralatan peralatan PLTD apakah telah sesuai dengan kontrak pengadaannya, dan apakah juga telah sesuai dengan standard operasi yang berlaku.

Adapun kegiatan comissioning antara lain terdiri dari:

1. Pemeriksaan dokumen pemasangan dicocokkan dengan kontrak.
2. Pemeriksaan peralatan peralatan proteksi yang menjamin PLTD tsb dapat dioperasikan dengan aman.
3. Pemeriksaan peralatan ukur (tekanan, suhu, aliran, level dsb) seberapa jauh penyimpangannya terhadap alat ukur standard.
4. Pemasukan tegangan dari sistim jaringan listrik (back feeding) jika telah ada jaringan.
5. Uji generator dan trafo unit untuk memenuhi persyaratan paralel dengan jaringan.
6. Uji simulasi pengoperasian peralatan control.
7. Pelaksanaan pengoperasian individual peralatan bantu (sistim pendingin, sistim pelumas, sistim bahan bakar).
8. Pelaksanaan start awal, dan pengujian langsung PLTD pada putaran lebih.

9. Memparalel generator dengan jaringan listrik.
10. Uji pembebanan : minimum, 50%, 75%, 100%
11. Uji operasi kontinue
12. Uji unjuk kerja / Performance test (daya mampu max, pemakaian bahan bakar spesifik, pemakaian pelumas spesifik)
13. Operasi komersial.

Setelah dilakukan comissioning dan hasilnya telah dapat disepakati antara kontraktor dan pemilik, maka dilakukan serah terima dan diterbitkan sertifikat penyerahan (Certificate Of Delivery) dilanjutkan dengan penerbitan sertivicate serah terima proyek secara keseluruhan (Taking Over Certificate).

7.2 MENGOPERASIKAN PLTD

Pengoperasian pembangkit terbagi menjadi dua kategori yaitu operasi tunggal (single operation) dan operasi parallel (parallel operation). Pada operasi tunggal pembangkit beroperasi dengan memikul beban sendirian. Jika pembangkit mengalami kerusakan maka terjadilah pemadaman. Diluar itu jika terjadi perubahan beban, akan diikuti dengan perubahan frekuensi yang tajam, sehingga mutu listrik yang dihasilkan menjadi kurang baik. Operasi tunggal semacam ini hanya dapat ditemui di daerah daerah terpencil, dimana jaringan listrik interkoneksi belum ada.

Pada operasi parallel, output generator dari dua pembangkit atau lebih digabung menjadi satu untuk bersama sama memikul beban. Dengan operasi semacam ini frekuensi menjadi lebih stabil karena setiap perubahan beban akan dipikul bersama sama oleh seluruh pembangkit. Disamping itu rusaknya satu pembangkit tidak perlu terjadi pemadaman karena rusaknya satu pembangkit akan digantikan oleh pembangkit yang lainnya secara bersama sama.

Adapun pengoperasian PLTD terdiri dari persiapan start, pelaksanaan start, pelaksanaan parallel (synchronizing), pembebanan dan memberhentikan.

7.2.1 MENSTART PLTD

a) Persiapan start

Hal hal yang harus dilakukan oleh operator untuk mempersiapkan start PLTD adalah:

1. Periksa level pelumas pada crankcase, tambahkan bila perlu.
2. Periksa level air pendingin pada expansion tank. Tambahkan bila perlu.
3. Mencatat persediaan bahan bakar pada tangki harian (jika ada) dan tangki persediaan.
4. Periksa tekanan udara pada tangki udara untuk start. Tekanan cukup untuk start sesuai buku petunjuk.
5. Lakukan pelumasan awal menggunakan pompa tangan hingga pompa terasa berat
6. Periksa kesiapan alat-alat bantu mesin.
7. Atur posisi speed setting pada governor hingga menunjukkan posisi untuk putaran warming up.
8. Periksa kondisi kesiapan mesin dengan melihat lampu-lampu indikator pada panel control.
9. Mencatat stand kWh keluar generator, stand kWh Pemakaian Sendiri.

b) **Pelaksanaan start,**

1. Matikan heater generator.
2. Operasikan sistim air pendingin dan operasikan radiator / cooling tower.
3. Operasikan sistim pelumas diluar mesin.
4. Operasikan sistim supply bahan bakar.
5. Buka katup pada tabung udara start.
6. Tekan tombol start hingga mesin mulai beroperasi, catat pada jam berapa PLTD tsb distart. Perhatikan putaran mesin, ia harus berputar pada putaran warming up (500 rpm) dulu selama + /- 5 menit.
7. Tutup katup tabung udara start.
8. Naikkan putaran mesin sampai putaran penuh.
9. Lakukan pemeriksaan apakah ada kelainan (suara, bocoran, asap gas buang, getaran) beropersinya PLTD tsb, pada putaran penuh.
10. Lakukan pembentukan tegangan pada generator sampai dengan tegangan operasi yang berlaku.
11. Lakukan pemeriksaan apakah ada kelainan (suara, getaran, bocoran, asap gas buang) beropersinya PLTD tsb, pada putaran penuh dan betegangan.

7.2.2 MEMPARALLEL PLTD

Ada lima syarat yang harus dipenuhi sebelum generator PLTD dilakukan parallel (sinchron) dengan pembangkit lain yaitu:

1. Generator harus mengeluarkan tegangan yang sama dengan tegangan jaringan.
2. Generator harus mempunyai frekuensi yang sama dengan frekuensi jaringan
3. Generator harus mempunyai urutan fasa yang sama dengan urutan fasa jaringan
4. Generator harus mempunyai sudut fasa yang sama dengan sudut fasa jaringan
5. Generator harus mempunyai bentuk gelombang yang sama dengan bentuk gelombang jaringan

Bentuk gelombang dan urutan phase merupakan hal yang harus ditentukan pada waktu penyusunan kontrak, sementara untuk frekuensi, tegangan dan sudut fasa harus diamati setiap generator akan diparalel ke jaringan.

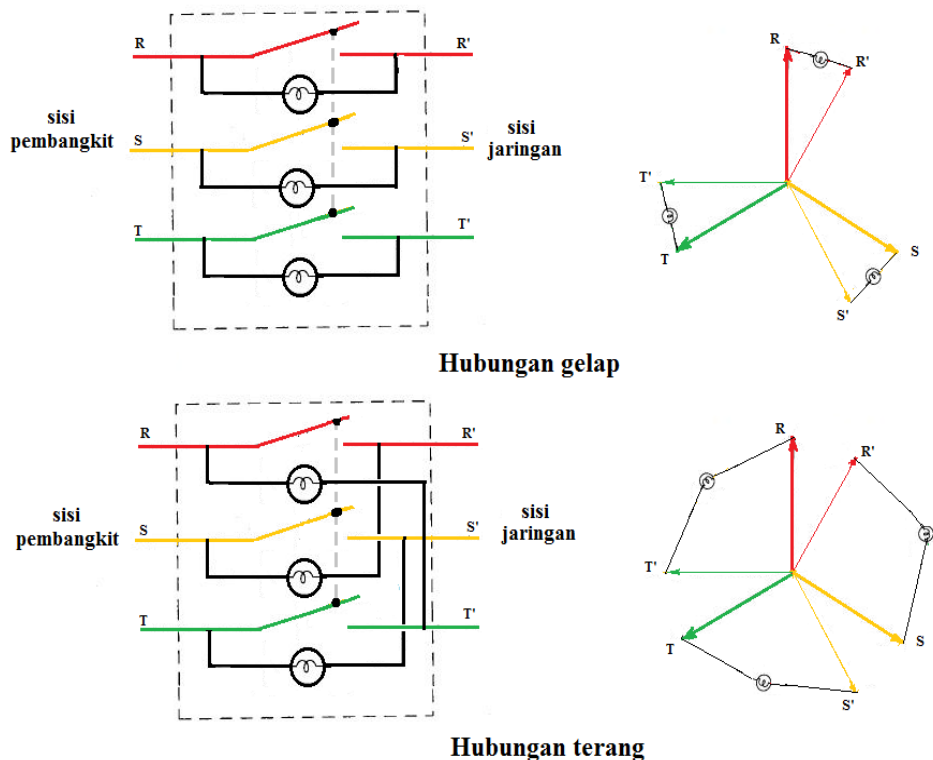
Ada tiga jenis peralatan yang digunakan untuk memparalel generator yaitu lampu sinchron, sinchroscope dan relay sinchrone.

a. Lampu sinchron

Ada dua jenis lampu sinchroon, yaitu yang disebut lampu sinchron dengan hubungan gelap dan lampu sinchron dengan hubungan terang. Untuk hubungan gelap lampu terhubung dengan masing masing jenis fasa yang sama pada generator maupun pada jaringan, sedang untuk hubungan terang lampu terhubung dengan jenis fasa yang berbeda antara generator dan jaringan. (gambar 7.1)

Tiga buah lampu dihubungkan diantara terminal trafo tegangan generator dan terminal trafo tegangan jaringan. Ketika frekuensi generator tidak sama dengan frekuensi jaringan, maka lampu akan menyala dan padam secara bergantian sesuai besarnya perbedaan

frekuensi diantara keduanya. Ketika frekuensi dan sudut phasanya menjadi sama maka hidup dan matinya akan berhenti, dan ketika jenis phasa yang sama pada generator dan jaringan berimpit, maka lampu akan padam (hubungan gelap) atau sebaliknya menjadi sangat terang (hubungan terang), dan jika tegangan telah menjadi sama, saat inilah PMT generator dapat dimasukkan, dan dengan demikian generator menjadi parallel dengan jaringan.



Gambar 7. 1 Rangkaian listrik dari lampu sinchrone

Memasukkan PMT generator ketika lampu belum padam (pada hubungan gelap) atau belum menyala sangat terang pada hubungan terang, akan menyebabkan arus yang besar melalui PMT, dan dapat menyebabkan kerusakan pada PMT maupun pada generator.

b. Synchroscope

Gambar 7.1 adalah pasangan peralatan untuk memparalel generator. Dari atas kebawah adalah synchroscope, Voltmeter dan Frekuensi meter. Keadaan dalam gambar adalah kondisi sedang tidak digunakan. Jika peralatan tersebut dalam kondisi digunakan maka ketika generator dalam kondisi parallel, Frekuensi meter (baris I / jaringan dan baris II/generator) akan menunjuk sama, Voltmeter I akan menunjuk sama dengan voltmeter II, dan jarum sinchroscop akan menunjuk lurus keatas.



Gambar 7. 2 Peralata Sinchron

Untuk memparalel generator maka pertama tama frekuensinya disamakan dengan melihat pada Frekuensi meter (biasanya 50 Hz), tegangan disamakan misalnya pada 220 V, kemudian diatur putaran mesin sehingga jarum sinchroscope berputar pelan searah jarum jam. Ketika jarum menunjuk lurus keatas saat itulah waktu yang tepat untuk memasukkan PMT generator.

Memasukkan PMT generator ketika jarum sinchroscope tidak menunjuk lurus keatas akan menyebabkan arus yang besar melalui PMT, dan dapat mnyebabkan kerusakan pada PMT maupun pada generator.

c. Synchronizing relays

Dengan Sinchronizing relay tidak diperlukan lagi tangan manusia melakukan sinchronisasi generator. Sinchronisasi berlangsung secara otomatis. Sebagai pengganti manuia digunakan relay electromechanical atau microprosesor digital yang dengannya proses menaikkan dan menurunkan putaran mesin, pemberian tegangan dan memasukkan PMT berjalan otomatis.

7.2.3 MEMBEBANI PLTD

Setelah Generator PLTD paralel dengan jaringan listrik, maka kepada PLTD tsb dapat dibebani sampai dengan daya mampu maximumnya. Pembebanan PLTD dapat dilakukan sebagaimana pembebanan pada

unit pembangkit lain yaitu dengan mode governor atau dengan mode load limit.

a. Pengoperasian dengan mode Governor

Dengan mode governor dimaksudkan agar putaran mesin dapat dibuat stabil atau dengan kata lain frekuensi listrik dapat dipertahankan pada standard yang sudah ditentukan (misalnya 50 Hertz untuk Indonesia). Besarnya beban PLTD adalah = besarnya daya yang diberikan PLTD tsb pada frekuensi 50 Hz. Jika besar beban lebih tinggi dari daya yang diberikan, maka frekuensi akan menurun. Untuk menjaga agar frekuensi tidak terus menurun, daya PLTD harus ditambah. Penambahan daya dilakukan dengan menambah aliran bahan bakarnya, yang secara otomatis dilakukan oleh governor (lihat 4.7) sesuai dengan speed droop yang ditentukan.

b. Pengoperasian dengan mode Load Limit

Dengan mode Load Limit dimaksudkan agar daya mampu PLTD tetap konstan, meskipun konsumen memberikan beban yang lebih yang ditunjukkan dengan menurunnya frekuensi. Dalam hal ini PLTD menjadi tidak berperan dalam hal menjaga kestabilan frekuensi. Namun beroperasinya mesin PLTD menjadi lebih stabil. Jika beban jauh lebih besar dari daya mampu yang diberikan PLTD, maka frekuensi akan terus merosot, dan mengakibatkan PLTD tsb harus berhenti otomatis (trip)

7.2.4 MEMBERHENTIKAN PLTD.

Untuk memberhentikan PLTD, dilakukan dengan urutan sebagai berikut.

1. Turunkan daya dengan menurunkan aliran bahan bakarnya sampai dengan beban minimum. Penurunannya dilakukan secara bertahap sesuai batasan yang diberikan pabrik pembuatnya.
2. Keluarkan PMT generator, sehingga PLTD terputus hubungan dengan jaringan listrik.
3. Tunggu selama ± 5 menit (pendinginan mesin pada putaran full speed)
4. Turunkan tegangan generator, dan matikan tegangan penguatan rotor generator.
5. Turunkan aliran bahan bakarnya sampai dengan putaran minimum yang ditentukan pabrik pembuat.
6. Tunggu selama ± 5 menit untuk pendinginan mesin pada putaran rendah.
7. Putuskan aliran bahan bakarnya, dengan demikian PLTD berputar menuju putaran nol.
8. Operasikan heater generator
9. Matikan radiator / cooling tower.
10. Catat stand flow meter BBM, stand kWh dibangkit, stand kWh PS, jam stop mesin pada log sheet

7.3 TUGAS OPERATOR SELAMA PLTD BEROPERASI.

Selama jam dinasnya operator PLTD mempunyai tugas dan tanggung jawab sbagai berikut:

1. Mengamati dan mencatat semua parameter parameter operasi seperti tekanan, aliran, suhu, level kedalam lembar catatan / log sheet (lihat tabel 6.1) dan melaporkan ke atasannya jika didapati ada kelainan.

2. Mencatat persediaan bahan bakar.
3. Mengamati suara mesin dan melaporkannya jika ada kelainan.
4. Menghitung pemakaian bahan bakar dan kwh dibangkitkan selama jam dinas.
5. Menandatangani berita acara penerimaan bahan bakar
6. Membersihkan bagian mesin dari debu dan kotoran.
7. Membersihkan dan mengeringkan bagian mesin yang terkena bocoran pelumas, air atau bahan bakar.
8. Melaksanakan serah terima tanggung jawab pengoperasian kepada regu penggantinya

Tabel 7. 1 Contoh Log sheet harian operator PLTD

ITEM		SATUAN	JAM								
			7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00
Beban		kW									
Putaran mesin		rpm									
Putaran turbo charger		rpm									
Posisi Fuel rack		mm									
Penunjukan beban governor											
Tekanan air pendingin HT		bar									
Tekanan air pendingin LT		bar									
Tekanan pelumas		bar									
Tekanan bahan bakar		bar									
Tekanan tangki udara		bar									
Tekanan gas bekas setelah turbo charger		mbar									
Tekanan barometer		mbar									
Tekanan crankcase/carter		bar									
Suhu ambient		deg C									
Suhu udara setelah turbo charger		deg C									
Suhu udara dlm tangki		deg C									

Suhu air masuk pendingin udara	deg C									
Suhu air keluar pendingin udara	deg C									
Suhu pelumas masuk mesin	deg C									
Air pendingin masuk mesin (HT)	deg C									
Air pendingin keluar mesin (HT)	deg C									
Air pendingin masuk mesin (LT)	deg C									
Air pendingin keluar mesin (LT)	deg C									
Bahan bakar masuk mesin	deg C									
Bahan bakar keluar mesin	deg C									
Suhu gas bekas keluar sil 1	deg C									
2	deg C									
3	deg C									
4	deg C									
5	deg C									
6	deg C									
7	deg C									
8	deg C									
9	deg C									
Suhu gas bekas sebelum turbocharger	deg C									
Suhu gas bekas setelah turbocharger	deg C									

7.4 FAKTOR FAKTOR OPERASI DAN KEANDALAN PEMBANGKIT.

Faktor faktor ini merupakan suatu ukuran keberhasilan pembangkit didalam menyediakan dan menjual tenaga listriknya. Faktor faktor ini dilaporkan kepada manajemen perusahaan pembangkit yang bersangkutan untuk diperbandingkan dengan standard dan keberhasilan dimasa sebelumnya. Dengan demikian dapat diketahui seberapa jauh penurunan kualitas pembangkit ybs, untuk kemudian diambil langkah guna merencanakan perbaikannya dan penentuan biaya yang diperlukannya.

a) Faktor faktor operasi pembangkit

1. CF (Capacity Factor / Faktor Kapasitas)

$$= \frac{\text{Produksi kwh bruto dalam jam periode}}{\text{Daya terpasang} \times \text{jam periode}} \times 100\%$$

2. LF (Load Factor / Faktor beban)

$$= \frac{\text{Produksi kwh bruto dalam jam periode}}{\text{Beban puncak tertinggi} \times \text{jam periode}} \times 100\%$$

3. OF (Output Factor / Faktor produksi)

$$= \frac{\text{Produksi kwh bruto dalam jam periode}}{\text{Daya terpasang} \times \text{jam operasi}} \times 100\%$$

4. SFC (Spesific Fuel Consumption / Pemakaian bahan bakar spesifik):

$$= \frac{\text{Pemakaian bahan bakar dalam jam periode}}{\text{Produksi kwh dalam jam periode}} \text{ liter (kg) / kwh.}$$

5. SLC (Spesific Lube Consumption / Pemakaian pelumas spesifik):

$$= \frac{\text{Pemakaian minyak pelumas dalam jam periode}}{\text{Produksi kwh dalam jam periode}} \text{ cc / kwh}$$

6. Heat Rate (Pemakaian bahan bakar dalam nilai kilo kalori / kwh):

$$= \frac{(\text{Pemakaian bahan bakar} \times \text{nilai kalor}) \text{ dalam jam periode}}{\text{Produksi kwh dalam jam periode}} \text{ kkal / kwh}$$

b) Faktor faktor keandalan dan kesediaan pembangkit:

1. DF (Dependable Factor / Faktor Daya Mampu):

$$= \frac{\text{Daya mampu}}{\text{Daya terpasang}} \times 100\%$$

2. AF (Availability Factor / Faktor kesediaan):

$$= \frac{\text{Jam operasi} + \text{jam standby mesin}}{\text{jam periode}} \times 100\%$$

3. EAF (Equivalent Availability Factor / Faktor Kesiediaan Equivalent):

$$= \frac{(\text{Jam operasi} + \text{jam standby}) \times \text{daya terpasang} - \text{kw derated} \times \text{jam derated}}{\text{daya terpasang} \times \text{jam periode}} \times 100\%$$

4. FF (Failure Factor / Faktor Gangguan).

$$= \frac{\text{Jumlah jam gangguan didalam jam periode}}{\text{jam periode}} \times 100\%$$

5. MF (Maintenance Factor / Faktor Pemeliharaan)

$$= \frac{\text{Jumlah jam pemeliharaan didalam jam periode}}{\text{jam periode}} \times 100\%$$

6. SRF (Starting Reliability Factor / Faktor Keandalan Start)
(khusus untuk unit emergency)

$$= \frac{\text{Jumlah start berhasil}}{\text{jumlah start}} \times 100\%$$

BAB VIII

PEMELIHARAAN PLTD

8.1 Pendahuluan

Pemeliharaan didefinisikan sebagai kegiatan untuk mempertahankan unjuk kerja awal atau mengembalikan kepada kondisi awal beroperasinya PLTD ybs. Unjuk kerja adalah besarnya daya mampu dan besarnya pemakaian bahan bakar per kwh pada kondisi operasi yang ditentukan oleh pabrik pembuat. Termasuk kedalam unjuk kerja adalah seberapa besar pengaruh beroperasinya PLTD tsb terhadap lingkungan seperti suara dan emisi gas buangnya.

Pada dasarnya setiap unit pembangkit listrik yang dibangun dilengkapi dengan buku petunjuk pengopersian maupun pemeliharaan yang diterbitkan oleh pabrik pembuatnya. Buku petunjuk ini harus menjadi acuan pokok didalam melaksanakan pengoperasian maupun pemeliharaan unit pembangkit yang bersangkutan. Petunjuk pemeliharaan rutin terdiri dari jadwal pemeriksaan mesin Diesel, generator /exciter dan switch gear (PMT). Didalamnya terdapat jadwal pemeliharaan mingguan, bulanan, tiga bulanan, tahunan dan overhaul.

Petugas pemeliharaan secara rutin harus memeriksa bagian bagian peralatan untuk mengetahui kemungkinan adanya tanda tanda awal dari kerusakan. Jika memerlukan perbaikan agar selalu memperhatikan buku petunjuk pabrik.

8.2 Jenis-Jenis Pemeliharaan

Pemeliharaan terbagi kedalam dua golongan utama yaitu pemeliharaan terencana (Planed Maintenance dan pemeliharaan tidak terencana (unplaned maintenance). Termasuk kedalam pemeliharaan terencana adalah:

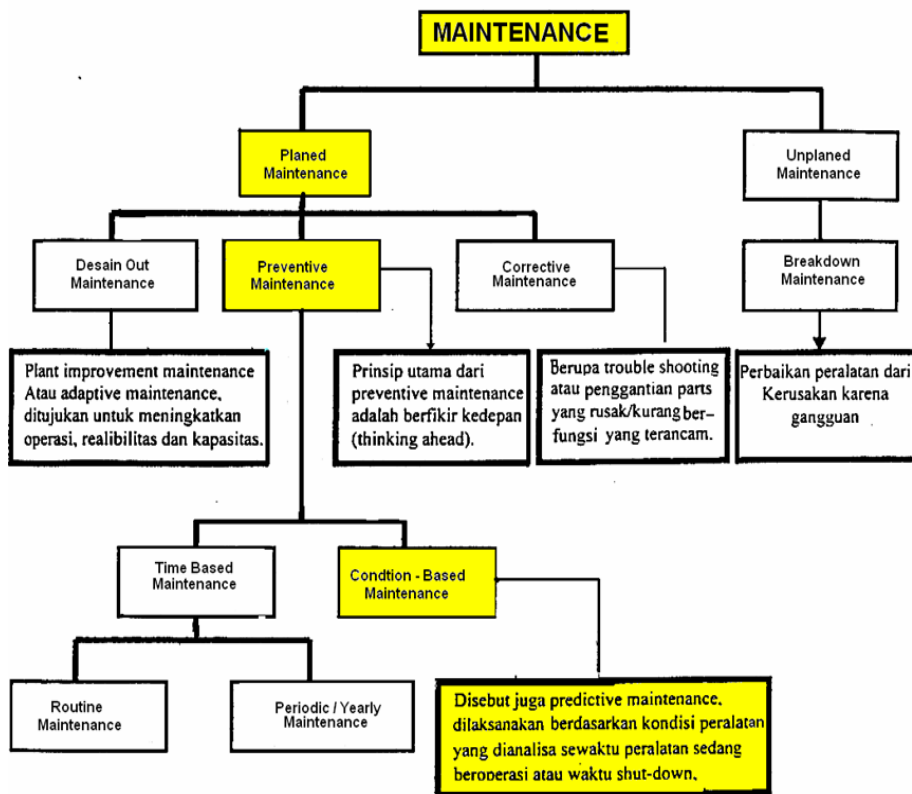
- pemeliharaan untuk tujuan meningkatkan reliabilitas, dan kapasitas diluar yang sudah berjalan (plant improvement maintenance),
- pemeliharaan untuk mencegah terjadinya kerusakan (preventive maintenance) dan
- pemeliharaan untuk memperbaiki kerusakan (corrective maintenance)

Pemeliharaan diluar rencana adalah pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki kerusakan akibat kegagalan fungsi peralatan atau karena gangguan.

8.3 Pemeliharaan Preventif (Preventif Maintenance)

Pemeliharaan preventive meliputi dua metode pemeliharaan yaitu:

- Pemeliharaan yang dilakukan secara berkala dalam rangka mencegah terjadinya kerusakan dengan melakukan pemeriksaan bagian bagian mesin dengan jadwal waktu yang sudah ditetapkan (time based maintenance). Time Based Maintenance dibagi kedalam dua kelompok yaitu:
 - Pemeliharaan yang bisa dilakukan dalam keadaan unit sedang beroperasi atau tidak memerlukan waktu berhenti yang lama, disebut sebagai pemeliharaan rutin.
 - Pemeliharaan terjadwal yang memerlukan waktu berhenti yang relative lama, dikenal dengan sebutan pemeliharaan periodic, inspection atau overhaul.



Gambar 8. 1 Maintenance

- Pemeliharaan yang dilakukan berdasar data data operasi yang menunjukkan kondisi mesin masih baik atau tidak (condition based maintenance). Pemeliharaan jenis ini juga dikenal sebagai pemeliharaan prediktif.

8.3.1 Pemeliharaan rutin

Pemeliharaan jenis ini umumnya dilakukan pada waktu pembangkit sedang beroperasi atau standby dengan tujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan dini atau penurunan performance dari peralatan peralatan yang sedang / siap beroperasi. Termasuk kedalam

pemeliharaan jenis ini adalah pemeliharaan harian, mingguan, 500 jam, 1000 jam, 2000 jam dan 4000 jam, meliputi:

- Pengamatan terhadap parameter-parameter operasi, seberapa jauh parameter-parameter berada didalam batas yang ditentukan, dan mengambil tindakan yang perlu jika parameter2 berada diluar batas yang ditentukan (harian).
- Pengetesan operasi mesin untuk mesin yang standby (mingguan).
- Pembersihan / penggantian saringan udara, saringan pelumas, saringan bahan bakar, pemeriksaan kualitas air pendingin (500 jam).
- Penambahan dan penggantian pelumas (jika diperlukan).
- Pembersihan radiator atau menara pendingin sesuai keperluan.
- Overhaul injector bahan bakar, pemeriksaan sistim bahan bakar, periksa bagian dalam crankcase, periksa valve clearance, periksa baut baut fondasi (4000 jam)

8.3.2 Pemeliharaan Periodik / Overhaul

Suatu bentuk pemeliharaan terencana yang dilakukan berdasarkan jadwal dan item pemeriksaan sesuai buku petunjuk dari pabrik pembuat. Termasuk kedalam jenis pemeliharaan periodic / overhaul adalah Top Overhaul (TO), Semi Overhaul (SO) dan Major Overhaul (MO).

a. Top - Overhaul (TO)

Adalah jenis pemeliharaan untuk melakukan pemeriksaan (inspection) terhadap bagian atas mesin (silinder head keatas).

Kegiatan pemeliharaan ini meliputi pekerjaan pelepasan bagian bagian silinder head (disassembly), pengukuran, penggantian atau merekondisi komponen-komponen yang aus / rusak, dilanjutkan dengan pemasangan kembali menjadi silinder head yang utuh (assembly). Tergantung dari merek mesinnya jadwal pemeliharaan jenis ini dilakukan pada setiap jam operasi 6000 jam, tetapi ada juga mesin dengan merek lain yang dilakukan pada setiap jam operasi 12000 jam.

Pekerjaan – pekerjaan yang dilakukan pada Top Overhaul meliputi antara lain :

I. Pekerjaan pembersihan dan pemeriksaan:

- Pembersihan dan pemeriksaan salah satu silinder head (jika terdapat kelainan dilanjutkan dengan yang lainnya). Pemeriksaan dilakukan terhadap:
 1. Bagian bagian ruang bakar, katup isap dan katup buang terhadap perubahan warna, korosi, dan keretakan
 2. Permukaan kontak dengan blok silinder; apakah terdapat bekas kebocoran gas, air atau perubahan bentuk
 3. Kontak antara pipi katup dan dudukannya apakah terdapat kebocoran.
 4. Baut-baut pengikatnya, apakah terdapat perubahan bentuk atau kerusakan pada ulirnya.
 5. Laluan air pendingin, apakah terdapat karat, kerak, atau bocor.
 6. Keausan dan kondisi pelumasan batang katup
 7. Kelonggaran dan keausan batang katup dan pemegang (bushing) nya.

8. Pegas katup terhadap kemungkinan patah, aus, korosi, dan kekuatannya

- Pembersihan dan Pemeriksaan Turbocharger
- Pembersihan dan Pemeriksaan Charge Air Cooler
- Pembersihan Pemeriksaan pompa sirkulasi bahan bakar.
- Kalibrasi alat ukur dan pengatur.
- Pemeriksaan peralatan listrik

II. Pekerjaan pengukuran, perbaikan dan atau penggantian

- Perbaiki atau ganti kedudukan katup, apabila sudah tidak berfungsi baik.
- Ganti packing silinder head dengan yang baru.
- Ukurlah celah antara batang katup dan pemegang batang katup, jika telah melampaui batas agar keduanya diganti.
- Ganti pegas katup jika ada tanda korosi, retak, patah atau sudah lemah

III. Pengetesan kemampuan mesin

b. Semi Overhaul (SO)

Adalah jenis pemeliharaan untuk melakukan pemeriksaan (inspection) terhadap connecting rod keatas. Kegiatan pemeliharaan ini meliputi pekerjaan untuk Top Overhaul ditambah dengan pelepasan (disassembly), pengukuran, penggantian atau merekondisi komponen-komponen yang aus / rusak, dari bagian crank pin keatas, dan merangkai kembali (assembly) bagian bagian tersebut menjadi mesin yang utuh. Tergantung dari merek mesinnya jadwal pemeliharaan jenis ini dilakukan pada setiap jam operasi 12000 jam,

tetapi ada juga mesin dengan merek lain yang dilakukan pada setiap jam operasi 24000 jam.

Pekerjaan – pekerjaan yang dilakukan pada Semi Overhaul meliputi pekerjaan pekerjaan yang dilakukan sesuai Top Overhaul untuk semua Silinder Head ditambah dengan:

I. Pekerjaan pembersihan dan pemeriksaan pada:

- Dinding dalam silinder liner terhadap kemungkinan adanya goresan, lekuk-lekuk, retak retak atau bintik bintik korosi.
- Setelah liner dikeluarkan dari silinder blok, periksa bagian luar silinder liner dari korosi, dan apakah zink anodanya (jika ada) sudah menipis.
- O ring perapat silinder liner dan silinder blok apakah tidak bocor, cukup elastis dan masih bisa dipakai kembali.
- Piston terhadap tanda tanda terbakar, retak, korosi dan goresan.
- Piston pin dan bantalannya terhadap retak-retak dan over clearance. Juga bersihkan alur minyak pelumasnya.
- Ring piston apakah patah, aus, macet dalam alurnya, atau kerusakan lainnya.
- Connecting rod (stang piston), terhadap bengkok dan retak pada tubuh serta aus pada sisi piston pin. Juga terhadap saluran minyak pelumasnya.
- Metal jalan dari aus, goresan dan luka luka pitting.
- Bagian poros engkol (crank shaft) yang berhubungan dengan metal jalan dari luka goresan. Jika terdapat banyak goresan maka semua bagian poros engkol harus diperiksa. Overhaul menjadi Major Overhaul

II Pekerjaan pengukuran, perbaikan dan atau penggantian

- Ukurlah diameter dalam dari silinder liner dalam arah sejajar piston pin dan dalam arah melintang 90° . Jika didapat diameter yang tidak merata dan melampaui batas, silinder bisa digerinda (cutter) sampai ukuran oversize diatasnya. Jika ukuran oversize sudah habis, liner harus diganti baru dengan ukuran standard.
- Ukurlah diameter-luar piston dalam arah sejajar piston pin dan dalam arah melintang 90° . Jika ukuran luar piston dan ukuran diameter dalam silinder liner berselisih diluar batas, piston harus diganti yang sesuai.
- Ukur celah antara piston ring dan alur dudukannya pada piston. Jika telah melampaui batas, piston harus diganti baru.
- Ukur selisih diameter-luar piston pin dan diameter dudukannya pada piston. Jika selisih diantara keduanya terlalu besar dari batas yang ditentukan agar diperbaiki.
- Ukur celah antar ujung ring piston, ketika ring piston diletakkan didalam silinder liner. Jika celah tersebut telah menjadi besar dan melampaui batas, agar diganti baru sesuai ukuran pistonnya.
- Ukur celah antara metal jalan dan poros engkol. Jika celahnya telah menjadi besar, agar metal jalan diganti baru sesuai diameter engkolnya.

III. Pengetesan kemampuan mesin

c. Major Overhaul (MO)

Adalah jenis pemeliharaan untuk melakukan pemeriksaan (inspection) terhadap seluruh bagian mesin Diesel dan Generator.

Tergantung dari merek mesinnya jadwal pemeliharaan jenis ini dilakukan pada setiap jam operasi 24000 jam, tetapi ada juga mesin dengan merek lain yang dilakukan pada setiap jam operasi 36000 jam.

Pekerjaan – pekerjaan yang dilakukan pada Major Overhaul meliputi pekerjaan pekerjaan yang dilakukan sesuai Semi Overhaul ditambah dengan pekerjaan pembersihan, pemeriksaan, pengukuran, perbaikan atau penggantian terhadap poros engkol dan kelengkapannya sebagaimana berikut:

I. Pekerjaan pembersihan dan pemeriksaan pada:

- Permukaan kontak poros engkol dengan bantalannya terhadap, perubahan warna, retak, goresan, keausan tidak merata, korosi. dan hal yang tidak normal lainnya.
- Saluran pelumas poros engkol terhadap kotoran dan kerak-kerak karbon
- Kondisi bobot pengimbang (balancing weight), roda gigi, dan baut baut pengikat roda gila.
- Bantalan (Metal) terhadap luka gores, pitting atau terkelupas. Baut dan mur pengikat serta pen / ring penguncinya terhadap ketidak normalan bentuk dan permukaannya.

II. Pekerjaan pengukuran, perbaikan dan penggantian.

- Ukur diameter-luar jurnal dan pena engkolnya. Pengukuran tsb harus dilaksanakan dalam arah vertikal dan horisontal, pada sisi depan, tengah dan belakang poros engkol. Jika hasil pengukuran menunjukkan ketidak rataan, maka poros engkol harus digerinda untuk mendapatkan diameter yang merata sampai ukuran undersize yang ditentukan. Jika ukuran

undersize telah habis, maka poros engkol harus diganti baru atau dilapis kembali.

- Ukur kelurusan poros engkol pada masing masing journal tetap (pada posisi metal diuduk). Jika poros engkol ternyata tidak lurus lagi dan melampaui batas agar dilakukan perbaikan atau diganti baru.
- Ganti bantalan (metal) sesuai ukuran undersize poros engkol.
- Ganti baut, mur dan pen atau ring pengunci yang sudah tidak memadai.

III. Pengetesan kemampuan mesin

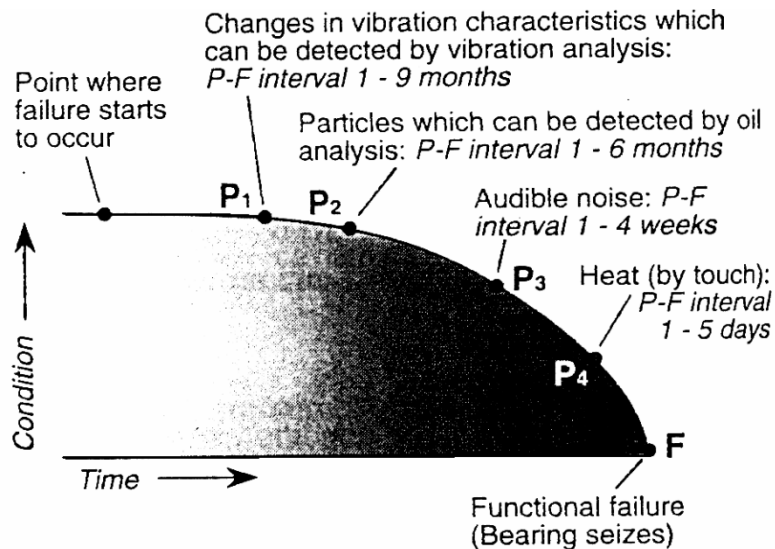
8.3.3 Pemeliharaan prediktif.

Pemeliharaan prediktif (predictive maintenance) atau juga disebut sebagai pemeliharaan berdasar kondisi (Condition Based Maintenance) merupakan pemeliharaan tanpa jadwal tertentu. Umumnya pabrik pembuat mesin tidak menganjurkan pemeliharaan jenis ini, yang mendasarkan pelaksanaan pemeliharaan pada trending / gejala yang terjadi pada mesin.

Pada dasarnya sebelum terjadi kerusakan bagian bagian mesin akan memberikan tanda tanda kelainan dari kondisi normal sebelumnya, seperti naiknya getaran, naiknya suhu, perubahan suara dll. Dengan demikian mesin tetap terus dapat dioperasikan dan tidak perlu diberhentikan untuk dilakukan overhaul sebelum ada tanda tanda kelainan tsb.

Gambar 8.2 menunjukkan gejala kerusakan pada umumnya dari bagian bagian mesin yang diurutkan sebagai titik titik $P_1; P_2; P_3; P_4$ dan F , dimana:

P₁ penganalisa vibrasi (vibro analyser) gejala kerusakan tersebut mulai dirasakan pada P₁, 1- 9 bulan sebelum terjadinya kerusakan yang fatal. Dengan menganalisa minyak pelumas, dapat dideteksi munculnya partikel logam pada minyak pelumas P₂, 1-6 bulan sebelum terjadi kerusakan yang fatal.



Gambar 8. 2 Proses terjadinya kerusakan bagian mesin sampai mesin harus berhenti

8.4 Pemeliharaan Korektif

Pemeliharaan korektif dilakukan apabila terjadi kegagalan berulang pada suatu mesin atau komponen mesin dalam rangka mencegah jangan sampai terulang kembali di masa depan dengan melakukan studi (Reverse Engeneering), merancang ulang, menetapkan kembali spesifikasi material, memasang dan menguji komponen yang gagal tersebut.

Dengan berjalannya waktu, maka jumlah asset dan biaya yang digunakan untuk merawat asset makin bertambah besar menyebabkan manusia mulai mencari-cari perawatan baru dengan

mana mereka dapat memaksimalkan umur peralatan. Pemeriksaan korektif (tidak periodik) mencakup :

a. Perbaikan

Pemeliharaan tidak periodik, meliputi pekerjaan rekondisi dan perbaikan beberapa komponen dengan tujuan untuk mengembalikan kondisi mesin kepada kondisi semula atau kondisi maksimal.

b. Penggantian

Pemeliharaan ini meliputi pekerjaan rekondisi dan penggantian sejumlah besar komponen dengan tujuan mengembalikan kondisi mesin kepada kondisi semula atau kondisi maksimal.

c. Penyempurnaan

Pemeliharaan ini meliputi pekerjaan perubahan desain dari komponen dengan tujuan menaikkan kemampuan dan efisiensi.

8.5 Pemeliharaan Tidak Terencana

Pemeliharaan tidak terencana adalah pemeliharaan yang dilakukan tanpa ada rencana sebelumnya. Hal ini disebabkan adanya kerusakan yang tidak terduga, tapi harus dikerjakan pada tahun yang bersangkutan karena keadaan darurat.

8.6 Macam macam jenis gangguan.

Seperti halnya pembangkit listrik lainnya atau mesin penggerak lain, maka pada pengoperasian mesin PLTD dapat juga dijumpai berbagai jenis gangguan operasi yang menghambat PLTD tsb untuk memberikan output dan performancenya. Berbagai jenis gangguan yang mungkin bisa terjadi pada PLTD dapat dilihat pada tabel 8.1.

Didalam tabel tersebut dijelaskan tentang jenis gangguan, kemungkinan penyebabnya dan perbaikan yang perlu dilakukan.

Tabel 8. 1 Jenis gangguan dan kemungkinan penyelesaiannya

No	Jenis gangguan	Kemungkinan Penyebab Kerusakan	Perbaikannya
1	Pada waktu distart, poros mesin tidak berputar	a. Pada sistim start dengan udara tekan. 1. Tekanan udara di dalam tangki terlalu rendah. 2. Kebocoran melalui pipa udara- tekan dan atau melalui katup udara.	Isi udara tekan. Perbaiki yang bocor atau rusak.
		b. Pada sistim start dengan listrik. 1. Baterai lemah atau mati. 2. Terminal baterai kotor. 3. Kawat listrik terlepas, rusak atau putus. 4. Kerusakan pada relai. 5. Motor starter rusak.	Isi atau ganti baterai. Bersihkan dan lapisi gemuk. Perbaiki atau kencangkan sambung-ansambungannya. Perbaiki atau ganti dengan yang baru.

			Perbaiki atau ganti dengan yang baik.
2	Pada waktu start mesin berputar sangat lambat	a. Kerugian mekanis. 1. Kekentalan min yak pelumas terlalu tinggi. 2. Kemacetan pada beberapa bagian. 3. Mesin terlalu dingin.	Panasi atau ganti dengan yang lebih sesuai. Bongkar dan perbaiki. Panasi.
3	Pada waktu start tidak terjadi pembakaran	a. Pemanas ruang bakar rusak. 1. Kerusakan sekering. 2. Tegangan baterai terlalu rendah.	Ganti dengan yang baru. Isi baterai.

	b. Tidak terjadi pengabutan bahan bakar: 1. Tidak cukup bahan bakar di dalam tangki. 2. Pipa bahan bakar tersumbat. 3. Udara di dalam sistim pengabutan bahan bakar. 4. Pompa pengisi bahan bakar tidak mengisap. 5. Plunyer pompa nozel bahan bakar sudah aus. 6. Sambungan-sambungan antara governor dan pompa longgar atau terlepas. 7. Kotoran atau karat pada pegas katup pompa. 8. Pegas pompa patah.	Isi bahan bakar. Bersihkan. Keluarkan udara dari sistim bahan bakar. Bongkar pipa, bersihkan dan perbaiki. Ganti dengan yang baru. Perbaiki. Bersihkan. Ganti dengan yang baru.
--	--	---

	c. Nozel tidak bekerja dengan baik. 1. Katup nozel macet. 2. Nozel menetes. 3. Sekerup pipa bahan bakar longgar. 4. Pipa bahan bakar patah atau bocor. 5. Kebocoran pada nozel 6. Katup nozel macet.	Buka nozel dan ujilah dengan alat penguji. Kalau nozel tidak bekerja baik, bongkar dan perbaiki. Sama dengan tersebut diatas. Kencangkan. Ganti dengan yang baru. Bersihkan permukaan sambungan-sambungan dan terapkan kembali dengan menambahkan sealer. Betulkan, sesudah itu kencangkan kembali sekerupnya.
	d. Saat pengabutan kurang tepat 1. Kesalahan penyetelan pada kopeling pompa nozel bahan bakar.	

		2. Cam sudah aus. 3. Permukaan bagian yang menempel pada cam sudah aus.	Betulkan, sesudah itu kencangkan kembali sekerupnya. Ganti dengan yang baru. Ganti dengan yang baru.
		e. Tekanan kompresi rendah. 1. Katup isap atau katup buang tidak menutup rapat 2. Ring piston macet di dalam alurnya. 3. Kebocoran melalui paking silinder head	Bongkar dan perbaiki. Bongkar dan perbaiki Kencangkan baut-baut silinder head. Kalau masih bocor, ganti baru.
4	Mesin Dapat Distart Tetapi kemudian mati mendadak	a. Terdapat air didalam bahan bakar.	Bersihkan tangki bahan bakar dari air.
		b. Lubang ventilasi tangki bahan bakar buntu.	Bersihkan.
		c. Saringan bahan bakar kotor.	Bersihkan atau ganti baru.
		d. Katup bahan bakar belum dibuka	Periksa dan buka.

		e. Sistim bahan bakar kemasukan udara. 1. Tangki bahan bakar pernah kosong. 2. Sisi hisap pompa bocor, sehingga udara terhisap masuk	Alirkan bahan bakar menuju nozel sampai udara terbang semua. Perbaiki dan alirkan bahan bakar menuju nozel sampai udara terbang semua.
5	Pada Waktu Mesin Bekerja, Tekanan Minyak Pelumas Tetap Rendah	a. Kekurangan minyak pelumas.	Tambah.
		b. Minyak pelumas terlalu kental sehingga pompa pelumas gagal menghisapnya.	Panasi atau ganti dengan minyak pelumas yang lebih sesuai.
		c. Alat pengukur tekanan rusak (diperkirakan demikian apabila ternyata minyak pelumas memancar keluar pada waktu sambungan pipa dilepaskan).	Gantilah dengan yang baru.
		d. Pipa alat pengukur tekanan buntu.	Bongkar dan bersihkan.
		e. Udara terisap masuk melalui pipa isap pompa.	Periksa apakah paking pompa atau pipa isapnya bocor atau sudah rusak. Perbaiki atau ganti dengan yang baru.

		f. Pipa isap dari pompa atau saringan isapnya buntu.	Bongkar dan bersihkan.
		g. Roda gigi atau rumah pompa sudah aus.	Bongkar dan periksa; ganti dengan yang baru.
		h. Pada waktu memasang pompa pelumas, roda gigi dan rumah pompa lupa tidak diminyaki.	Bongkar kembali dan minyaki.
		i. Katup pengatur tekanan minyak pelumas rusak.	Bongkar dan periksa; gantilah dengan yang baru.
		j. Baut pembuang minyak pada saringan minyak pelumas longgar.	Kencangkan.
		k. Saringan minyak pelumas tersumbat.	Bersihkan dan ganti elemennya
6	Waktu beroperasi tekanan pelumas menurun.	a. Kekenlalan minyak pelumas berkurang karena terlalu panas sehingga tekanan nyapun berkurang. 1. Mesin bekerja terus menerus pada daya penuh, 2. Keboeoran gas pembakaran melalui sela piston terlalu besar. 3. Banyak bagian-bagian mesin yang macet atau aus (minyak pelumas mengandung banyak serbuk logam).	Matikan mesin. Sesudah minyak pelumas menjadi dingin kembali, mesin boleh dijalankan lagi. Bongkar mesin dan gantilah ring pistonnya.

			Periksa dan perbaiki bantalan-bantalan poros engkol dan batang penggerak.
		b. Tekanan minyak pelumas tiba-tiba turun dan tak dapat naik kembali. 1. Kerusakan bantalan utama poros. 2. Pipa minyak pelumas rusak, bocor atau longgar sambungannya.	Bongkar, perbaiki, ganti bagian yang rusak. Perbaiki atau ganti.
		c. Udara masuk ke dalam pipa, karena kekurangan minyak pelumas, sehingga tekanan minyak pelumas naik-turun.	Isi minyak pelumas.
7	Daya Mesin Menurun.	a. Jumlah bahan bakar yang disemprotkan tidak sesuai dengan yang diperlukan. 1. Penyetelan penyetop gerigi pengatur bahan bakar tidak tepat. 2. Plunyer pompa sudah aus. 3. Sekerup penetap, yang terdapat pada	Periksa dan setel dengan mem-pergunakan alat penguji pompa. Bersihkan atau ganti saringan bahan bakarnya.

		mekanisme pemutar plunyer pompa, kendor. 4. Kebocoran pada pipa bahan bakar. 5. Kotoran pada katup-katup pompa atau penetapnya kurang kencang. 6. Kebocoran pada rumah katup. 7. Pegas katup patah.	Perbaiki atau ganti dengan plunyer yang baru. Perbaiki dan kencangkan sekerup pada tempatnya. Periksa letak kebocoran tsb. dan perbaiki. Bersihkan dan pasang kembali dengan sebaik- baiknya. Perbaiki atau ganti katup dan dudukannya. Ganti dengan yang baru.
		b. Nozel penyemprot bahan bakar rusak. 1. Lubang nozel tersumbat. 2. Katup nozel kotor atau rusak.	Bersihkan atau ganti nozel.

		3. Pegas katup patah.	Bersihkan atau ganti dengan nozel yang baru. Ganti dengan pegas baru.
		c. Saat pengabutan bahan bakar kurang tepat. 1. Saat pengabutan terlalu pagi sehingga terjadi ketukan ("knocking"). 2. Saat pengabutan bahan bakar terlalu lambat; gas buang berwarna putih.	Lambatkan. Cepatkan.
		d. Kerusakan pada beberapa bagian mesin 1. Keausan silinder dan ring piston. 2. Ketidak sempurnaan kontak muka katup dan dudukannya. 3. Celah bebas katup kurang tepat. 4. Ring piston macet. 5. Ring piston patah. 6. Pendinginan kurang baik.	Ring piston; kalau perlu piston harus diganti. Asah muka katup padadudukannya. Setel. Perbaiki atau ganti. Ganti.

		7. Pelumasan kurang baik.	Periksa dan perbaiki termostat, pompa air, radiator, dsb.nya. Periksa dan perbaiki pompa minyak pelumas, saringan, pendingin mi-nyak pelumas, dsb.nya.
8	Ketukan ("knocking")	a. Saat pengabutan bahan bakar terlalu pagi.	Lambatkan.
		b. Tekanan pengabutan bahan bakar kurang tepat	Periksa nozel dan setel tekanannya sesuai dengan pedoman.
		c. Nozel penyemprot bahan bakar rusak.	Lihat 11.6(2) a sampai e.
		d. Kebocoran gas dari silinder sehingga menu-runkan tekanan kompresi.	Lihat 11.6(4) a sampai e.
		e. Pendinginan kurang tepat.	Periksa dan perbaiki termostat, pompa air, radiator, dsb.nya.
		f. Bahan bakar kurang baik.	Pakailah bahan bakar yang sesuai.

		g. Minyak pelumas masuk ke dalam ruang bakar dan terbakar. 1. Terlalu banyak minyak di dalam bak minyak pelumas. 2. Ring piston rusak atau macet. 3. Dinding silinder aus. 4. Minyak pelumas terlalu encer.	Kurangi. Bongkar, perbaiki atau ganti dengan yang baru. Bersihkan lubang-lubang minyak pada piston dan ring piston. Perbaiki atau ganti. Pakailah minyak pelumas yang sesuai.
		h. Bunyi mesin yang tidak normal, ketukan masih terjadi meskipun bahan bakar sudah dihentikan. 1. Keausan bantalan pangkal batang penggerak dan poros engkol. 2. Baut bantalan pangkal batang penggerak longgar atau palah. 3. Celah antara sisi piston dan dinding silinder terlalu besar.	Bongkar dan perbaiki. Bongkar dan perbaiki. Bongkar, perbaiki atau ganti tabung silinder dan piston yang sesuai.

		4. Piston menumbuk bagian alau benda lain di dalam silinder.	Bongkar, periksa dan perbaiki.
9	Gas Buang Terlalu Tebal	a. Warna gas buang putih atau biru. 1. Kerusakan lorak dan eincin piston, atau, permukaannya belum saling menyesuaikan satu sama lain dengan dinding silinder sehingga minyak pelumas masuk ke dalam ruang bakar. 2. Minyak pelumas banyak terdapat didalam pipa gas buang setelah mesin lama bekerja tanpa beban. 3. Kebocoran gas dari dalam silinder sehingga tekanan kompresinya berkurang.	Ganti dengan yang baru, atau, untuk semenlara waktu jalankan dulu dengan beban rendah sampai permukaan bagian yang bergesekan itu saling menyesuaikan. Naikkan putarannya dan bebani mesin. Biasanya keadaan tsb. dapat diatasi.

		b. Gas buang berwarna hitam. 1. Terlalu banyak bahan bakar yang disemprotkan. 2. Saat penyemprotan kurang tepat. 3. Tekanan pengabutan terlalu rendah. 4. Penyemprot tidak bekerja baik. - o Pegas pengatur tekanan patah. - o Katup nozel macet sehingga pengabutan bahan bakar tidak sempurna. 5. Kekurangan udara. - o Saat pembukaan dan penutupan katup kurang tepat. - o Kebocoran gas dari dalam silinder. - o Saringan udara tersumbat.	Periksa dan setel penyetop gerigi pengatur bahan bakar. Periksa dan setel. Setel sesuai dengan pedoman. Ganti dengan yang baru. Perbaiki. Bersihkan.
--	--	---	--

10	Putaran Mesin Sukar Diatur	a. Mesin tidak dapat mencapai putaran maksimum. 1. Pegas governor patah. 2. Banyak kerak karbon pada nozel nozel bahan bakar.	Ganti dengan pegas baru dan setel governor. Bersihkan.
		b. Mesin bekerja melebihi putaran maksimum yang diperbolehkan. 1. Pegas Governor terlalu kuat. 2. Gerigi pengatur bahan bakar macet atau tak dapat bergerak bebas. - o Kotoran atau endapan pada minyak pelumas. - o Plunyer pompa nozel bahan bakar macet atau rusak.	Setel penyetop pengatur bahan bakar pada governor . Bersihkan. Bongkar dan. bersihkan plunyer. Jika ternyata rusak, ganti dengan yang baru.
		c. Mesin dapat bekerja tanpa beban, tetapi segera mati kalau dibebani. 1. Mekanisme governor macet pada posisi tanpa beban.	Periksa dan perbaiki. Periksa dan perbaiki.

		○ Gerakan batang-batang governor kurang sempurna. ○ Gerigi pengatur bahan bakar tak dapat bergerak bebas.	
		d. Mesin bekerja pada putaran tinggi dan tak dapat dimatikan. 1. Batang-batang governor tak dapat kembali pada posisi stop. 2. Gerigi pengatur bahan bakar rusak dan tak dapat kembali pada kedudukan stop. 3. Penetap pinion pada pemutar plunyer terlepas.	Periksa dan perbaiki. Periksa dan perbaiki. Periksa dan setel kembali, kemudian kencangkan

BAB IX

PENENTUAN HARGA LISTRIK KELUAR PEMBANGKIT.

9.1 Harga Listrik Keluar Pembangkit

Harga listrik keluar pembangkit terdiri dari 4 komponen yaitu komponen A, komponen B, komponen C dan komponen D yang akan dijelaskan seperti uraian berikut.

Komponen A adalah komponen biaya yang menyangkut biaya pengembalian modal yang sudah ditanam. Dihitung berdasarkan jumlah kwh yang dibangkitkan dalam jangka waktu operasi tertentu. Komponen A ini dibayarkan berdasarkan jumlah kwh listrik yang dikeluarkan dari pembangkit. Harga listrik dari unsur ini bersifat tetap, tidak berubah dan ditetapkan sesuai persetujuan antara pembeli dan penjual sebelum pembangkit ybs dibangun.

Komponen B adalah komponen biaya yang menyangkut biaya operasi dan pemeliharaan yang juga bersifat tetap dan tidak berubah, seperti biaya overhaul, biaya pegawai, biaya pemeliharaan dan sparepart.

Komponen C adalah komponen biaya bahan bakar. Komponen biaya ini bersifat variable (berubah ubah) sesuai dengan harga bahan bakar yang berlaku dipasaran. Komponen biaya ini juga berubah berdasarkan tingkat pembebanan yang diberikan. Semakin tinggi pembebanannya maka semakin rendah harganya dan semakin rendah pembebanan maka semakin mahal harganya.

Komponen D adalah komponen biaya operasi dan pemeliharaan yang bersifat variabel diluar biaya bahan bakar, seperti untuk biaya pelumas, bahan kimia, biaya untuk start dan stop.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar Refferensi.

1. Pembangkit Listrik Tenaga Thermal, diktat oleh Habib Rochani.
2. Motor Diesel Putaran Tinggi oleh Wiranto Arismunandar & Koichi Tsuda 1986.
3. Marine Internal Combustion Engine oleh N Petrovsky Mir Pblisher. Moscow.
4. Wartshilla Diesel Engine Operation & Maintenance Manual.
5. Diesel Engine Commissioning – 3600/C280, Carterpillar.
6. Diesel Engine Control Systems
7. Standard Operational Procedure (SOP) PLTD SWD DRO-216 & PLTD Deutz BA 12M816 U
8. Operation, Maintenance And Repair Of Auxiliary Generators, Departmets of The Army And The Navy, August 1996

■ PROFIL PENULIS ■

IR. Habib Rochani., MM

Pakar pembangkit tenaga listrik nasional



IR. Habib Rochani., MM

Lahir pada tahun 1947, beliau adalah lulusan Strata 2 dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan kini dikenal luas sebagai salah satu pakar pembangkit tenaga listrik nasional. Karier profesionalnya di PT PLN (Persero) merentang panjang dengan berbagai posisi strategis di hampir seluruh pembangkit termal. Beliau mengawali karier sebagai Shift Operation Foreman of Steam Power Plant (1971–1975), memimpin para operator di PLTU Tanjung Priuk (2x50 MW & 2x25 MW), Jakarta. Pada tahun 1975–1978, beliau dipercaya menjadi Mechanical Maintenance Supervisor di PLTU yang sama serta di Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) 3x25 MW, dengan tanggung jawab penuh menjaga keandalan mesin pembangkit. Selanjutnya, pada 1978–1983, beliau menjabat sebagai Manager of Operation and Maintenance untuk PLTG & Transmission Line Pulogadung, Jakarta. Puncak dedikasinya di PLN diembannya sebagai General Manager of Muara Karang Steam and Combined Cycle Power Plant, di mana beliau memimpin organisasi besar yang mengelola PLTU (3x100 MW + 2x200 MW), PLTGU Muara Karang (2x500 MW), dan PLTGU Muara Tawar (700 MW).

Setelah purna tugas, dedikasi beliau di sektor ketenagalistrikan terus berlanjut. Sejak tahun 2001 hingga saat ini, beliau mengabdikan sebagai dosen di Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi, Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi PLN (ITPLN) Jakarta. Selain itu, sejak tahun 2015, beliau juga aktif sebagai Power Plant Employees Competency Assessor and Maintenance Technical in Charge di PT ELESKA HAKIT. Selama berkarier di dunia akademis dan asesmen, beliau tidak hanya mencetak mahasiswa yang unggul, tetapi juga menghasilkan banyak profesional praktis yang kompeten. Beliau berkontribusi besar melahirkan tenaga ahli level 2 hingga tingkat yang lebih tinggi dalam strata Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia (KKNI) di bidang pembangkitan energi listrik. Melalui buku ini, penulis berharap dapat membagikan pengalaman dan pengetahuan panjangnya untuk terus berkontribusi bagi negara, khususnya dalam pengembangan keilmuan di sektor ketenagalistrikan.