

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

PLTD adalah instalasi pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utama. Mesin diesel bekerja berdasarkan prinsip siklus diesel dengan komponen utama berupa engine, generator, sistem bahan bakar, sistem pendingin, dan sistem pelumasan.

2.1.1 Mesin Diesel sebagai Pembangkit Listrik

Mesin diesel merupakan mesin pembakaran dalam (internal combustion engine) yang menggunakan prinsip penyalan kompresi (compression ignition). Berbeda dengan mesin bensin yang menggunakan busi sebagai pemicu pembakaran, mesin diesel memanfaatkan tekanan dan suhu tinggi hasil kompresi udara untuk menyalakan bahan bakar.

Pada siklus kerja mesin diesel, udara dimasukkan ke dalam silinder dan dikompresi hingga mencapai tekanan dan temperatur tinggi (sekitar 30–40 bar dan 600–700 °C). Ketika bahan bakar solar diinjeksikan ke ruang bakar pada akhir langkah kompresi, bahan bakar langsung terbakar akibat suhu tinggi tersebut. Pembakaran ini menghasilkan energi panas yang dikonversi menjadi energi mekanik melalui gerak piston, yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik melalui generator.

Prinsip konversi energi pada sistem ini mengikuti urutan :

Energi kimia bahan bakar → Energi panas → Energi mekanik (piston) → Energi listrik (generator)

Menurut Heywood (1988), parameter utama yang memengaruhi kinerja mesin diesel meliputi tekanan kompresi, efisiensi pembakaran, waktu penyemprotan bahan bakar, temperatur gas buang, serta konsumsi bahan bakar. Keseimbangan antar parameter tersebut akan menentukan besarnya daya keluaran dan efisiensi bahan bakar mesin secara keseluruhan

2.1.2 Komponen Utama Mesin Diesel Pembangkit Listrik

Sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) terdiri dari dua komponen utama, yaitu mesin diesel sebagai penggerak utama (*prime mover*) dan generator sebagai pembangkit listrik. Adapun bagian-bagian penting mesin diesel pembangkit meliputi:

1. Blok silinder (Cylinder Block)

Sebagai rumah bagi komponen utama seperti piston, connecting rod, dan crankshaft. Berfungsi menahan tekanan dan panas tinggi selama proses pembakaran.

2. Piston dan Ring Piston

Piston mengubah tekanan gas hasil pembakaran menjadi gaya mekanik linier, sedangkan ring piston menjaga kerapatan gas dan mengurangi kebocoran oli.

3. Connecting Rod (Batang Penghubung)

Meneruskan gaya dari piston ke poros engkol (crankshaft).

4. Crankshaft (Poros Engkol)

Mengubah gerak linier piston menjadi gerak rotasi untuk memutar generator.

5. Sistem Bahan Bakar

Meliputi *fuel pump*, *injector*, *fuel filter*, dan *fuel line*, berfungsi menyalurkan dan mengatur jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ke ruang bakar sesuai kebutuhan daya.

6. Sistem Pelumasan

Mengalirkan oli ke seluruh bagian mesin untuk mengurangi gesekan, pendinginan komponen, dan membersihkan kotoran logam halus.

7. Sistem Pendingin

Menjaga suhu kerja mesin agar tetap optimal (biasanya 80–90°C) dengan mengalirkan air pendingin atau cairan radiator melalui jaket air di sekitar silinder.

8. Sistem Injeksi

Bertugas menginjeksikan bahan bakar dengan tekanan tinggi dan waktu yang tepat agar pembakaran sempurna.

9. Generator (Alternator)

Mengubah energi mekanik dari poros engkol menjadi energi listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik.

10. Panel Kontrol dan Proteksi

Mengatur distribusi daya, sistem proteksi (overload, overvoltage, dan overcurrent), serta pengendalian otomatis start–stop.

Dalam konteks ini, pemeliharaan dapat dikelompokkan ke dalam beberapa tipe, antara lain :

1. Pemeliharaan preventif dilakukan secara berkala untuk mencegah kerusakan atau kegagalan mesin di masa mendatang. Ini meliputi pemeriksaan rutin, penggantian suku cadang secara teratur, dan perawatan umum lainnya untuk menjaga kinerja optimal mesin. Pemeliharaan preventif untuk pembangkit listrik PT PLN (Persero) mempunyai periode waktu tertentu yaitu dari pemeliharaan bulanan P3 (500 jam), pemeliharaan triwulan P4 (1500 jam), pemeliharaan semesteran P5 (3000 jam), top overhaul P6 (6000 jam), small overhaul P7 (1200 jam) dan major overhaul P8 (18000 jam). Pekerjaan atau perawatan yang dilakukan di setiap periode adalah :

A. Pemeliharaan bulanan P3 (500 jam) meliputi pekerjaan :

1. Memeriksa fungsi sistim bahan bakar
2. Memeriksa fungsi sistim pelumasan

3. Memeriksa fungsi sistim pendingin
 4. Memeriksa terminal – terminal alat kontrol
 5. Memeriksa DC system
- B. Pemeliharaan triwulan P4 (1500 jam) meliputi pekerjaan :
1. Membersihkan radiator
 2. Memeriksa, mengencangkan V belt radiator
 3. Memeriksa dan membersihkan injector
 4. Menyetel klep
- C. Pemeliharaan semesteran P5 (3000 jam) meliputi pekerjaan :
1. Memeriksa fungsi sistim timing (penyalan)
 2. Memeriksa kekencangan baut dan shim
 3. Memeriksa sikat arang/carbon brush alternator
 4. Mengganti filter oli
 5. Memeriksa Dioda Generator
 6. Membersihkan rotor dan stator Eksiter Generator
- D. Pemeriksaan top overhaul P6 (6000 jam) meliputi pekerjaan :
1. Pemeriksaan semua kepala silinder dan komponen lainnya
 2. Pemeriksaan dan pengukuran satu bantalan dan bantalan luncuran (metal) sesuai buku manual pabrikan
 3. Pemeriksaan pendingin cooler dan inter cooler
 4. Pemeriksaan cairan peredam getaran (vibration damper)
 5. Pemeriksaan turbocharger (overhaul jika diperlukan pada saatnya)

- E. Pemeriksaan semi overhaul P7 (1200 jam) yang meliputi pengukuran, penggantian atau merekonduksi komponen yang aus untuk mendapatkan operasi yang optimal
- F. Pemeriksaan major overhaul P8 (1800 jam) terhadap bagian mesin yang meliputi pekerjaan pengukuran, penggantian atau merekonduksi komponen yang aus untuk mendapatkan kondisi operasi yang optimal, pekerjaan yang dilaksanakan pada Top Overhaul meliputi pemeriksaan bagian unit antara lain :
 - 1. Overhaul kepala silinder seluruhnya dan pemeriksaan komponennya
 - 2. Overhaul piston, silinder, bantalan, turbocharger, silinder blok
 - 3. Pemeriksaan perlengkapan / peralatan bantu, generator dan panel listrik
 - 4. Pengetesan kemampuan mesin
- 2. Pemeliharaan korektif dilakukan setelah terjadi masalah atau kerusakan pada mesin. Tindakan ini termasuk perbaikan komponen yang rusak, penggantian suku cadang yang telah aus, atau perbaikan sistem yang tidak berfungsi dengan baik.
- 3. Pemeliharaan prediktif menggunakan data dan teknologi untuk memonitor kondisi mesin secara real-time dan memprediksi kemungkinan kerusakan atau kegagalan di masa mendatang. Ini memungkinkan perbaikan dilakukan sebelum masalah menjadi lebih serius, mengurangi downtime dan biaya pemeliharaan.
- 4. Pemeliharaan reaktif terjadi ketika tindakan pemeliharaan diambil setelah terjadi kegagalan atau kerusakan pada mesin. Meskipun tidak diinginkan, pemeliharaan reaktif masih diperlukan untuk memperbaiki masalah yang telah terjadi.
- 5. Pemeliharaan proaktif melibatkan identifikasi potensi masalah atau kelemahan pada mesin dan mengambil tindakan untuk mencegahnya sebelum masalah

muncul. Ini melibatkan analisis risiko, perbaikan sistem, atau peningkatan komponen untuk meningkatkan kinerja dan keandalan mesin.

2.1.2 *Specific Fuel Consumption (SFC)*

A. **Pengertian *Specific Fuel Consumption (SFC)***

Specific Fuel Consumption (SFC) adalah parameter yang menunjukkan tingkat efisiensi mesin dalam mengubah bahan bakar menjadi energi. Nilainya dinyatakan sebagai jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu *kilowatt-jam* energi listrik, dengan satuan *gram/kWh*.

Rumus umum *SFC*:

$$SFC = \frac{\dot{m}_{fuel}}{P_{output}}$$

Dengan:

$\dot{m}_{fuel}$ = laju aliran massa bahan bakar (*kg/jam* atau *g/detik*)

P_{output} = daya keluaran mesin (*kW*)

$$SFC = \frac{\text{Konsumsi Bahan Bakar (gram/jam)}}{\text{Daya Keluaran (kW)}}$$

Atau dalam satuan energi listrik:

$$SFC = \frac{\text{Konsumsi Bahan Bakar (liter/jam)}}{\text{Daya Keluaran (kWh)}}$$

Semakin rendah nilai *SFC*, semakin efisien mesin dalam menggunakan bahan bakar. Nilai *SFC* ideal untuk mesin *diesel stasioner* umumnya berkisar antara 200–240 *g/kWh*, tergantung jenis mesin dan kondisi operasinya (Heywood, 1988; Stone, 1999).

B. **Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Nilai *Specific Fuel Consumption (SFC)***

Nilai *Specific Fuel Consumption (SFC)* sangat dipengaruhi oleh faktor mekanis, termodinamika, dan operasional, antara lain:

1. Tekanan Kompresi

Tekanan kompresi yang rendah akibat keausan *piston ring* menyebabkan udara tidak cukup panas untuk pembakaran sempurna, sehingga konsumsi bahan bakar meningkat.

2. Sistem Injeksi Bahan Bakar

Kesalahan *injection timing* atau penyemprotan yang tidak sempurna (atomisasi buruk) membuat sebagian bahan bakar tidak terbakar secara efisien.

3. Kondisi *Nozzle* dan Pompa Injeksi

Keausan pada *nozzle* atau kebocoran di sistem injeksi mengubah pola semprotan bahan bakar dan memperburuk pembakaran.

4. Beban Operasi Mesin

Mesin diesel bekerja paling efisien pada beban 75–90% dari kapasitas nominal. Pada beban rendah, efisiensi turun karena sebagian besar energi digunakan untuk mengatasi gesekan internal dan kehilangan panas.

5. Kualitas Bahan Bakar

Nilai kalor (*LHV*), *viskositas*, dan kemurnian bahan bakar berpengaruh langsung terhadap energi yang dihasilkan per satuan massa.

6. Kondisi Komponen Mekanis

Gesekan akibat keausan pada *bearing*, *crankshaft*, dan *piston ring* meningkatkan *losses* dan menurunkan efisiensi mekanis.

7. Temperatur dan Sistem Pendingin

Suhu kerja mesin yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat mengganggu pembakaran dan *viskositas* pelumas, sehingga mempengaruhi nilai *Specific Fuel Consumption (SFC)*.

8. Perawatan dan Penyetelan Mesin

Mesin yang rutin dirawat dan disetel sesuai standar pabrikan akan mempertahankan nilai *Specific Fuel Consumption (SFC)* mendekati spesifikasi desain.

2.1.3 Jadwal Perawatan/Pemeliharaan Mesin PLTD Tua pejat

Tabel 2.1 Jadwal Perawatan Mesin PLTD Tua Pejat

Interval Jam Kerja	Kategori PM	Kegiatan Pemeliharaan Utama	Keterangan/Fokus
Harian (Daily)	PM-H	Pengecekan visual kebocoran (oli, air, bahan bakar), Pembacaan log parameter operasi (suhu air/oli, tekanan oli/udara), Pengecekan level fluida dan tangki harian.	Memastikan tidak ada anomali sebelum dan saat beroperasi.
50 - 250 Jam	PM-A (Minor Check)	Pemeriksaan dan pembersihan separator bahan bakar. Pemeriksaan kondisi baterai dan terminal. Pengujian fungsi safety device (alarm, shutdown).	Perawatan sistem penunjang dan safety.
500 - 1.000 Jam	PM-B (Oil & Filter Change)	Penggantian Oli Mesin dan Filter Oli (sesuai hasil analisis oli). Penggantian Filter Bahan Bakar (primer dan sekunder). Pembersihan Filter Udara.	Menjaga kualitas pelumasan dan pembakaran. Interval oli bisa diperpanjang berdasarkan PdM.
2.000 Jam	PM-C (Intermediate Check)	Pemeriksaan dan Penyetelan Celah Katup (Valve Clearance). Pemeriksaan turbocharger (kebebasan putar dan axial/radial play). Pengecekan damper (perangkat peredam getaran).	Menjaga efisiensi pembakaran dan mencegah kerusakan mekanis.
4.000 Jam	PM-D (Kalibrasi & Inspeksi)	Kalibrasi dan Pengujian Injektor bahan bakar. Pemeriksaan dan flushing sistem pendingin dan intercooler. Pengujian kompresi silinder (jika perlu). Pemeriksaan motor starter dan alternator.	menjaga kinerja termal (SFOC) dan daya mampu.
8.000 Jam	PM-E (Top	Inspeksi cylinder head (termasuk	Pemeliharaan system

	Overhaul Ringan)	pembongkaran dan pembersihan katup, perbaikan sealing). Penggantian komponen karet dan gasket utama. Pemeriksaan visual pada piston liner melalui lubang inspeksi.	pembakaran atas untuk mencegah derating.
16.000 - 24.000 Jam	Major Overhaul (OH)	Pembongkaran Mesin Total (Turun Mesin). Penggantian piston ring, liner (jika aus), main bearing, dan connecting rod bearing. Rekondisi seluruh cylinder head dan turbocharger secara menyeluruh.	Perawatan besar yang bertujuan untuk memperpanjang umur mesin. Interval ideal ditentukan oleh CBM/Analisis Oli.