

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

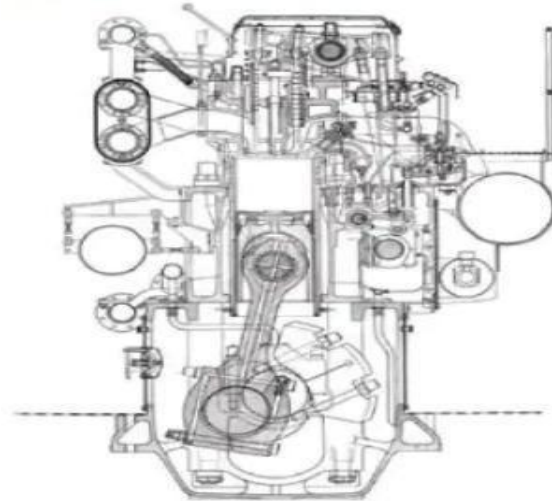
2.1.1 Mesin Diesel sebagai Pembangkit Listrik

A. Pengertian Umum Mesin Diesel

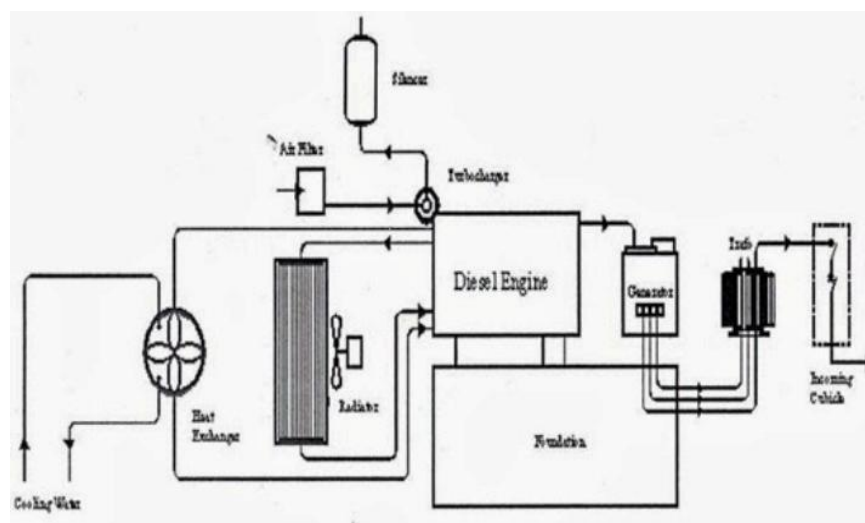
Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utama generator. Mesin diesel bekerja dengan prinsip pembakaran internal (internal combustion), dimana energi kimia dari bahan bakar diubah menjadi energi mekanik melalui proses pembakaran pada ruang bakar. Mesin diesel banyak digunakan pada pembangkit skala kecil hingga menengah karena keandalannya, kemudahan instalasi, dan fleksibilitas operasional.

PLTD banyak digunakan pada daerah-daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik utama atau sebagai sumber daya cadangan (standby unit) ketika terjadi gangguan pada sistem utama. Keunggulan utama PLTD antara lain waktu start-up yang cepat, fleksibilitas operasi, dan kemudahan pengendalian beban. Namun, PLTD juga memiliki kelemahan, seperti konsumsi bahan bakar yang relatif tinggi dan biaya pemeliharaan yang besar jika tidak dikelola dengan baik.

Mesin diesel pada PLTD biasanya diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu **high speed diesel engine (1500–3000 rpm)** dan **medium speed diesel engine (300–1000 rpm)**. Mesin **SWD (Stork Werkspoor Diesel)** termasuk dalam kategori medium speed dengan rentang putaran 450–900 rpm, sehingga memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi dan umur pakai komponen yang lebih lama dibanding mesin high speed.



Gambar 2.1 Mesin Diesel sebagai Pembangkit Listrik (PLTD)



Gambar 2.2 *Flow Diagram* Mesin Diesel sebagai Pembangkit Listrik (PLTD)

B. Prinsip Kerja Mesin Diesel Empat Langkah SWD

Prinsip kerja mesin diesel, udara yang masuk ke silinder lewat katup , selanjutnya udara ditekan dan dikompresikan piston hingga mencapai temperature dan tekanan yang tinggi, sifat ini digunakan untuk proses pembakaran. Udara dihisap ke dalam ruang bakar kemudian dikompresi, maka bahan bakar diesel disemprotkan menuju ruang bakar lewat

nozzle sehingga terjadi percampuran antara udara dan udara yang panas yang mempunyai tekanan tinggi. Selanjutnya hasil campuran tersebut terbakar secara cepat.

Prinsip kerja mesin diesel yang menggunakan ruang bakar langsung 4 langkah Menurut Rabiman dan Zainal Arifin (2011) :

1. Langkah Hisap

Piston bergerak menuju bawah (titik mati atas menuju titik mati bawah) sehingga terjadi vakum lewat intake manifold, vakum tersebut menjadikan udara tersedot dan masuk menuju dalam silinder sehingga katup hisap masuk dan katup buang tertutup.

2. Langkah Kompresi

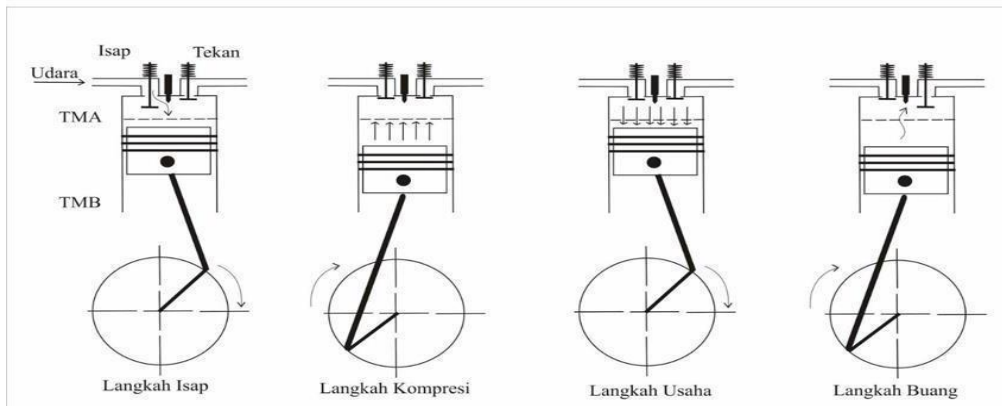
Udara dalam silinder ditekan piston yang bergerak menuju titik mati atas dimana kondisi kedua katup tertutup. Proses kompresi ini menyebabkan volume ruang bakar menyusut sehingga tekanan dan temperature udara mengalami kenaikan. Langkah terakhir, injector atau nozel menyemprotkan bahan bakar ke udara panas sehingga terjadi pembakaran.

3. Langkah Usaha

Panas dan tekanan pada silinder yang tinggi mendorong piston dari titik mati atas menuju titik mati bawah piston. Kedua katup dalam keadaan tertutup.

4. Langkah Buang

Pada langkah ini bermula dari piston dari titik mati bawah menuju titik mati atas dibarengi dengan katup buang terbuka menyebabkan udara atau gas terbuang keluarLangkah Buang

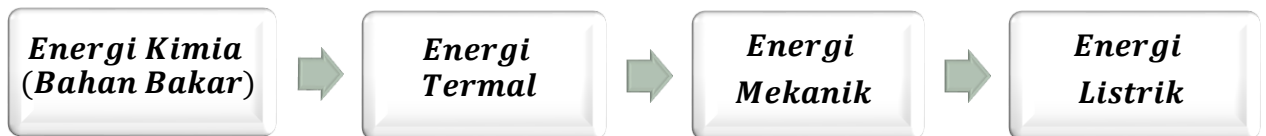


Gambar 2.3 Skema Mesin Diesel Bekerja Siklus 4 langkah (four-stroke cycle)

C. Mesin Diesel sebagai Prime Mover pada PLTD

Dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), mesin diesel berfungsi sebagai penggerak utama (*prime mover*) yang mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik, lalu menggerakkan generator sinkron untuk menghasilkan energi listrik.

Keterkaitan energi dalam sistem PLTD adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4 Skema Keterkaitan Energi dalam Sistem PLTD

Stork Werkspoor Diesel (SWD)

Populasi dalam penelitian ini dilakukan di Unit I **PLTD Karang Asam dengan jenis Mesin SWD sebanyak 1 unit**. Sampel penelitian dipilih melalui pengukuran setelah dilakukannya pemeliharaan mulai dari P0 sampai dengan P4

Spesifikasi Teknis Mesin Merek SWD yang ada di PLTD Karang Asam Samarinda

Komponen / Parameter	Keterangan Teknis
Merek / Pabrikan	Stork Werkspoor Diesel (SWD) – Belanda
Tipe Mesin	TM410
Jenis Mesin	Diesel empat langkah (<i>Four-Stroke Compression Ignition Engine</i>)
Sistem Pembakaran	<i>Direct Injection</i> (penyemprotan langsung)
Jumlah Silinder	9 silinder in-line
Diameter Silinder (Bore)	± 410 mm (TM410)
Langkah Piston (Stroke)	± 460 mm (TM410)
Kapasitas Silinder Total	± 610 liter (tergantung tipe)
Daya Keluaran (Output Power)	2.000 – 3.500 kW per unit
Putaran Nominal	500 – 750 rpm
Torsi Maksimum	± 35.000 – 40.000 Nm
Sistem Pendingin	<i>Air (Fresh Water Cooling System)</i> dengan <i>Heat Exchanger</i>
Sistem Pelumasan	<i>Forced Lubrication System</i> dengan pompa oli gear type
Sistem Bahan Bakar	Solar (HSD / MFO) dengan <i>Fuel Injection Pump</i> tipe mekanis
Tekanan Injeksi Bahan Bakar	± 350 – 450 bar
Sistem Start	<i>Compressed Air Start System</i> (tekanan udara 25–30 bar)
Sistem Pemasukan Udara	Turbocharger dengan <i>aftercooler</i>
Sistem Pembuangan	<i>Exhaust Gas Manifold</i> dengan <i>Silencer</i>
Kapasitas Oli Mesin	± 600 – 1.000 liter
Kapasitas Air Pendingin	± 1.200 – 2.000 liter
Jenis Pelumas	SAE 30 / SAE 40, tergantung suhu lingkungan
Efisiensi Termal	± 38 – 42%
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)	± 205 – 220 g/kWh
Berat Mesin (Dry Weight)	± 35 – 45 ton per unit
Standar Emisi	Sesuai ISO 3046 / IMO Tier I
Aplikasi	Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Standby & Base Load



Keterangan Tambahan:

- SWD TM410 biasanya digunakan pada unit dengan kapasitas menengah (2–3,5

- Mesin SWD dikenal memiliki torsi tinggi pada rpm rendah, cocok untuk sistem

standby yang memerlukan start cepat (5–10 menit).

- Konstruksi blok baja cor tebal dan liner lepas pasang (removable) memudahkan perawatan dan overhaul.

Mesin SWD merupakan mesin diesel 4 langkah dengan karakteristik torsi besar pada putaran rendah. Mesin ini digunakan secara luas pada PLTD di Indonesia karena memiliki beberapa keunggulan, yaitu:

- Struktur kokoh dan tahan terhadap operasi jangka panjang.
- Efisiensi pembakaran tinggi karena desain ruang bakar dan rasio kompresi yang tinggi.
- Sistem injeksi bahan bakar yang presisi, yang jika dikalibrasi dengan baik dapat menghasilkan efisiensi SFC yang optimal.
- Kemudahan pemeliharaan karena konstruksi modular (modular cylinder head, piston, turbo system).
- Namun demikian, performa mesin SWD sangat dipengaruhi oleh kondisi komponen kritis seperti injector, turbocharger, valve mechanism, ring piston, liner, serta sistem pendinginan dan pelumasan. Kerusakan atau penurunan kualitas komponen tersebut akan menyebabkan penurunan kinerja pembakaran yang langsung meningkatkan konsumsi bahan bakar.
- Mesin SWD di PLTD Karang Asam beroperasi sebagai prime mover yang menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik.

2.1.2 Komponen Utama Mesin SWD

Komponen penting yang sering menjadi fokus pemeliharaan meliputi:



Gambar 2. 12 Cylinder Head Mesin SWD

Kepala Silinder (Cylinder head)

Kapala silinder berfungsi sebagai penutup silinder sebagai tempat rocker arm, katup start, sebagai tempat untuk saluran udara yang masuk dan gas buang, sebagai tempat injector, dan tempat katup.

Komponen kepala silinder terdiri dari :

1. *Injector* (Pengabut) : berfungsi untuk menyemprotkan bahan bakar
2. *Rocker Arm* : berfungsi untuk menggerakkan katup masuk dan katup buang.
3. *Valve* : berfungsi untuk sebagai buka tutup saluran udara masuk serta gas buang.
4. *Spring Valve* : adalah pegas digunakan untuk memastikan valve tetap tertutup rapat setelah proses pembukaan untuk mencegah kebocoran gas yang tidak diinginkan.
5. *Pushrod* : adalah batang penghubung yang berfungsi untuk menekan rocker arm



Gambar 2. 12 Piston Mesin SWD

Piston dan Connecting Rod

Komponennya terdiri dari :

1. Piston berfungsi sebagai perapat ruang bakar, menghisap panas dari hasil pembakaran, melanjutkan tekanan hasil pembakaran, menerima tekanan pembakaran, melanjutkan panas pembakaran ke liner.
2. Piston ring berfungsi supaya torak dan liner menjadi rapat, panas dipindahkan dari torak ke liner, mencegah tekanan yang bocor diatas torak
3. Piston pin berfungsi sebagai pen yang menghubungkan antara batang torak dengan torak
4. *Connecting Rod* : berfungsi untuk melanjutkan tekanan torak menuju poros engkol dan melanjutkan putaran poros engkol menuju torak.



Gambar 2. 1.2 Blok Mesin dan cylinder Mesin SWD

Blok Mesin dan Silinder Liner

Komponennya terdiri dari :

1. Blok mesin : berfungsi sebagai struktur utama yang menyatukan dan mendukung berbagai komponen mesin seperti silinder liner, piston dan poros engkol
2. Silinder liner : berfungsi sebagai jalur tempat piston bergerak naik turun selama proses kerja mesin
3. *Frame* : berfungsi sebagai *body* utama untuk mendukung bagian-bagian mesin yang dapat menahan lendutan akibat berat peralatan mesin



Gambar 2. 1.2 Poros Engkol Mesin SWD

Blok Mesin dan Silinder Liner

Komponennya terdiri dari :

1. Poros Engkol : berfungsi mengubah gerak translasi menjadi gerak rotasi
2. *Bearing* disebut juga bantalan berfungsi sebagai pelapis antara gerakan dua permukaan logam yang saling bergesekan
3. Tranmision Gear atau roda gigi pengatur, berfungsi untuk mengatur pergerakan waktu membuka dan menutup katup atau valve, pengaturan pergerakan pada pompa injeksi, mengatur pergerakan langkah torak dan pompa injeksi agar sesuai, membuka dan menutup katup yang bergerak, penghubung poros engkol yang berputar dengan peralatan yang membutuhkan gerak putar
4. Rantai mesin berfungsi sebagai penyangga utama bagian mesin dan generator.

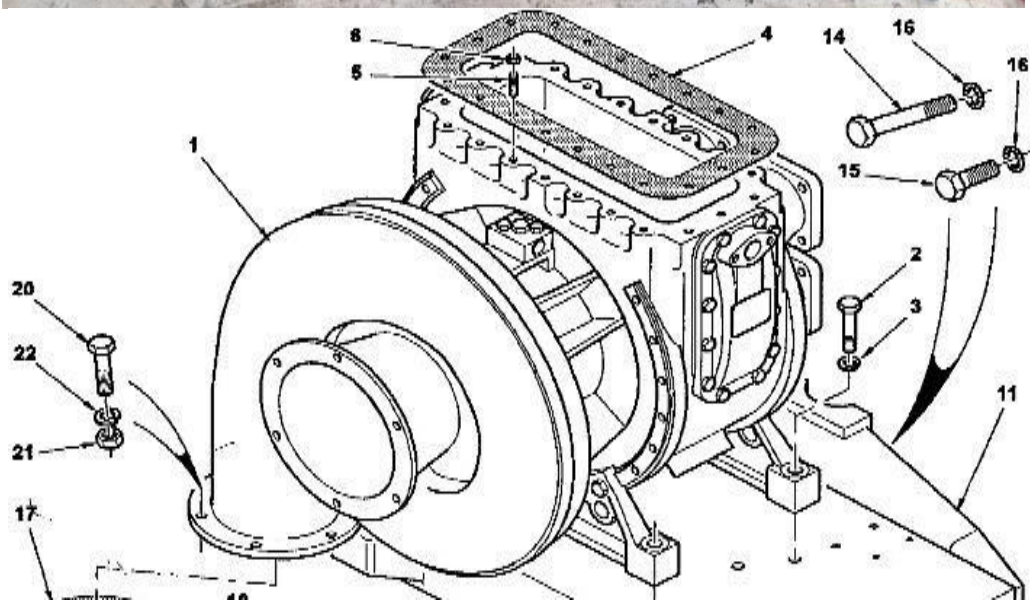
Komponen Pendukung Mesin SWD

Komponennya terdiri dari :



Gambar 2. 1.2 Pompa Injector Mesin SWD

1. Pompa injeksi (Pressure-time Fuel Pump) Berfungsi mengatur aliran dan tekanan bahan bakar menuju injector
2. Silencer Berfungsi untuk laluan dan meredam suara yang dihasilkan oleh proses pembuangan gas buang dari ruang bakar mesin, meredam tekanan serta mengurangi polusi udara.



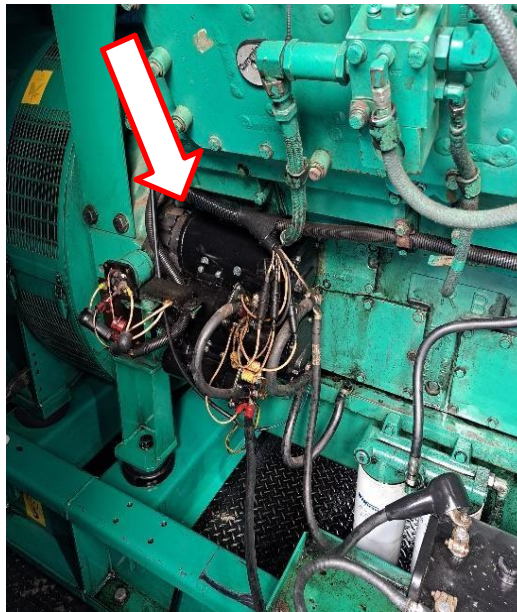
Gambar 2. 1.2 Turbocharger Mesin SWD

3. Turbocharger Berfungsi untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi mesin dengan cara meningkatkan jumlah udara yang masuk dalam ruang bakar.



Gambar 2. 1.2 Radiator Mesin SWD

4. Radiator Berfungsi untuk menjaga suhu kerja mesin agar tetap optimal dengan menurunkan suhu cairan pendingin yang telah menyerap panas dari mesin



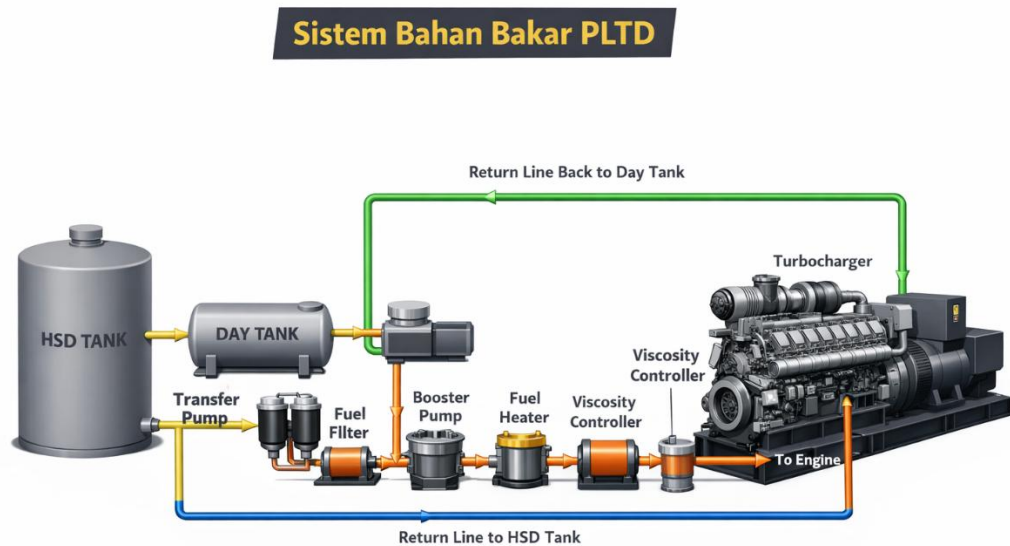
Gambar 2. 1.2 Dinamo Stater Mesin SWD

5. Dinamo Stater berfungsi untuk memulai proses kerja mesin dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanis untuk memutar poros engkol (*crankshaft*).
6. Baterai berfungsi untuk menyediakan arus listrik yang besar dalam waktu singkat untuk menggerakkan *dinamo starter*, sistem kontrol injeksi bahan bakar serta sistem kontrol elektronik lainya pada mesin.
7. *Flowmeter* : Berfungsi untuk mengukur jumlah bahan bakar yang digunakan oleh mesin selama beroperasi.

2.1.3 Komponen Penting Mesin Diesel

Sistem Bahan Bakar

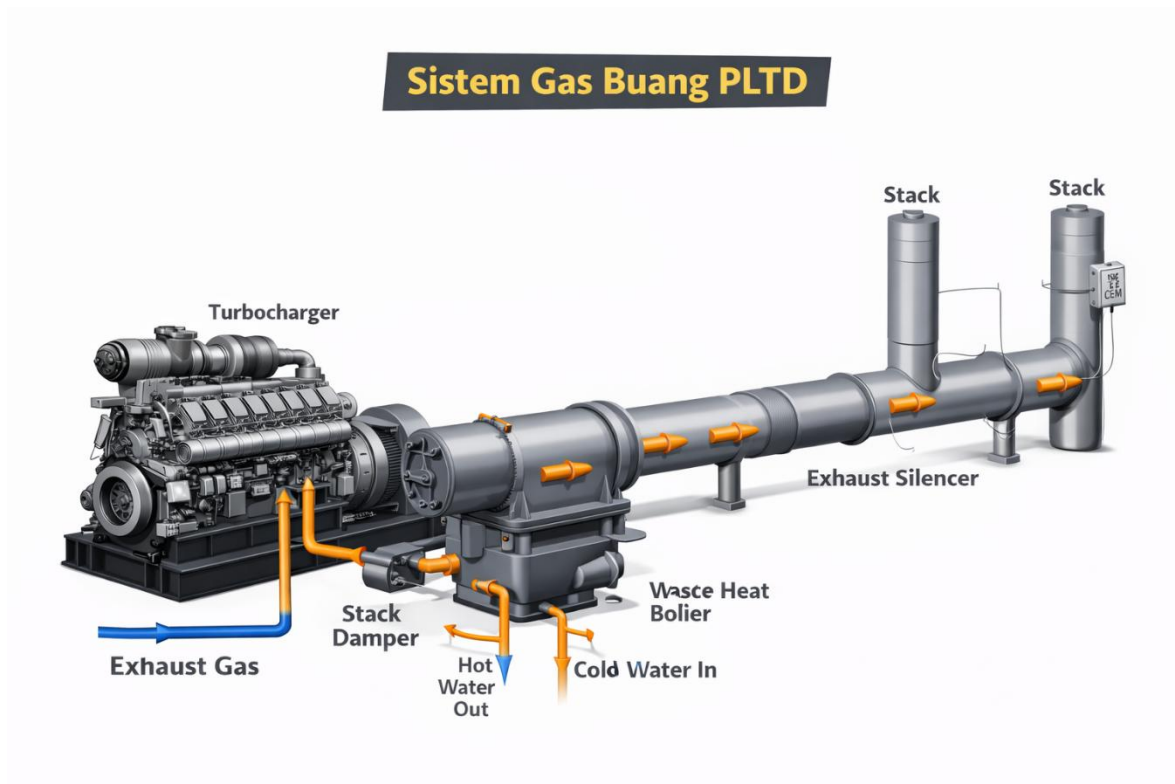
Sistem bahan bakar diesel memiliki fungsi utama untuk menyalurkan bahan bakar. Pada sistem bahan bakar terdapat tangki, pompa, pompa injeksi, filter bahan bakar, injektorm, selang. Tangki bahan bakar berfungsi menyimpan bahan bakar sebelum digunakan. Pompa bahan bakar berfungsi menyalurkan bahan bakar dari tangki menuju pompa ijeksi, pompa injeksi berfungsi untuk memperbesar tekanan bahan bakar, menekan aliran bahan bakar sesuai timing, dan mempertahankan tekanan bahan bakar yang sudah masuk menuju injektor. Filter solar berfungsi menyaring partikel kecil dan memisahkan air dari aliran solar yang akan masuk ke injection pump. Injektor njektor berfungsi menyembrotkan bahan bakar bertekanan tinggi dalam bentuk kabutan.



Gambar 2. 1.3 Sistem bahan bakar Mesin SWD

Sistem Gas Buang

Sistem udara masuk ini berfungsi untuk mendistribusikan udara bersih ke ruang bakar di saat proses kerja langkah hisap serta mengeluarkan gas hasil pembakaran ke atmosfer. Termasuk saringan (filter) udara yang berfungsi untuk menyaring kotoran atau debu dari udara yang disuplai ke mesin. Turbocharger yang berfungsi untuk meningkatkan tenaga mesin dengan cara menambah jumlah dan memampatkan udara sehingga menjadi udara bertekanan didalam ruang bakar. Aftercooler yang berfungsi untuk mendinginkan udara supaya kerapatannya bertambah tinggi. Intake Manifold yang berfungsi mendistribusikan udara yang keluar dari aftercooler menuju ruang bakar. Exhaust Manifold yang berfungsi untuk menyalurkan udara sisa pembakaran ke muffler/knalpot. Peredam (muffler) berfungsi untuk meredam suara.

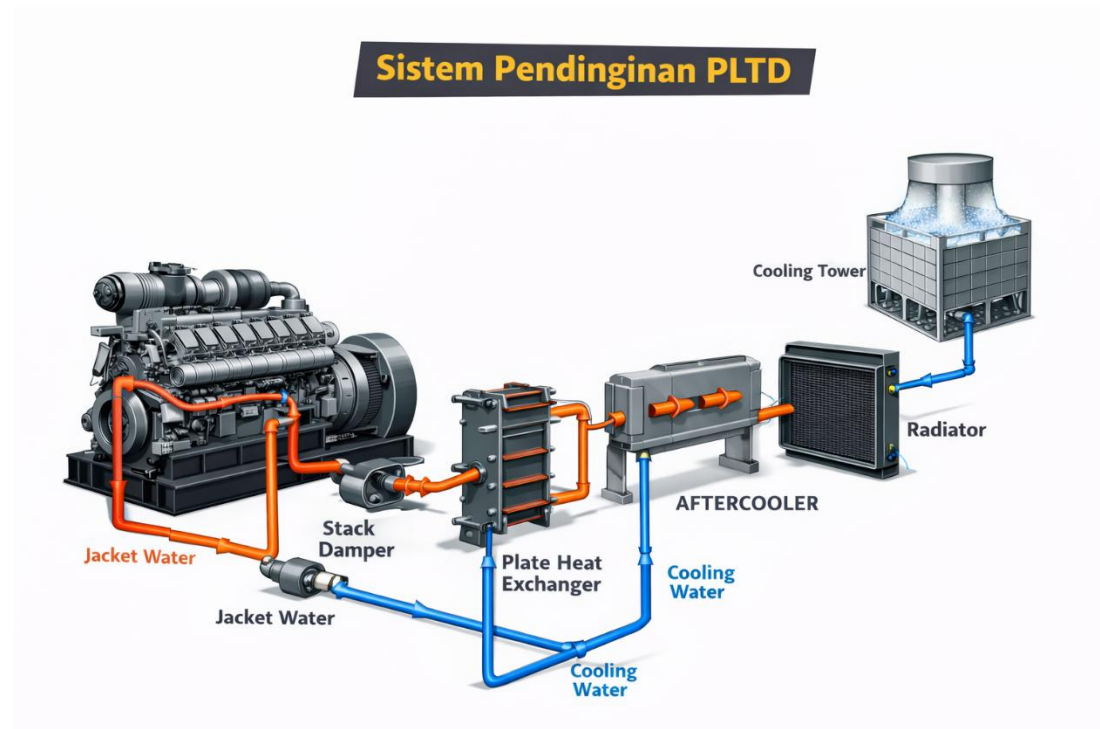


Gambar 2. 1.3 Sistem gas buang Mesin SWD

Sistem Pendinginan (Cooling System)

Sistem yang digunakan untuk menjaga suhu mesin diesel agar tetap dalam kisaran suhu yang aman saat beroperasi. Termasuk water pump yang berfungsi memompa cairan pendingin dari radiator menuju ke bagian yang akan didinginkan. Oil cooler berfungsi membuang panas pada minyak pelumas agar viskositas minyak pelumas terjaga. After cooler berfungsi membuang panas dari udara yang masuk. Water jaket berfungsi

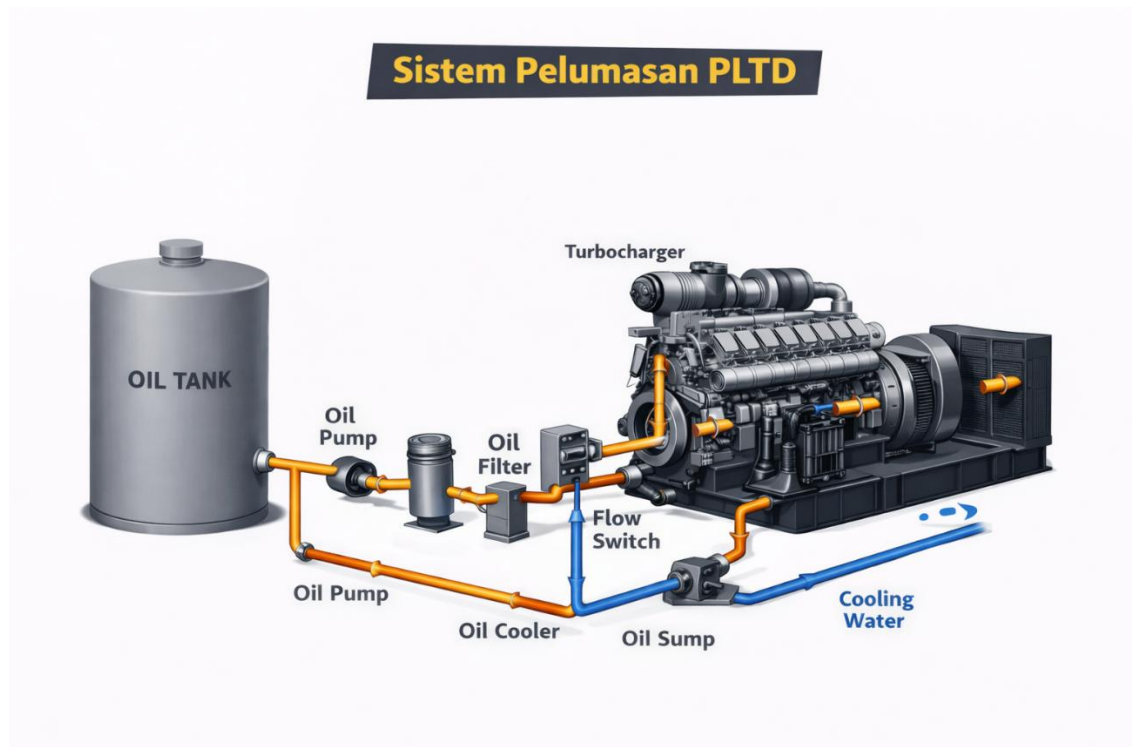
berfungsi untuk membuang panas pada piston, ring dan cylinder liner. Regulator berfungsi untuk menjaga suhu engine. Pada radiator, kipas dan sirip-sirip radiator bekerjasama untuk membuang panas pada cairan pendingin yang beradapada pipa-pipa radiator.



Gambar 2. 1.3 Sistem pendinginan Mesin SWD

Sistem Pelumasan (lube oil system)

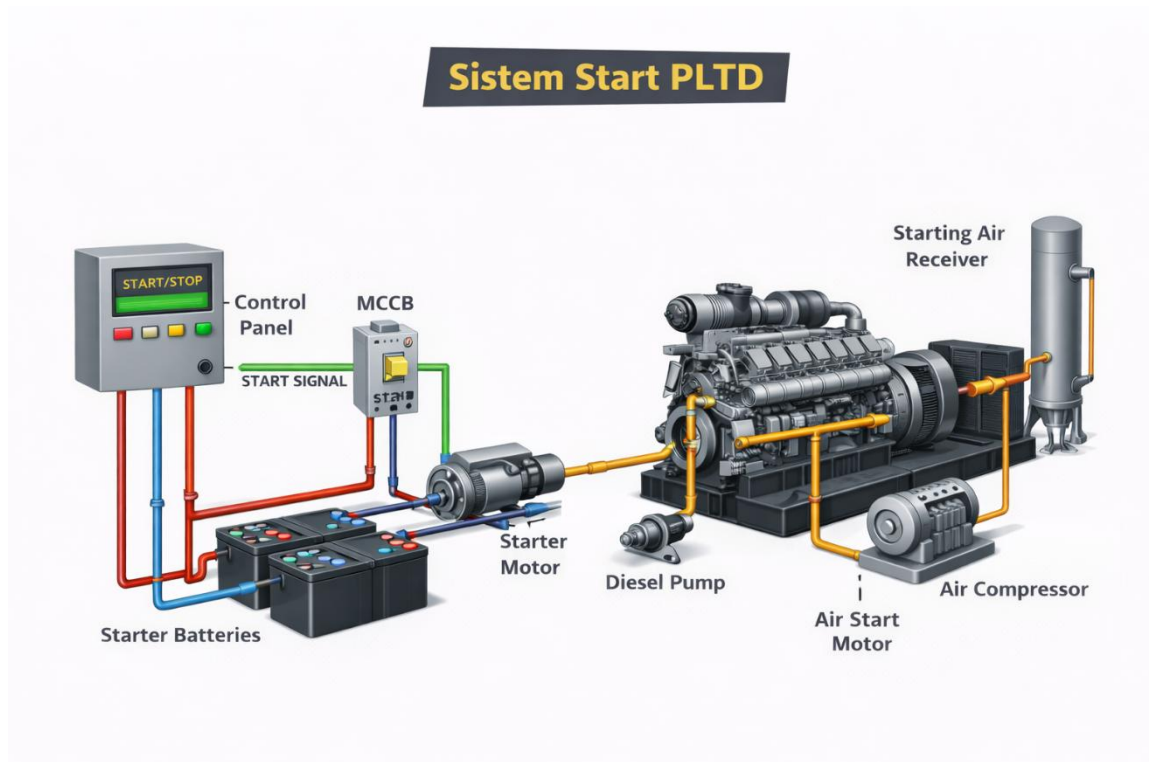
Sistem pelumasan berfungsi mendinginkan peralatan mesin, pelapis dan membuat rapat peralatan mesin, memperkecil gesekan antar peralatan mesin, membersihkan debu atau kotoran pada peralatan mesin. Pada sistem pelumasan ada karter yang berfungsi untuk menampung minyak pelumas. Filter oli berfungsi membersihkan atau menyaring partikel kecil yang ada di minyak pelumas. Pompa oli yang berfungsi menyedot dan memberi tekanan minyak pelumas agar dapat bersikulasi.



Gambar 2. 1.3 Sistem pelumasan Mesin SWD

Sistem Start (Starting System)

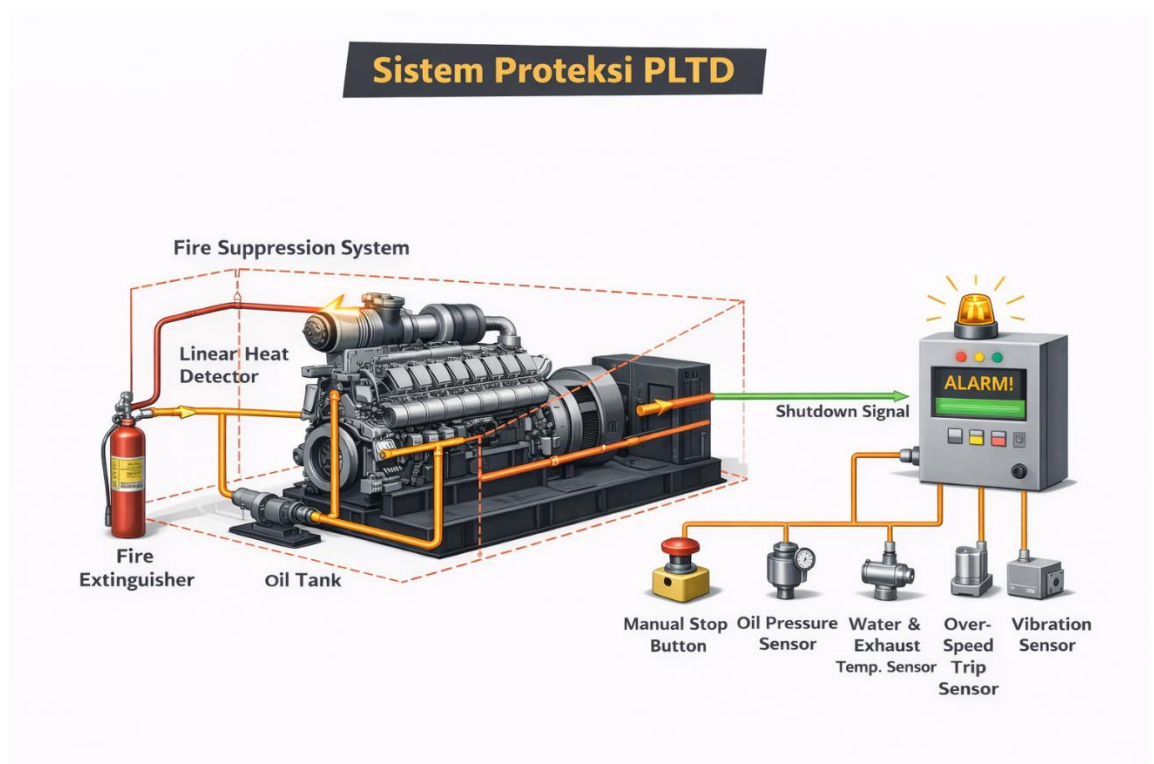
Sistem start pada mesin diesel adalah sistem yang digunakan untuk memulai proses pembakaran di dalam mesin diesel. Karena mesin diesel tidak memiliki busi seperti mesin bensin, maka sistem start ini bertugas untuk menghidupkan mesin dengan cara mengatasi kesulitan dalam mencapai suhu dan tekanan yang diperlukan untuk memulai pembakaran bahan bakar.



Gambar 2. 1.3 Sistem start Mesin SWD

Sistem Proteksi (Protection System)

Protection system dalam konteks mesin diesel atau pembangkit listrik merujuk pada serangkaian perangkat dan prosedur yang dirancang untuk melindungi mesin atau peralatan dari kerusakan akibat kondisi operasi yang tidak normal atau berbahaya. Sistem proteksi ini bertujuan untuk menjaga agar peralatan tetap berfungsi dengan aman dan efisien, serta mencegah kerusakan yang bisa disebabkan oleh gangguan teknis atau faktor eksternal.



Gambar 2. 1.3 Sistem proteksi Mesin SWD

2.2 Specific Fuel Consumption (SFC)

A. Pengertian *Specific Fuel Consumption (SFC)*

Specific Fuel Consumption (SFC) adalah ukuran efisiensi mesin yang menunjukkan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kWh energi listrik. Nilai SFC dinyatakan dalam liter per kilowatt-hour (L/kWh). Nilai yang semakin kecil menunjukkan bahwa mesin bekerja semakin efisien karena lebih sedikit bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan energi yang sama.

Specific Fuel Consumption (SFC) adalah jumlah bahan bakar (kg atau liter) yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik 1 kWh.

Menggunakan rumus:

$$\text{SFC} = \frac{\text{Konsumsi BBM (kg/jam)}}{\text{Energi listrik yang dihasilkan (kW)}}$$

atau

$$\text{SFC} = \frac{\text{Liter BBM per Jam} \times \rho}{\text{p (kWh)}}$$

Keterangan:

- ρ (rho) = densitas solar $\approx 0,84$ kg/liter
- Satuan SFC: kg/kWh atau liter/kWh

Alat yang digunakan

No	Alat	Fungsi
1	Flow meter BBM	Mengukur debit bahan bakar
2	Fuel tank ukur / gelas ukur	Alternatif pengukuran manual
3	kWh meter / Power analyzer	Mengukur energi listrik
4	Tachometer	Mengukur RPM mesin
5	Stopwatch	Mengukur waktu uji
6	Termometer digital	Monitoring suhu kerja
7	Logsheet operasi	Pencatatan data

SOP Pengukuran SFC pada Mesin SWD

Tahap persiapan awal dilakukan untuk memastikan mesin berada dalam kondisi operasi yang stabil dan layak dilakukan pengukuran. Pada tahap ini, kondisi oli mesin dipastikan berada pada level normal, air pendingin dalam jumlah yang cukup, serta tidak terdapat kebocoran bahan bakar. Selain itu, beban generator harus berada dalam kondisi stabil pada kisaran 70–80% dari kapasitas nominal, dan mesin dijalankan hingga mencapai kondisi kerja optimal melalui proses pemanasan (warm-up) selama kurang lebih 15 menit. Seluruh instrumen pengukuran juga dipastikan berfungsi dengan baik, termasuk flow meter bahan bakar yang aktif, kWh meter yang akurat, serta tidak adanya fluktuasi beban yang ekstrem selama proses pengujian.

Pengukuran konsumsi bahan bakar dilakukan dengan menggunakan salah satu dari dua metode yang tersedia, yaitu metode flow meter atau metode tangki ukur. Pada metode flow meter, konsumsi bahan bakar diperoleh dengan mencatat debit bahan bakar dalam satuan liter per jam yang terbaca langsung pada alat ukur. Sementara itu, pada metode tangki ukur, tangki bahan bakar diisi dengan volume awal tertentu, kemudian mesin dijalankan selama satu jam. Setelah itu, sisa bahan bakar diukur, dan selisih antara volume awal dan volume akhir digunakan sebagai nilai konsumsi bahan bakar per jam

Selanjutnya, pengukuran daya keluaran listrik dilakukan dengan mencatat parameter kelistrikan dari panel kontrol, meliputi tegangan (V), arus (A), dan faktor daya ($\cos \phi$). Berdasarkan parameter tersebut, daya keluaran dapat dihitung secara manual, atau secara langsung diperoleh dari output power meter digital apabila tersedia. Seluruh data operasi kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh nilai yang representatif selama periode pengujian.

Berdasarkan hasil pengukuran, diperoleh data bahwa total konsumsi bahan bakar sebesar 1.689,8 liter, dengan energi listrik yang dihasilkan mencapai 5.000 kWh. Nilai Specific Fuel Consumption (SFC) kemudian dihitung sebagai perbandingan antara konsumsi bahan bakar dan energi listrik yang dihasilkan. Dengan demikian, diperoleh nilai SFC sebesar 0,33796 L/kWh, yang merepresentasikan tingkat efisiensi konsumsi bahan bakar mesin pada kondisi operasi tersebut.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi SFC

Beberapa faktor utama yang mempengaruhi nilai SFC pada mesin diesel antara lain:

1. Kualitas pembakaran

Dipengaruhi oleh tekanan injeksi, kondisi nozzle, timing pengapian, serta kualitas bahan bakar.

Keberadaan air atau kotoran pada sistem BBM mengganggu pola semprotan injector

2. Kebersihan ruang bakar

Deposit karbon dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar dan menurunkan efisiensi.

3. Komponen bergerak

Kausan piston ring, liner, bearing, dan connecting rod mempengaruhi losses mekanis.

4. Sistem pendingin dan pelumasan

Temperatur mesin yang tidak optimal menurunkan performa pembakaran.

5. Kondisi udara masuk (air intake)

Filter udara kotor menurunkan kadar oksigen untuk pembakaran sehingga meningkatkan SFC.

6. Kondisi Sistem Injeksi

Injector merupakan komponen kritis yang mempengaruhi atomisasi bahan bakar. Injector aus menyebabkan bahan bakar tidak terpecah sempurna sehingga pembakaran tidak optimal dan SFC meningkat.

7. Tingkat Kompresi Silinder

Kompresi rendah akibat ring piston aus atau liner tergores menyebabkan daya pembakaran menurun sehingga mesin memerlukan lebih banyak bahan bakar.

8. Beban Operasi Mesin

Mesin diesel mencapai efisiensi terbaik pada beban 70–85%. Operasi pada beban rendah atau fluktuatif menyebabkan SFC naik.

2.3 Sistem Pemeliharaan Mesin Diesel

Pemeliharaan (maintenance) merupakan kegiatan yang dilakukan untuk menjaga dan memastikan agar peralatan tetap dalam kondisi optimal serta mencegah terjadinya kerusakan yang dapat mengganggu operasi. Menurut standar manajemen pemeliharaan pada PLTD Karang Asam, kegiatan ini dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

P0 – Pemeliharaan Harian (Daily Maintenance)

Tujuan: Menjaga keandalan dan kesiapan operasi mesin setiap hari.

Pelaksana: Operator harian atau shift operator.

Kegiatan P0 meliputi:

- Pemeriksaan level oli pelumas, air pendingin, bahan bakar, dan pelumas governor.
- Pemeriksaan tekanan oli dan tekanan bahan bakar.
- Pemeriksaan suhu air pendingin, gas buang, dan pelumas.
- Pemeriksaan kebocoran (oli, bahan bakar, air pendingin).
- Membersihkan sekitar mesin dari debu dan oli bocor.
- Menjalankan mesin dalam kondisi tanpa beban untuk memastikan siap operasi.



Gambar 2. 3 Pemeliharaan P0 (pengecekan kipas radiator)

P1 – Pemeliharaan Mingguan (Weekly Maintenance)

Tujuan: Menjaga performa mesin tetap optimal dalam jangka pendek.

Pelaksana: Teknisi pemeliharaan ringan.

Kegiatan P1 meliputi:

- Pemeriksaan dan pembersihan filter udara.
- Pemeriksaan sistem starting (aki, motor starter).
- Pemeriksaan sistem pelumasan dan pendinginan lebih detail.
- Pengencangan baut-baut utama.
- Pembersihan bagian luar mesin dan panel kontrol.
- Pengujian sistem proteksi sederhana (alarm, indikator, dsb).



Gambar 2. 3 Pemeliharaan P1 (pembersihan batrai aki)

P2 – Pemeliharaan Bulanan / 250 Jam Operasi (Minor Maintenance)

Tujuan: Menjaga kestabilan kerja mesin dan mencegah kerusakan ringan. Pelaksana: Teknisi pemeliharaan dan mekanik.

Kegiatan P2 meliputi:

- Penggantian filter oli, bahan bakar, dan filter udara bila perlu.
- Penggantian oli pelumas (sesuai jam kerja mesin).
- Pemeriksaan sistem injeksi bahan bakar.
- Pemeriksaan sabuk penggerak (belt), alternator, dan kipas pendingin.
- Pemeriksaan kekencangan baut di cylinder head, manifold, dan blok mesin.
- Pemeriksaan kebersihan radiator dan pendingin oli.



Gambar 2. 3 Pemeliharaan P2 (penggantian filter oli)

P3 – Pemeliharaan Tengah (Medium Overhaul / 1000–2000 Jam Operasi)

Tujuan: Menjamin mesin tetap handal dan efisien setelah jam operasi menengah. Pelaksana: Tim mekanik berpengalaman.

Kegiatan P3 meliputi:

- Pembongkaran sebagian mesin (cylinder head, piston, dan liner bila perlu).
- Pemeriksaan dan penyetelan katup (valve clearance).
- Pemeriksaan dan pembersihan ruang bakar, turbocharger, intercooler.
- Pemeriksaan sistem bahan bakar (injektor, pompa injeksi).
- Penggantian ring piston, gasket, dan seal yang aus.
- Pembersihan sistem pelumasan dan pendingin secara menyeluruh.



Gambar 2. 3 Pemeliharaan P3 (penggantian cylinder head)

P4 – Pemeliharaan Besar (Major Overhaul / 8000–16000 Jam Operasi) Tujuan: Mengembalikan performa mesin seperti kondisi baru (rebuild). Pelaksana: Tim overhaul khusus atau pabrikan (vendor resmi).

Kegiatan P4 meliputi:

- Pembongkaran total unit mesin diesel.
- Pemeriksaan dan pengukuran seluruh komponen utama:
- Crankshaft, connecting rod, liner, piston, cylinder head.
- Pompa bahan bakar, governor, turbocharger.
- Penggantian komponen utama yang aus atau tidak sesuai toleransi.
- Uji coba mesin setelah perakitan (commissioning test).
- Kalibrasi sistem kontrol dan proteksi.



Gambar 2. 3 Pemeliharaan P4 (penggantian dudukan piston)

Gambar 2. 3 Jadwal pemeliharaan bulan Oktober PLTD Karang Asam

2.4 Penelitian Terkait

Pada penelitian ini penulis melakukan tinjauan literatur pada beberapa penelitian yang relevan untuk dijadikan referensi. Referensi dapat berasal dari jurna, artikel, skripsi, atau buku yang relevan. Beberapa referensi yang penulis dapatkan sebagai berikut :

Arismunandar dan Kuwahara (2002) menjelaskan bahwa Specific Fuel Consumption (SFC) merupakan salah satu indikator utama dalam menilai efisiensi mesin diesel karena secara langsung menunjukkan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan energi listrik. Semakin rendah nilai SFC, semakin tinggi efisiensi konversi energi yang terjadi di dalam ruang bakar. Literatur ini menegaskan bahwa kenaikan nilai SFC umumnya disebabkan oleh ketidaksempurnaan proses pembakaran, meningkatnya losses mekanis, serta penurunan kualitas sistem bahan bakar dan pelumasan. Konsep ini menjadi dasar teoritis dalam menganalisis perubahan SFC pada mesin SWD sebagai indikator kinerja mesin.

Bosch (2019) dalam buku *Diesel-Engine Management: Systems and Components* menegaskan bahwa sistem manajemen mesin diesel modern sangat bergantung pada ketepatan kerja sistem injeksi bahan bakar, tekanan injeksi, dan pengaturan waktu penyemprotan bahan bakar. Ketidaktepatan pada sistem injeksi akan menyebabkan pembakaran tidak optimal yang berdampak langsung pada meningkatnya konsumsi bahan bakar dan nilai SFC. Pada mesin diesel kecepatan menengah seperti mesin SWD, performa sistem injeksi menjadi faktor dominan yang menentukan tinggi rendahnya SFC. Dengan demikian, literatur ini memperkuat hubungan antara kondisi teknis mesin dan nilai SFC sebagai indikator efisiensi.

Heywood (2018) menyatakan bahwa efisiensi termal mesin diesel sangat dipengaruhi oleh rasio kompresi, karakteristik pembakaran, kualitas bahan bakar, dan kondisi mekanis komponen seperti piston, ring piston, serta katup. Penurunan kualitas komponen-komponen tersebut akan meningkatkan rugi-rugi energi dan menyebabkan lebih banyak bahan bakar dibutuhkan untuk menghasilkan daya yang sama, sehingga nilai SFC meningkat. Teori yang dikemukakan Heywood memperkuat bahwa SFC tidak hanya dipengaruhi oleh sistem bahan bakar, tetapi juga oleh kondisi mekanis keseluruhan mesin, termasuk pada mesin SWD di PLTD.

Manual operasi dan pemeliharaan mesin SWD yang diterbitkan oleh PT SWD AB Marine Diesel Engines (2015) menyatakan bahwa nilai SFC merupakan parameter utama dalam evaluasi performa mesin setelah dilakukan pemeliharaan. Manual tersebut merekomendasikan pengukuran SFC secara berkala sebagai alat monitoring efisiensi pembakaran. Disebutkan pula bahwa penurunan nilai SFC setelah pemeliharaan

mengindikasikan keberhasilan tindakan perawatan terhadap sistem injeksi, pelumasan, dan pendinginan. Dengan demikian, literatur ini menjadi acuan langsung dalam menilai pengaruh pemeliharaan terhadap perubahan SFC pada mesin SWD.

Sularso dan Suga (2004) menjelaskan bahwa keausan pada elemen mesin seperti bantalan, poros, dan roda gigi menyebabkan meningkatnya rugi-rugi mekanis yang berdampak pada penurunan efisiensi daya keluaran. Kondisi tersebut menyebabkan mesin memerlukan konsumsi bahan bakar yang lebih besar untuk menghasilkan daya yang sama, sehingga nilai SFC meningkat. Dalam konteks mesin SWD, teori ini memperkuat bahwa penurunan nilai SFC setelah pemeliharaan menandakan berkurangnya rugi mekanis akibat perbaikan kondisi elemen mesin.

Shu et al. (2014) dalam penelitiannya yang berjudul *Performance Analysis of Diesel Engine Fuel Consumption Post-Maintenance* membuktikan secara empiris bahwa tindakan pemeliharaan berdampak signifikan terhadap penurunan konsumsi bahan bakar mesin diesel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai SFC setelah pemeliharaan mengalami penurunan yang signifikan akibat meningkatnya efisiensi pembakaran dan berkurangnya rugi mekanis. Penelitian ini menjadi bukti ilmiah langsung bahwa pemeliharaan berpengaruh nyata terhadap nilai SFC dan kinerja mesin diesel, sehingga sangat relevan untuk mendukung analisis SFC pada mesin SWD di PLTD Karang Asam.

Sudrajat (2017) menjelaskan bahwa dalam sistem pembangkitan tenaga listrik berbasis mesin diesel, efisiensi pembangkit sangat dipengaruhi oleh performa mesin utama yang tercermin dari nilai SFC. Nilai SFC yang tinggi mengakibatkan biaya operasi pembangkit menjadi tidak ekonomis dan berdampak pada tingginya biaya produksi energi listrik. Oleh karena itu, pemantauan SFC menjadi bagian penting dalam pengendalian efisiensi operasional PLTD, termasuk pada unit yang menggunakan mesin SWD.

Pedoman Pemeliharaan Mesin Diesel Unit Pembangkit oleh PLN (Persero) (2020) menegaskan bahwa salah satu tujuan utama pemeliharaan adalah menjaga nilai SFC tetap berada pada rentang desain pabrikan. Pemeliharaan yang tidak optimal akan menyebabkan peningkatan nilai SFC, penurunan efisiensi, serta meningkatnya biaya bahan bakar. Pedoman ini juga merekomendasikan pelaksanaan pemeliharaan periodik P0 sampai P4 sebagai upaya menjaga efisiensi mesin diesel pembangkit.

Laporan Operasi dan Pemeliharaan Mesin SWD di PLTD Karang Asam yang diterbitkan oleh PLN UPDK Mahakam (2024) menunjukkan bahwa terdapat variasi nilai SFC sebelum dan sesudah dilakukan pemeliharaan pada unit mesin SWD. Laporan ini menjadi dasar data empiris dalam penelitian karena menunjukkan bahwa kegiatan pemeliharaan yang dilakukan di PLTD Karang Asam berpengaruh terhadap kinerja konsumsi bahan bakar mesin.

Direktorat Jenderal EBTKE (2021) dalam *Standar Operasional Mesin Diesel Pembangkit* menegaskan bahwa pengendalian nilai SFC merupakan bagian dari standar

kinerja pembangkit diesel nasional. Nilai SFC digunakan sebagai indikator efisiensi energi dan kinerja pembangkit dalam mendukung kebijakan efisiensi energi nasional. Hal ini memperkuat bahwa penelitian tentang SFC pada mesin SWD memiliki relevansi strategis tidak hanya secara teknis, tetapi juga secara kebijakan energi nasional.

Wärtsilä (2018) dalam paper teknisnya menyatakan bahwa optimasi efisiensi mesin diesel sangat berkaitan dengan pengendalian konsumsi bahan bakar melalui peningkatan kualitas sistem pembakaran, pengaturan suplai udara, serta pemeliharaan sistem injeksi. Optimasi tersebut terbukti mampu menurunkan nilai SFC secara signifikan pada mesin diesel kecepatan menengah. Temuan ini relevan karena mesin SWD termasuk dalam kategori medium speed diesel engine.

MAN Energy Solutions (2020) menjelaskan bahwa optimasi sistem injeksi bahan bakar pada mesin diesel kecepatan menengah berdampak langsung terhadap penurunan konsumsi bahan bakar dan nilai SFC. Sistem injeksi yang bersih, tekanan semprot yang optimal, serta timing injeksi yang tepat terbukti meningkatkan efisiensi pembakaran dan menurunkan nilai SFC. Literatur ini memperkuat bahwa perbaikan sistem injeksi melalui pemeliharaan akan berdampak langsung terhadap performa mesin SWD.

No	Penulis & Tahun	Judul / Sumber	Fokus Kajian	Temuan Utama Terkait SFC & Mesin Diesel	Relevansi terhadap Penelitian Mesin SWD
1	Arismunandar & Kuwahara (2002)	<i>Mesin Diesel dan Konversi Energi</i>	Efisiensi & konsumsi bahan bakar mesin diesel	SFC merupakan indikator utama efisiensi konversi energi pada mesin diesel	Menjadi dasar teori SFC sebagai indikator kinerja mesin SWD
2	Bosch (2019)	<i>Diesel-Engine Management</i>	Sistem injeksi & manajemen mesin	Gangguan sistem injeksi meningkatkan konsumsi BBM dan nilai SFC	Menguatkan bahwa pemeliharaan sistem injeksi SWD berpengaruh langsung pada SFC
3	Heywood (2018)	<i>Internal Combustion Engine Fundamentals</i>	Pembakaran & efisiensi termal	Kerusakan mekanis meningkatkan rugi energi dan menaikkan SFC	Menjelaskan hubungan kondisi mekanis mesin SWD dengan peningkatan SFC
4	PT SWD AB Marine (2015)	<i>Operation & Maintenance Manual – SWD Series</i>	Operasi & pemeliharaan mesin SWD	SFC dijadikan parameter utama evaluasi performa pasca pemeliharaan	Menjadi acuan langsung pengukuran dan evaluasi SFC mesin SWD

5	Sularso & Suga (2004)	<i>Dasar Perencanaan Elemen Mesin</i>	Keausan elemen mesin & rugi mekanis	Keausan meningkatkan losses dan konsumsi BBM (SFC)	Menguatkan hubungan pemeliharaan mekanis SWD terhadap penurunan SFC
6	Shu et al. (2014)	<i>Performance Analysis of Diesel Engine Fuel Consumption Post-Maintenance</i>	Konsumsi BBM pasca pemeliharaan	SFC menurun signifikan setelah pemeliharaan mesin diesel	Bukti empiris bahwa pemeliharaan menurunkan SFC
7	Sudrajat (2017)	<i>Teknik Pembangkitan Energi Listrik</i>	Efisiensi pembangkit diesel	SFC tinggi menyebabkan biaya operasi pembangkit meningkat	Menjelaskan pentingnya pengendalian SFC di PLTD
8	PLN (2020)	<i>Pedoman Pemeliharaan Mesin Diesel Unit Pembangkit</i>	Standar pemeliharaan PLTD	Target pemeliharaan adalah menjaga SFC sesuai standar desain	Menjadi acuan resmi pemeliharaan mesin SWD terhadap SFC
9	PLN UPTK Mahakam (2024)	<i>Laporan O&M PLTD Karang Asam</i>	Data aktual operasi mesin SWD	Terjadi perubahan nilai SFC sebelum dan sesudah pemeliharaan	Menjadi data utama penelitian lapangan
10	Ditjen EBTKE (2021)	<i>Standar Operasional Mesin Diesel Pembangkit</i>	Standar nasional pembangkit diesel	SFC sebagai indikator kinerja energi nasional	Menegaskan pentingnya penelitian SFC mesin SWD
11	Wärtsilä (2018)	<i>Diesel Engine Efficiency & Fuel Optimization</i>	Optimasi efisiensi mesin medium speed	Optimasi pembakaran menurunkan SFC secara signifikan	Relevan karena SWD termasuk mesin medium speed
12	MAN Energy (2020)	<i>Fuel Injection Optimization for Medium Speed Engines</i>	Sistem injeksi & efisiensi	Optimasi injeksi menurunkan konsumsi BBM dan SFC	Memperkuat peran pemeliharaan injeksi SWD terhadap SFC

2.5 Kerangka Pemikiran

Sesuai dengan kerangka pemikiran penulis, sebelum di simpulkan hasil penelitian tersebut. Perlu dikumpulkan data pengukuran SFC mulai dari sebelum melakukan Pemeliharaan dan setelah melakukan pemeliharaan mulai dari (P0 sampai P4). Pada proses persiapan ini terdiri dari memepersiapkan alat yang akan dibutuhkan, serta bekerja sesuai langkah-langkah SOP yang berlaku. Setelah segala persiapan tersebut, penulis dapat melaksanakan pengukuran dari hasil masing masing pemeliharaan untuk mengetahui pemeliharaan mana yang paling efektif untuk m,enurunkan nilai SFC. Setelah semua data di dapatkan kemudian di kaji ulang untuk memastikan keakuratan perhitungan SFC di mesin SWD pada PLTD Karang Asam.

