

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

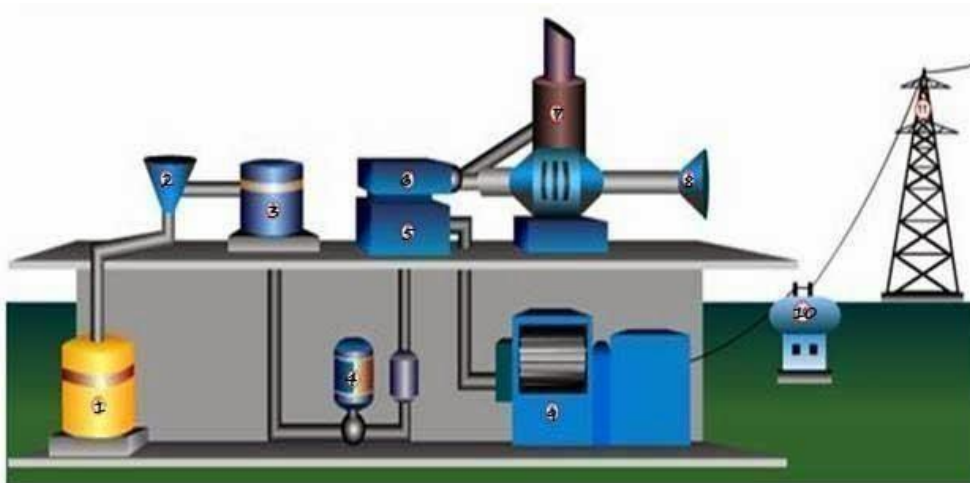
2.1 Landasan Teori

2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga DIESEL

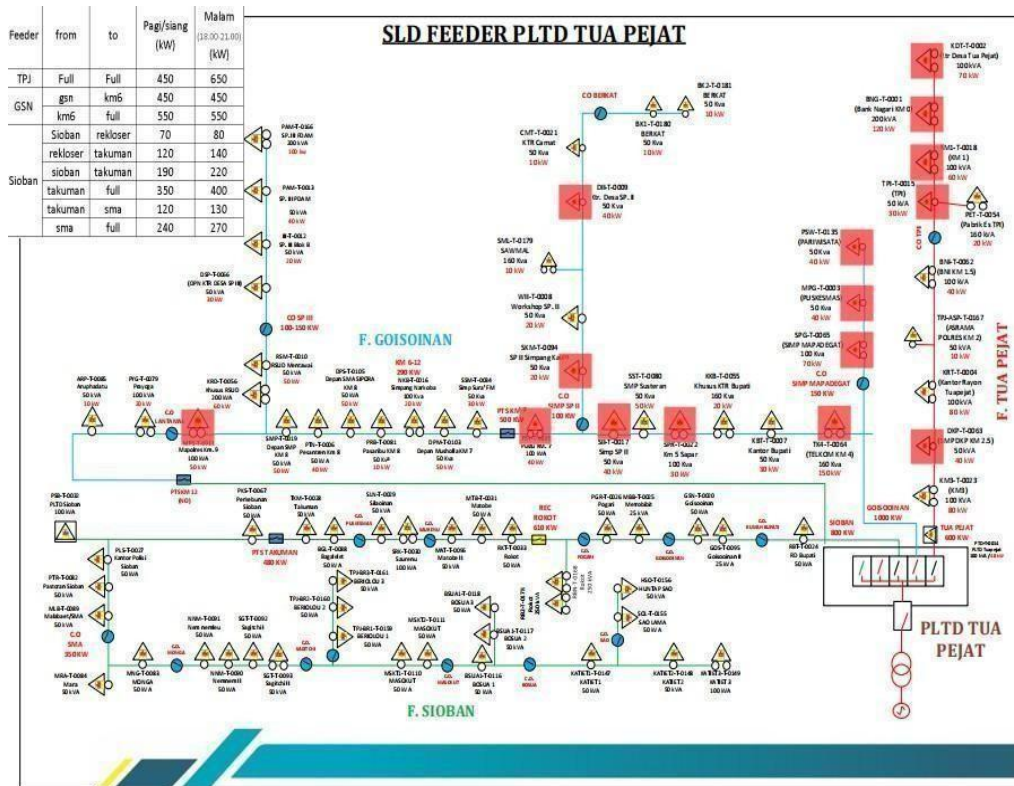
Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) adalah suatu sistem pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*) untuk memutar generator listrik (*alternator*). Energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar (biasanya solar atau *High Speed Diesel*) dikonversi menjadi energi mekanik melalui proses pembakaran di dalam mesin diesel, kemudian energi mekanik tersebut diubah menjadi energi listrik oleh generator.

Pembangkit Listrik Tenaga diesel (PLTD) banyak digunakan di daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik utama (*interkoneksi*), seperti pulau-pulau kecil dan wilayah terpencil, karena sistemnya sederhana, *fleksibel*, dan mudah dalam perawatan.

Meningkatkan perubahan fase air dengan memanaskan titik didih agar uap menjadi super panas terutama batu-bara dan minyak bakar serta MFO untuk start awal. Komponen-komponen pada pembangkit listrik tenaga uap tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2.1 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Diesel



Gambar 2.2 Single Line Diagram Feeder PLTD Tuapejat

Gambar diatas menjelaskan Pembangkit Listrik Tenaga diesel (PLTD) Tuapejat merupakan salah satu unit pembangkit listrik milik PLN yang beroperasi di wilayah Kepulauan Mentawai, berfungsi untuk memasok kebutuhan listrik masyarakat di sekitar Kecamatan Sipora Utara dan sekitarnya. Pembangkit ini menggunakan beberapa mesin diesel tipe MTU G63 dengan kapasitas daya 500 kW per unit sebagai penggerak utama (*prime mover*).

Secara umum, prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga diesel (PLTD) Tuapejat sama dengan pembangkit diesel lainnya, yaitu mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi listrik melalui tahapan konversi energi secara berurutan, yaitu Energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar solar diubah menjadi energi mekanik melalui proses pembakaran pada mesin diesel yang menghasilkan putaran poros, kemudian energi mekanik tersebut diubah lagi menjadi energi listrik oleh generator.

2.1.2 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Pembangkit Listrik Tenaga diesel (PLTD) terdiri dari beberapa sistem yang saling bekerja sama untuk mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik. Komponen utama Pembangkit Listrik Tenaga diesel (PLTD) dapat dikelompokkan menjadi komponen penggerak (*prime mover*), komponen pembangkit listrik (*generator*), serta sistem pendukung operasi.

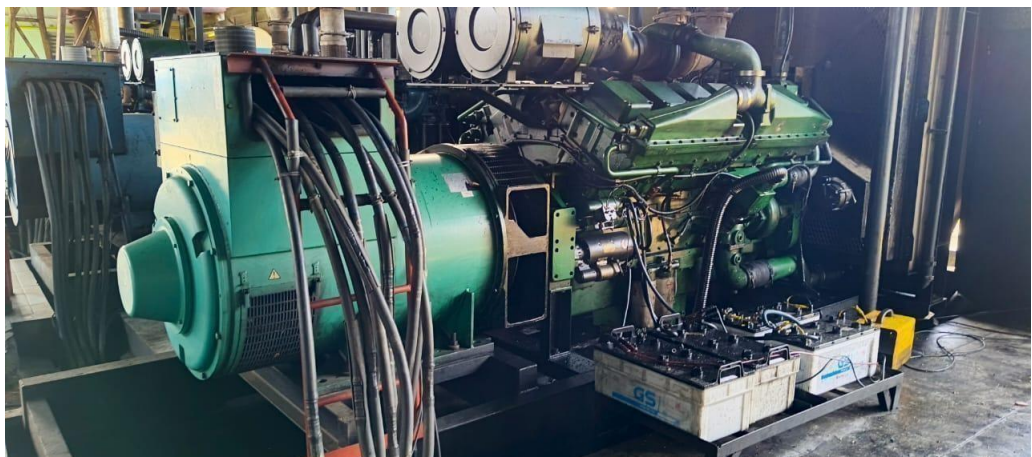
1. Mesin Diesel (*Prime Mover*)

Mesin diesel merupakan penggerak utama (*prime mover*) pada Pembangkit Listrik Tenaga diesel (PLTD). Fungsi utamanya adalah mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik (putaran poros) melalui proses pembakaran di ruang silinder. Mesin diesel pada Pembangkit Listrik Tenaga diesel (PLTD) Tuapejat menggunakan tipe MTU G63 dengan kapasitas daya 500 kW, yang termasuk dalam kategori mesin diesel empat langkah (*four-stroke engine*).

Empat langkah kerjanya meliputi:

1. Langkah isap
2. Langkah kompresi
3. Langkah usaha (pembakaran)
4. Langkah buang

Energi mekanik dari poros mesin ini nantinya digunakan untuk memutar generator listrik (*alternator*).



Gambar 2.3 Mesin diesel

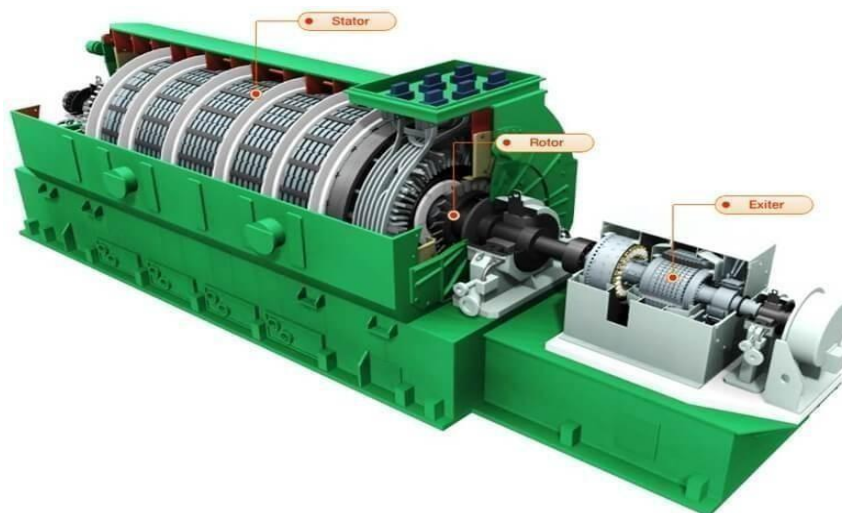
2. Generator (Alternator)

Generator berfungsi mengubah energi mekanik dari mesin diesel menjadi energi listrik berdasarkan prinsip induksi *elektromagnetik*.

Komponen utama generator meliputi:

- a. *Rotor* (medan magnet yang berputar)
- b. *Stator* (kumparan kawat yang diam)

Saat rotor berputar di dalam medan magnet, terjadi gaya gerak listrik (ggl) pada kumparan stator, sehingga dihasilkan arus listrik bolak-balik (*AC current*). Generator di PLTD Tuapejat biasanya menghasilkan tegangan 400 Volt dan frekuensi 50 Hz sebelum disalurkan ke jaringan distribusi.



Gambar 2.4 GENERATOR

3. Sistem Bahan Bakar (*Fuel System*)

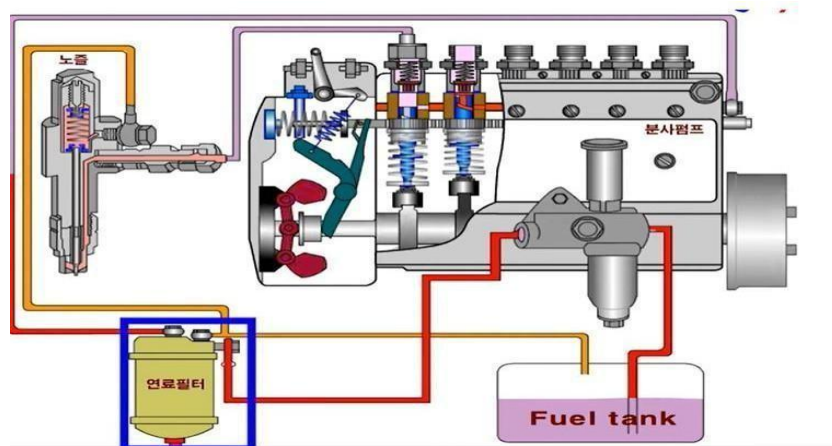
Sistem bahan bakar pada mesin diesel adalah suatu sistem yang berfungsi untuk menyimpan, menyaring, menyalurkan, dan menyemburkan bahan bakar ke dalam ruang bakar dengan tekanan dan waktu yang tepat sehingga proses pembakaran dapat berlangsung secara optimal.

Pada PLTD Tuapejat, bahan bakar yang digunakan adalah B40, yaitu campuran antara 60% solar dan 40% biodiesel. Sistem bahan bakar harus mampu mengakomodasi karakteristik B40 yang memiliki viskositas dan nilai kalor berbeda dibandingkan solar murni.

Komponen dalam sistem ini antara lain:

- a. Tangki utama (*Main Tank*): tempat penyimpanan bahan bakar dalam jumlah besar.
- b. Tangki harian (*Daily Tank*): tempat penampungan sementara bahan bakar yang siap digunakan.
- c. Pompa *transfer*: mengalirkan bahan bakar dari tangki utama ke tangki harian.
- d. Pompa *injeksi*: mengatur jumlah bahan bakar yang disemprotkan ke silinder.
- e. *Filter* bahan bakar: menyaring kotoran atau air agar bahan bakar tetap bersih.
- f. *injektor*: menyemburkan bahan bakar ke ruang bakar dalam bentuk kabut halus agar mudah terbakar.

Sistem ini sangat menentukan stabilitas pembakaran dan efisiensi mesin diesel.



Gambar 2.5 Sistem Bahan Bakar

4. Sistem Pelumasan (*Lubrication System*)

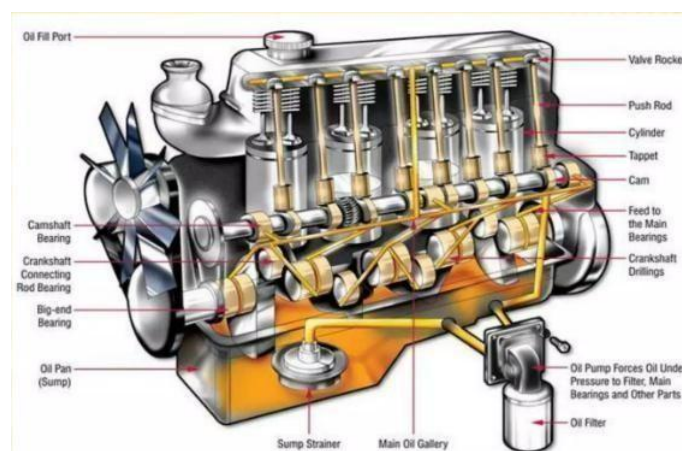
Sistem pelumasan adalah suatu sistem pada mesin diesel yang berfungsi untuk menyalurkan oli pelumas ke seluruh komponen mesin guna mengurangi gesekan, mencegah keausan, serta membantu proses pendinginan dan pembersihan komponen mesin.

Pada mesin diesel PLTD, sistem pelumasan sangat penting karena mesin bekerja pada beban tinggi dan temperatur tinggi. Tanpa pelumasan yang baik, komponen mesin seperti piston, crankshaft, dan bearing akan cepat mengalami kerusakan.

Komponen utamanya meliputi:

- a. Pompa oli (*oil pump*): memompa oli ke seluruh bagian mesin.
- b. *Filter* oli (*oil filter*): menyaring kotoran dari oli.
- c. *Oil cooler*: menjaga suhu oli agar tetap optimal.
- d. *Crankcase* dan saluran pelumas: mengalirkan oli ke poros engkol, piston, dan *camshaft*.

Pelumasan yang baik akan memperpanjang umur mesin dan menjaga efisiensi kerja.



Gambar 2.6 Sistem Pelumasan

Sumber <https://www.slideshare.net/slideshow/5sistem-pelumasan-motor-diesel/250888474#2>

Gambar di atas menunjukkan alur kerja sistem pelumasan pada mesin diesel. Oli pelumas disimpan di dalam tangki (oil tank) kemudian dipompa oleh oil pump menuju oil filter untuk disaring dari kotoran. Setelah itu, oli disalurkan ke komponen mesin seperti piston, crankshaft, dan bearing untuk mengurangi gesekan dan keausan. Setelah melumasi komponen, oli kembali ke tangki untuk digunakan kembali.

5. Sistem Pendingin (*Cooling System*)

Sistem pendingin adalah sistem pada mesin diesel yang berfungsi untuk mengontrol dan menjaga temperatur kerja mesin agar tetap berada pada kondisi optimal. Pada saat mesin beroperasi, proses pembakaran menghasilkan panas yang sangat tinggi. Jika panas tersebut tidak dikendalikan, maka dapat menyebabkan overheating yang berakibat pada kerusakan komponen mesin.

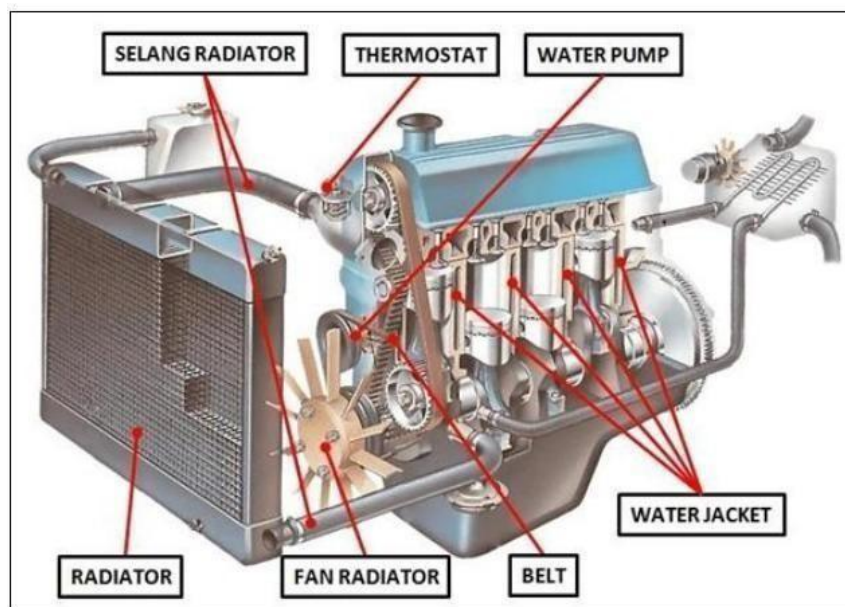
Pada mesin diesel di PLTD, sistem pendingin sangat penting karena mesin bekerja secara

terus menerus dengan beban tinggi. Oleh karena itu, diperlukan sistem pendingin yang efektif untuk menjaga kestabilan temperatur mesin.

Komponen utama sistem pendingin:

- a. Radiator: melepas panas dari cairan pendingin ke udara.
- b. Pompa air (*water pump*): mengalirkan air pendingin dari radiator ke blok mesin.
- c. *Thermostat*: mengatur sirkulasi air pendingin agar suhu mesin tetap stabil.
- d. *Fan* (kipas): membantu sirkulasi udara pada radiator.

Sistem pendingin sangat penting untuk menjaga suhu kerja mesin diesel pada kisaran 80–90°C agar pembakaran tetap efisien.



Gambar 2.7 Sistem pendingin

6. Sistem Udara Masuk dan Pembuangan (*Air Intake & Exhaust System*)

Sistem udara masuk dan pembuangan (*Air Intake & Exhaust System*) adalah sistem pada mesin diesel yang berfungsi untuk menyuplai udara bersih ke dalam ruang bakar dan mengeluarkan gas hasil pembakaran ke lingkungan. Sistem ini sangat berperan dalam menentukan kualitas proses pembakaran, efisiensi mesin, serta emisi gas buang.

Pada mesin diesel, udara yang masuk ke dalam silinder akan dikompresi hingga mencapai tekanan dan temperatur tinggi, kemudian bahan bakar disemprotkan sehingga terjadi pembakaran. Oleh karena itu, kualitas dan jumlah udara yang masuk sangat

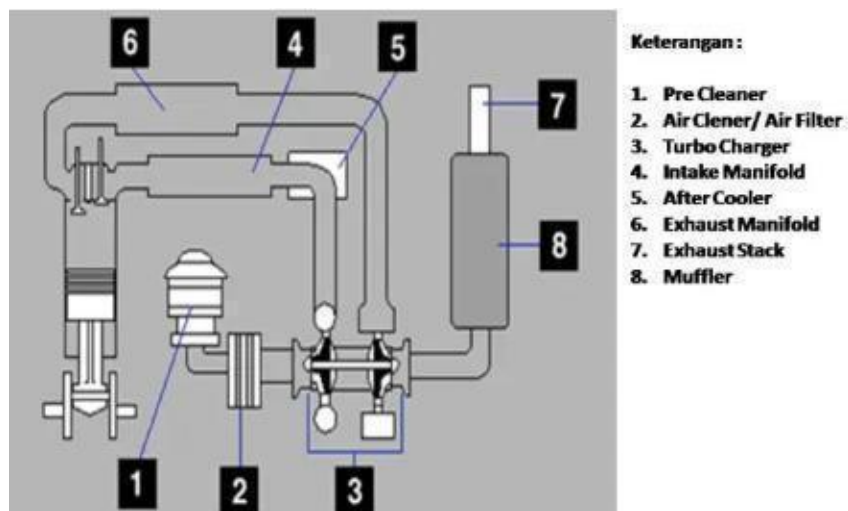
mempengaruhi kesempurnaan pembakaran.

Sementara itu, gas hasil pembakaran harus segera dikeluarkan dari ruang bakar agar tidak mengganggu proses pembakaran berikutnya. Sistem pembuangan berfungsi untuk menyalurkan gas buang keluar dengan aman serta mengurangi kebisingan dan emisi.

Komponen utamanya:

- a. *Air filter*: menyaring udara dari debu dan partikel kotor.
- b. *Intake manifold*: menyalurkan udara ke masing-masing silinder.
- c. *Exhaust manifold*: mengumpulkan gas buang dari setiap silinder.
- d. *Muffler* (peredam suara): meredam kebisingan gas buang.

Sistem ini membantu menjaga kualitas pembakaran dan mengurangi emisi gas buang.



Gambar 2.8 Sistem Udara Masuk dan Pembuangan

7. Sistem Start (*Starting System*)

Sistem start adalah sistem yang berfungsi untuk menghidupkan mesin diesel dari kondisi diam hingga mencapai putaran awal (*cranking speed*) yang cukup untuk terjadinya proses pembakaran.

Pada mesin diesel, dibutuhkan putaran awal tertentu agar udara di dalam silinder dapat terkompresi hingga mencapai suhu yang cukup tinggi untuk proses self ignition (penyalaan sendiri). Oleh karena itu, sistem start memiliki peran penting dalam memulai operasi pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD).

Di PLTD Tuapejat, sistem start yang digunakan adalah motor starter elektrik berbasis baterai (DC starting system).

Komponen Utama Sistem Start

Sistem start pada mesin diesel PLTD terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

a. Baterai (*Accumulator*)

Berfungsi sebagai sumber energi listrik DC (biasanya 24 Volt DC), Energi ini digunakan untuk menggerakkan motor starter.

b. Motor Starter

Motor listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk memutar *flywheel* mesin.

c. Solenoid Starter

Berfungsi sebagai saklar elektromagnetik yang menghubungkan arus besar dari baterai ke motor starter saat tombol start ditekan.

d. *Flywheel*

Roda gila yang terhubung dengan poros engkol. Motor starter memutar *flywheel* untuk menggerakkan piston.

e. Panel Kontrol

Digunakan untuk mengaktifkan proses start dan memantau parameter awal mesin.

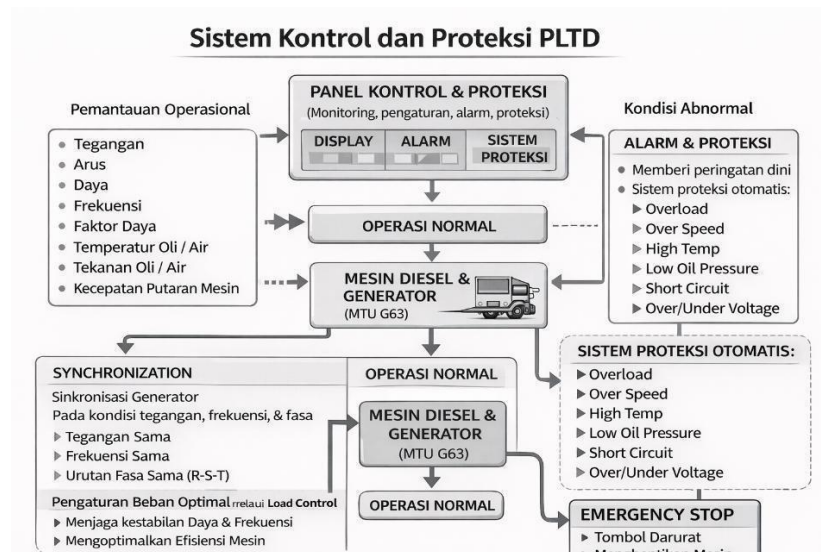
8. Sistem Kontrol dan Proteksi (*Control & Protection System*)

Sistem Kontrol dan Proteksi (Control & Protection System) merupakan sistem yang berfungsi untuk mengatur, memantau, dan melindungi seluruh proses operasi mesin diesel dan generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Sistem ini sangat penting karena mesin diesel dan generator bekerja secara kontinu dengan beban yang bervariasi. Tanpa sistem kontrol dan proteksi yang baik, gangguan kecil dapat berkembang menjadi kerusakan besar yang menyebabkan penghentian operasi pembangkit.

Pada PLTD Tuapejat, sistem kontrol dan proteksi terintegrasi dalam panel kontrol (control panel) yang dilengkapi dengan instrumen pengukuran, perangkat proteksi, serta sistem monitoring parameter operasi secara real-time.

Beberapa fungsi utama panel kontrol:

- Menampilkan parameter operasi (tegangan, arus, frekuensi, suhu, tekanan oli).
- Melakukan *synchronizing* antar unit Pembangkit Listrik Tenaga diesel (PLTD) jika bekerja paralel.
- Melindungi mesin dari kondisi *abnormal* seperti *over-speed*, *over-load*, *over-temperature*, atau *low oil pressure*.



Gambar 2.9 Sistem Kontrol dan Proteksi

Gambar Sistem Kontrol dan Proteksi PLTD menunjukkan hubungan antara panel kontrol, mesin diesel, generator, serta sistem proteksi otomatis dalam menjaga operasi pembangkit tetap aman dan stabil.

Diagram tersebut menggambarkan bahwa seluruh proses pengoperasian mesin diesel dan generator dikendalikan melalui Panel Kontrol & Proteksi, yang berfungsi sebagai pusat monitoring, pengaturan, serta perlindungan sistem.

9. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi Tenaga Listrik merupakan sistem yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik yang dihasilkan oleh generator ke jaringan konsumen secara aman, stabil, dan sesuai standar tegangan yang ditentukan.

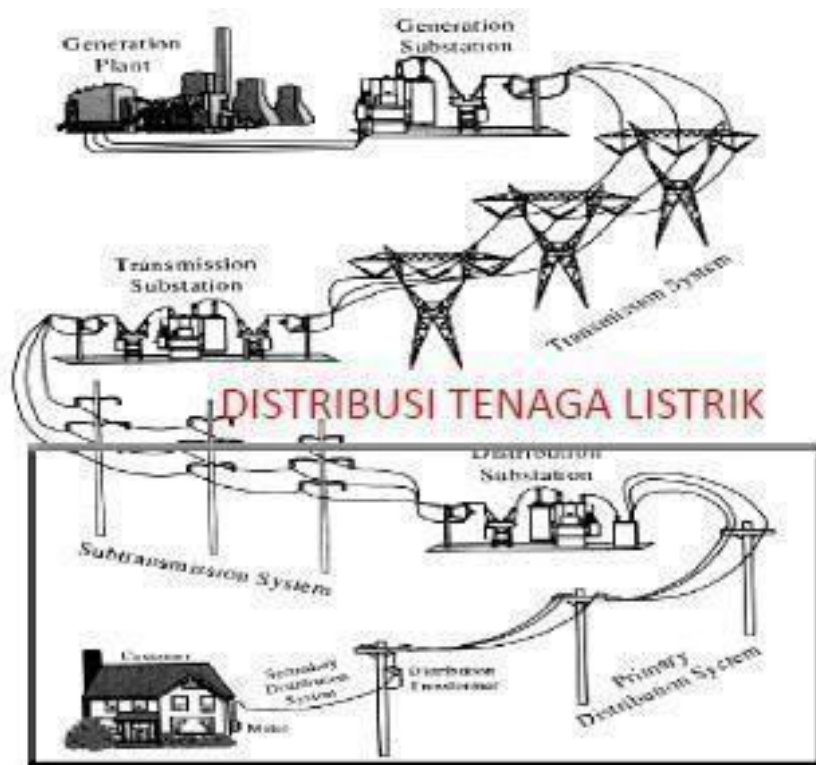
Pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), energi listrik yang dihasilkan generator tidak langsung disalurkan ke pelanggan, melainkan melalui beberapa tahapan pengaturan dan pengamanan terlebih dahulu. Sistem distribusi ini memastikan daya yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara optimal tanpa menimbulkan gangguan pada sistem kelistrikan.

Di PLTD Tuapejat, sistem distribusi dirancang untuk menjaga kestabilan tegangan, frekuensi, serta keamanan sistem jaringan listrik di wilayah pelayanan.

Proses distribusi meliputi:

- a. *Transformer step-up / step-down* untuk menyesuaikan tegangan
- b. *Circuit breaker (CB)* sebagai pengaman beban.
- c. Busbar sebagai penghubung antar sirkuit.

Sistem distribusi ini memastikan daya listrik yang dihasilkan stabil, aman, dan sesuai kebutuhan pelanggan.



Gambar 2.10 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Gambar Sistem Distribusi Tenaga Listrik PLTD menunjukkan alur penyaluran energi listrik mulai dari mesin diesel sebagai penggerak utama hingga listrik disalurkan ke jaringan distribusi dan konsumen.

Diagram tersebut menggambarkan tahapan proses distribusi tenaga listrik secara sistematis melalui beberapa komponen utama.

2.1.3 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga diesel (PLTD) Tuapejat

Pembangkit Listrik Tenaga diesel (PLTD) Tuapejat yang berlokasi di Kabupaten Kepulauan Mentawai menggunakan mesin diesel tipe MTU G63 dengan kapasitas daya 500 kW per unit. Prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga diesel (PLTD) Tuapejat dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Bahan bakar (solar) dari tangki utama dipompa menuju tangki harian.
2. Dari tangki harian, bahan bakar disaring dan dialirkan ke *injektor* mesin diesel.
3. Udara dikompresi dalam *silinder* hingga suhu tinggi, lalu bahan bakar disemprotkan dan terbakar secara otomatis.
4. Hasil pembakaran mendorong piston dan menghasilkan energi mekanik.
5. Energi mekanik memutar generator (*alternator*) untuk menghasilkan energi listrik.
6. Energi listrik disalurkan melalui panel kontrol ke sistem distribusi PLN di Tuapejat.

Pada Pembangkit Listrik Tenaga diesel (PLTD) Tuapejat, efisiensi kerja mesin sangat dipengaruhi oleh beban operasi. Pada beban rendah, pembakaran kurang sempurna, sedangkan pada beban tinggi, mesin bekerja mendekati batas kemampuan. Beban ideal biasanya berada pada 75–80% dari kapasitas maksimum.



Secara umum, gambar menunjukkan urutan perubahan energi sebagai berikut:

2.2 Pengertian Mesin Diesel

Mesin diesel ditemukan oleh Rudolf Diesel pada tahun 1892 dengan tujuan menciptakan mesin yang memiliki efisiensi termal lebih tinggi dibandingkan mesin bensin. Hingga saat ini, mesin diesel banyak digunakan sebagai penggerak utama pada kendaraan berat, industri, kapal laut, dan pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD).

Mesin diesel merupakan salah satu jenis motor bakar dalam yang banyak digunakan sebagai penggerak utama pada pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD). Mesin ini bekerja berdasarkan prinsip pembakaran dalam (internal combustion engine), di mana

energi kimia dari bahan bakar diubah menjadi energi mekanik melalui proses pembakaran di dalam silinder. Pada mesin diesel, proses pembakaran terjadi akibat suhu tinggi yang dihasilkan dari kompresi udara, sehingga tidak memerlukan sistem pengapian seperti busi pada mesin bensin. Hal ini menjadikan mesin diesel memiliki efisiensi yang relatif lebih tinggi serta konsumsi bahan bakar yang lebih hemat.

Siklus kerja mesin diesel terdiri dari empat langkah utama, yaitu langkah hisap, kompresi, usaha, dan buang. Keempat langkah ini berlangsung dalam dua putaran poros engkol (crankshaft) atau 720 derajat putaran.

1. Langkah Hisap (Intake Stroke)

Pada langkah hisap piston bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB). Pada saat yang sama, katup masuk (intake valve) terbuka, sedangkan katup buang (exhaust valve) tertutup, pergerakan piston ke bawah menyebabkan tekanan di dalam silinder menurun sehingga udara dari luar masuk ke dalam ruang bakar, pada mesin diesel fluida yang masuk hanyalah udara tanpa campuran bahan bakar, proses ini sangat penting karena jumlah udara yang masuk akan mempengaruhi kualitas pembakaran pada langkah berikutnya.

2. Langkah Kompresi (Compression Stroke)

Pada langkah kompresi, piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) menuju titik mati atas (TMA). Kedua katup, yaitu katup masuk dan katup buang, berada dalam kondisi tertutup. Udara yang telah masuk ke dalam silinder akan dikompresi hingga mencapai tekanan dan suhu yang sangat tinggi, biasanya berkisar antara 500°C hingga 700°C. Peningkatan suhu ini terjadi akibat proses kompresi tanpa adanya pelepasan panas. Tingginya suhu udara inilah yang memungkinkan bahan bakar dapat terbakar secara spontan pada saat diinjeksikan tanpa memerlukan percikan api.

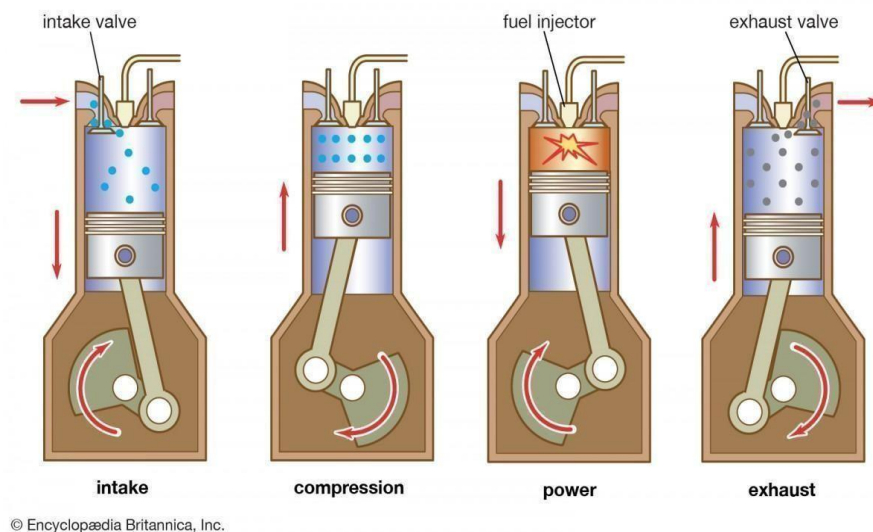
3. Langkah Usaha (Power Stroke)

Langkah usaha merupakan langkah utama dalam menghasilkan tenaga pada mesin diesel. Pada tahap ini, bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar oleh injektor dalam bentuk kabut halus. Ketika bahan bakar bercampur dengan udara panas hasil kompresi, terjadi proses pembakaran secara spontan (*self ignition*), proses pembakaran ini menghasilkan tekanan yang sangat tinggi di dalam silinder, tekanan

tersebut mendorong piston bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), sehingga menghasilkan energi mekanik yang kemudian diteruskan ke poros engkol, energi inilah yang digunakan untuk menggerakkan generator pada PLTD guna menghasilkan energi listrik.

4. Langkah Buang (Exhaust Stroke)

Pada langkah buang, piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) menuju titik mati atas (TMA), katup buang terbuka, sedangkan katup masuk tertutup, Gas hasil pembakaran yang tersisa di dalam silinder akan didorong keluar melalui katup buang menuju sistem pembuangan, Proses ini bertujuan untuk membersihkan ruang bakar agar siap menerima udara baru pada siklus berikutnya.



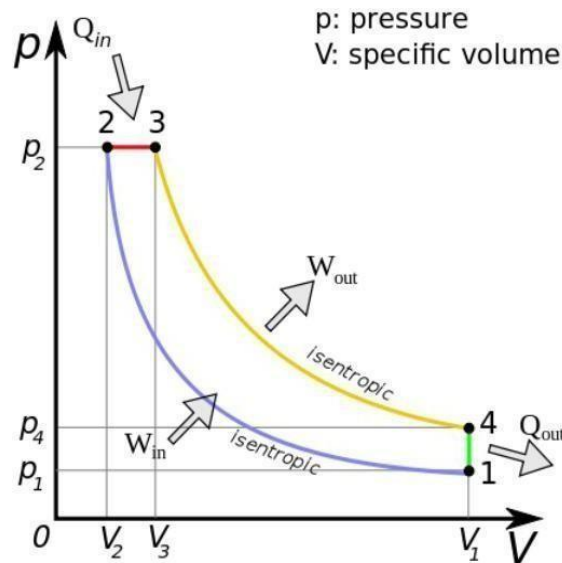
Gambar 2.12 Siklus Kerja Mesin Diesel Empat Langkah

2.2.2 Siklus PLTD Menggunakan Siklus Diesel

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan mesin diesel sebagai penggerak utama generator. Mesin diesel bekerja berdasarkan prinsip siklus Diesel, yaitu suatu siklus termodinamika yang menggambarkan proses perubahan energi dari bahan bakar menjadi energi mekanik melalui proses pembakaran di dalam silinder.

Pada PLTD, energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas melalui proses pembakaran. Energi panas tersebut kemudian diubah menjadi energi

mekanik yang digunakan untuk memutar poros mesin. Selanjutnya, energi mekanik tersebut diteruskan ke generator untuk menghasilkan energi listrik. Oleh karena itu, pemahaman mengenai siklus Diesel sangat penting dalam menganalisis kinerja mesin, konsumsi bahan bakar, serta efisiensi pembangkit.



Gambar 2.13 Siklus PLTD Menggunakan Siklus Diesel

Gambar Siklus PLTD Menggunakan Siklus Diesel menunjukkan bahwa proses pembangkitan listrik dimulai dari pembakaran bahan bakar dan berakhir pada produksi energi listrik melalui generator. Siklus ini berlangsung secara kontinu selama mesin beroperasi dan menjadi dasar kerja PLTD Tuapejat dalam menghasilkan energi listrik.

2.2.3 Penerapan Siklus Diesel pada PLTD

Dalam PLTD, siklus Diesel berlangsung secara kontinu di dalam silinder mesin. Energi yang dihasilkan dari proses pembakaran digunakan untuk memutar poros engkol, yang kemudian menggerakkan generator listrik.

Adapun alur konversi energi pada PLTD adalah sebagai berikut:

Bahan bakar jenis B40 yang digunakan dalam mesin diesel mengalami proses pembakaran sehingga menghasilkan energi panas, kemudian energi panas tersebut diubah menjadi energi mekanik berupa putaran poros mesin, selanjutnya putaran tersebut menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik. Penggunaan bahan bakar B40 pada PLTD Tuapejat, yang merupakan campuran antara solar dan biodiesel, dapat mempengaruhi proses pembakaran karena memiliki nilai kalor yang lebih rendah

dibandingkan solar murni. Hal ini berdampak pada konsumsi bahan bakar dan efisiensi mesin.

Tahapan Penerapan Siklus Diesel pada PLTD, Penerapan siklus Diesel pada PLTD terjadi melalui empat tahapan utama berikut:

1. Proses Kompresi Udara (Kompresi Isentropik)

Udara murni masuk ke dalam silinder melalui katup masuk. Piston bergerak dari Titik Mati Bawah (TMB) ke Titik Mati Atas (TMA) sehingga udara dikompresi hingga mencapai tekanan dan temperatur tinggi.

Pada tahap ini:

- a. Tidak ada penambahan panas dari luar.
- b. Temperatur udara meningkat signifikan.
- c. Kondisi ini memungkinkan terjadinya pembakaran spontan.

Proses ini sesuai dengan tahap 1–2 pada siklus Diesel ideal.

2. Proses Pembakaran (Penambahan Panas Tekanan Konstan)

Setelah udara mencapai temperatur tinggi, bahan bakar solar (B40) disemprotkan ke ruang bakar melalui injektor. Bahan bakar langsung terbakar akibat suhu tinggi hasil kompresi (*self ignition*).

Pada tahap ini:

- a. Energi kimia berubah menjadi energi panas.
- b. Tekanan relatif konstan (pada model ideal).
- c. Temperatur meningkat tajam.

Tahap ini merupakan penerapan proses 2–3 dalam siklus Diesel.

3. Proses *Ekspansi* (Langkah Usaha)

Gas hasil pembakaran yang bertekanan tinggi mengembang dan mendorong piston ke bawah. Gerakan ini menghasilkan energi mekanik yang diteruskan ke poros engkol.

Pada PLTD:

- a. Energi mekanik memutar generator.
- b. Generator menghasilkan energi listrik.
- c. Tahap ini merupakan sumber utama daya keluaran.

Proses ini sesuai dengan tahap 3–4 dalam siklus Diesel ideal.

4. Proses Pembuangan Panas

Setelah langkah usaha selesai, piston kembali bergerak naik dan mendorong gas sisa pembakaran keluar melalui katup buang.

Pada tahap ini:

- a. Energi panas sisa dilepaskan melalui gas buang.
- b. Terjadi kehilangan energi sehingga efisiensi tidak mencapai 100%.
- c. Sistem pendingin membantu menjaga temperatur mesin tetap stabil.

Tahap ini merupakan penerapan proses 4–1 dalam siklus Diesel.

2.2.4 Hubungan Siklus Diesel dengan Konsumsi Bahan Bakar

Kinerja siklus Diesel sangat berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar dan efisiensi mesin. Proses kompresi yang baik akan meningkatkan temperatur udara sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna. Proses pembakaran yang optimal akan menghasilkan energi yang maksimal, sedangkan proses ekspansi yang efektif akan meningkatkan daya keluaran mesin.

Apabila proses dalam siklus Diesel berlangsung dengan baik, maka konsumsi bahan bakar akan lebih efisien, nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) akan lebih rendah, dan efisiensi termal mesin akan meningkat.

Hubungan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Tahap Kompresi dan Efisiensi Pembakaran

Semakin tinggi rasio kompresi:

- a. Temperatur udara semakin tinggi.
- b. Pembakaran lebih sempurna.

- c. Energi panas yang dihasilkan lebih optimal.

Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan daya lebih besar dengan jumlah bahan bakar yang relatif lebih sedikit, sehingga nilai SFC menjadi lebih rendah.

2. Tahap Pembakaran dan Tekanan Efektif

Jika proses pembakaran berlangsung optimal:

- a. Tekanan dalam silinder meningkat maksimal.
- b. Gaya dorong piston lebih besar.
- c. Daya mekanik meningkat.

Apabila pembakaran tidak sempurna:

- a. Sebagian bahan bakar tidak terbakar.
- b. Energi hilang melalui gas buang.
- c. Konsumsi bahan bakar meningkat.
- d. Nilai SFC menjadi lebih tinggi.

3. Tahap Ekspansi dan Pemanfaatan Energi Panas

Proses ekspansi yang optimal akan:

- a. Mengubah energi panas menjadi energi mekanik secara maksimal.
- b. Mengurangi energi yang terbuang sebagai panas.
- c. Meningkatkan efisiensi termal.

Semakin besar energi yang berhasil dikonversi menjadi kerja mekanik, semakin sedikit bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya tertentu.

2.2.5 Efisiensi Siklus Diesel

Efisiensi siklus Diesel adalah ukuran kemampuan mesin diesel dalam mengubah energi panas hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanik. Secara teoritis, efisiensi ini dihitung berdasarkan model siklus Diesel ideal yang dianalisis menggunakan prinsip termodinamika, efisiensi siklus Diesel menunjukkan seberapa besar energi panas yang dapat dimanfaatkan menjadi kerja mekanik dibandingkan dengan total energi panas

yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Semakin tinggi efisiensi siklus Diesel, maka semakin kecil energi yang terbuang sebagai panas dan semakin hemat konsumsi bahan bakar.

Efisiensi siklus Diesel merupakan perbandingan antara energi yang dihasilkan oleh mesin dengan energi yang masuk dari bahan bakar. Efisiensi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- a. Rasio kompresi
- b. Temperatur dan tekanan pembakaran
- c. Kualitas bahan bakar
- d. Kondisi mesin

Pada penggunaan bahan bakar B40, efisiensi mesin dapat sedikit menurun karena nilai kalor bahan bakar yang lebih rendah. Namun, kandungan oksigen pada biodiesel dapat membantu proses pembakaran menjadi lebih sempurna.

2.3 Konsumsi Bahan Bakar

2.3.1 Pengertian Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar yang digunakan mesin untuk menghasilkan daya tertentu dalam waktu tertentu. Besarnya konsumsi bahan bakar menunjukkan efisiensi kerja mesin diesel dalam menghasilkan energi.

Rumus umum untuk menghitung konsumsi bahan bakar mesin diesel di PLTD adalah:

$$\text{Konsumsi Bahan Bakar (liter/jam)} = \text{BSFC} \times \text{Daya Output (kW)}$$

Keterangan:

BSFC (*Brake Specific Fuel Consumption*) = konsumsi bahan bakar spesifik (liter/kWh atau g/kWh)

Nilainya tergantung jenis dan kondisi mesin diesel, biasanya:

- a. Mesin diesel besar: 0,20 – 0,25 liter/kWh
- b. Mesin kecil: 0,25 – 0,30 liter/kWh

Daya Output (kW) = daya listrik yang dihasilkan generator.

Satuan dan Parameter Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar pada PLTD dinyatakan dalam beberapa parameter, yaitu:

1. *Fuel Consumption* (FC)

Merupakan jumlah bahan bakar yang digunakan dalam satuan waktu.

Satuan yang umum digunakan:

- a. Liter per jam (L/jam)
- b. Kilogram per jam (kg/jam)

Secara matematis:

$$Q_f = \frac{V}{t}$$

Keterangan:

Q_f = laju konsumsi bahan bakar (L/jam)

V = volume bahan bakar (liter)

t = waktu operasi (jam)

2. *Specific Fuel Consumption* (SFC)

Specific Fuel Consumption (SFC) adalah jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan energi listrik (kWh).

$$SFC = \frac{Q_f}{P_{out}}$$

Keterangan:

SFC = konsumsi bahan bakar spesifik (L/kWh atau kg/kWh)

Q_f = konsumsi bahan bakar (L/jam)

P_{out} = daya keluaran mesin (kW)

Nilai SFC menjadi indikator utama efisiensi bahan bakar. Semakin kecil nilai SFC, semakin efisien mesin tersebut.

Pada mesin diesel pembangkit, nilai SFC umumnya berkisar antara:

0,20 – 0,30 L/kWh (tergantung tipe dan kondisi mesin)

2.3.2 Hubungan Konsumsi Bahan Bakar dengan Energi dan Efisiensi

Energi masukan dari bahan bakar dapat dinyatakan sebagai:

$$\text{energi masuk} = \dot{m}_f \times LHV$$

Keterangan:

$\dot{m}_f$ = laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

LHV = nilai kalor bawah bahan bakar (kJ/kg)

Efisiensi termal mesin diesel dirumuskan sebagai:

$$\eta_{th} = \frac{P_{out}}{\dot{m}_f \times LHV}$$

Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa jika laju bahan bakar meningkat tanpa peningkatan daya yang sebanding, maka efisiensi akan menurun.

Artinya:

- Semakin tinggi konsumsi bahan bakar yang digunakan oleh mesin, maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin rendah.
- Semakin rendah konsumsi bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan daya yang sama, maka efisiensi mesin akan semakin tinggi.

2.3.3 Faktor yang Mempengaruhi Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar pada mesin diesel merupakan salah satu parameter penting yang menentukan efisiensi operasional pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD). Besarnya konsumsi bahan bakar dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik yang berasal dari kondisi mesin maupun kondisi operasional.

Berikut adalah faktor-faktor utama yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar pada mesin diesel:

1. Beban Operasi Mesin

Beban operasi merupakan faktor utama yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar. Semakin besar beban yang diberikan pada mesin, maka kebutuhan bahan bakar juga akan meningkat.

Namun, peningkatan konsumsi bahan bakar tidak selalu berbanding lurus dengan efisiensi. Pada beban rendah, mesin cenderung bekerja kurang efisien karena pembakaran tidak optimal. Sebaliknya, pada beban menengah hingga tinggi (sekitar 70–80%), mesin biasanya mencapai efisiensi terbaik yang ditandai dengan nilai Specific Fuel Consumption (SFC) yang rendah.

2. Kondisi Mesin

Kondisi mesin sangat berpengaruh terhadap efisiensi pembakaran dan konsumsi bahan bakar. Mesin yang tidak terawat dengan baik akan mengalami penurunan performa.

Beberapa kondisi yang mempengaruhi antara lain:

- a. Keausan piston dan ring piston
- b. Kondisi injector yang kotor atau tidak optimal
- c. Kerusakan pada sistem katup
- d. Kompresi mesin yang menurun

Kondisi tersebut dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna sehingga konsumsi bahan bakar menjadi lebih boros.

3. Kualitas Bahan Bakar

Kualitas bahan bakar juga sangat menentukan proses pembakaran. Bahan bakar dengan kualitas baik memiliki nilai kalor yang tinggi dan pembakaran yang lebih sempurna.

Faktor yang mempengaruhi kualitas bahan bakar antara lain:

- a. Nilai kalor (LHV)
- b. Kandungan air
- c. Kandungan kotoran atau partikel

Bahan bakar yang buruk dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna, menghasilkan asap, serta meningkatkan konsumsi bahan bakar.

4. Sistem Injeksi Bahan Bakar

Sistem injeksi berfungsi untuk menyemprotkan bahan bakar ke dalam ruang bakar dalam bentuk kabut halus. Kinerja sistem injeksi sangat mempengaruhi efisiensi pembakaran. Jika tekanan injeksi tidak sesuai atau nozzle injector kotor, maka bahan bakar tidak teratomisasi dengan baik, sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna dan konsumsi bahan bakar meningkat.

5. Sistem Udara dan Pembakaran

Ketersediaan udara yang cukup sangat penting untuk proses pembakaran. Udara yang masuk ke dalam silinder harus bersih dan dalam jumlah yang cukup.

Beberapa faktor yang mempengaruhi antara lain:

- a. Kondisi filter udara
- b. Kinerja turbocharger
- c. Rasio udara-bahan bakar

Kekurangan udara akan menyebabkan pembakaran tidak sempurna, yang ditandai dengan asap hitam dan peningkatan konsumsi bahan bakar.

6. Sistem Pendingin

Sistem pendingin berfungsi untuk menjaga suhu mesin tetap stabil. Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat mempengaruhi proses pembakaran.

- a. Suhu yang terlalu rendah menyebabkan proses pembakaran di dalam mesin tidak berlangsung secara optimal, sehingga dapat menurunkan kinerja mesin.
- b. Suhu yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko terjadinya kerusakan pada mesin sehingga dapat menurunkan keandalan dan umur pakai mesin.

Suhu kerja yang ideal akan menghasilkan efisiensi pembakaran yang maksimal.

7. Sistem Pelumasan

Sistem pelumasan berfungsi untuk mengurangi gesekan antar komponen mesin. Gesekan yang tinggi akan menyebabkan kehilangan energi (*losses*) sehingga konsumsi bahan bakar meningkat.

Pelumasan yang baik akan membantu mesin bekerja lebih ringan dan efisien.

8. Kondisi Operasional

Kondisi operasional mesin juga berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar, seperti:

- a. Waktu operasi
- b. Pola pembebanan
- c. Start-stop mesin yang terlalu sering

Operasi yang tidak stabil dapat menyebabkan konsumsi bahan bakar menjadi tidak efisien.

9. Perawatan (*Maintenance*)

Perawatan yang baik sangat penting untuk menjaga kinerja mesin. Mesin yang dirawat secara rutin akan memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan mesin yang jarang dirawat.

Kegiatan perawatan meliputi:

- a. Pembersihan filter
- b. Penggantian oli
- c. *Kalibrasi injector*
- d. *Overhaul* mesin

2.4 *Specific Fuel Consumption (SFC)*

Specific Fuel Consumption (SFC) atau konsumsi bahan bakar spesifik merupakan salah satu parameter penting dalam analisis kinerja mesin diesel. SFC menyatakan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin untuk menghasilkan daya tertentu dalam satuan waktu.

SFC digunakan untuk mengukur tingkat efisiensi penggunaan bahan bakar pada suatu mesin. Semakin kecil nilai SFC, maka semakin efisien mesin tersebut dalam mengkonversi energi bahan bakar menjadi energi mekanik. Dalam konteks pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), nilai SFC sangat penting karena berkaitan langsung dengan biaya operasional dan efisiensi pembangkitan energi listrik.

Rumus *Specific Fuel Consumption* (SFC) :

$$SFC = \frac{Q_f}{P_{out}}$$

Keterangan:

SFC= konsumsi bahan bakar spesifik (L/kWh)

Q_f= konsumsi bahan bakar (L/jam)

P_{out}= daya keluaran mesin (kW)

Semakin kecil nilai SFC, semakin efisien mesin diesel bekerja.

2.4.1 Interpretasi SFC

Nilai SFC memberikan gambaran tentang efisiensi mesin dalam penggunaan bahan bakar. *Interpretasi* nilai SFC adalah sebagai berikut:

- Nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) yang tinggi menunjukkan bahwa efisiensi mesin rendah, yang umumnya terjadi pada kondisi beban rendah.
- Nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) yang rendah menunjukkan bahwa efisiensi mesin tinggi, yang umumnya terjadi pada kondisi beban optimal.

Pada mesin diesel Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), efisiensi terbaik umumnya terjadi pada beban 70–85% kapasitas maksimum.

2.4.2 Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)

Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) merupakan parameter yang digunakan untuk menunjukkan seberapa banyak bahan bakar yang dibutuhkan mesin diesel untuk menghasilkan energi listrik pada tingkat beban tertentu. Nilai BSFC menjadi indikator utama dalam menentukan efisiensi kerja mesin, di mana semakin kecil nilai BSFC, maka semakin efisien mesin dalam memanfaatkan bahan bakar. Dalam konteks pembangkit listrik tenaga diesel, BSFC sangat dipengaruhi oleh perubahan beban operasi. Pada beban rendah, nilai BSFC cenderung tinggi karena mesin belum bekerja pada titik efisiensi optimal. Sebaliknya, pada beban menengah hingga mendekati beban nominal, nilai BSFC biasanya menurun yang menandakan peningkatan efisiensi pembakaran dan penggunaan bahan bakar. Oleh karena itu, BSFC menjadi variabel penting dalam penelitian ini untuk memahami hubungan antara variasi beban operasi, konsumsi bahan bakar, serta performa mesin diesel di PLTD.

2.5 Efisiensi Termal Mesin Diesel

Efisiensi termal merupakan salah satu parameter penting dalam menilai kinerja mesin diesel. Efisiensi termal didefinisikan sebagai perbandingan antara energi keluaran (*output*) yang dihasilkan oleh mesin dengan energi masukan (*input*) yang berasal dari bahan bakar.

Pada mesin diesel, energi input berupa energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar, sedangkan energi *output* berupa energi mekanik yang dihasilkan oleh mesin untuk memutar poros dan menggerakkan generator. Semakin besar energi yang dapat dimanfaatkan dari bahan bakar, maka semakin tinggi efisiensi termal mesin tersebut.

Efisiensi termal menunjukkan seberapa efektif mesin dalam mengubah energi bahan bakar menjadi energi yang berguna.

Rumusnya adalah:

$$\eta_{thermal} = \frac{P_{out}}{m_f \times LHV} \times 100\%$$

Keterangan:

η_{th} = efisiensi termal (%),

P_{out} = daya keluaran mesin (kW),

m_f = laju aliran massa bahan bakar (kg/s),

LHV = nilai kalor bawah bahan bakar (kJ/kg).

2.5.1 Konsep Efisiensi Termal pada Mesin Diesel

Pada mesin diesel, tidak seluruh energi dari bahan bakar dapat diubah menjadi energi mekanik. Sebagian energi hilang dalam bentuk:

- Panas yang terbuang melalui gas buang
- Kehilangan panas pada sistem pendingin
- Gesekan antar komponen mesin
- Kehilangan energi akibat pembakaran tidak sempurna

Oleh karena itu, efisiensi termal selalu bernilai kurang dari 100%.

2.5.2 Parameter yang Mempengaruhi Efisiensi Termal

Efisiensi termal mesin diesel dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Rasio Kompresi

Semakin tinggi rasio kompresi, maka temperatur udara semakin tinggi sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna dan efisiensi meningkat.

2. Kualitas Bahan Bakar

Bahan bakar dengan nilai kalor tinggi menghasilkan energi lebih besar sehingga meningkatkan efisiensi mesin.

Pada penggunaan bahan bakar B40, nilai kalor lebih rendah dibandingkan solar murni sehingga dapat menurunkan efisiensi termal.

3. Beban Operasi

Efisiensi mesin diesel sangat dipengaruhi oleh beban operasi:

- a. Kondisi beban yang rendah pada mesin menyebabkan efisiensi kerja menjadi rendah sehingga kinerja pembangkit tidak optimal.
- b. Kondisi beban optimal, yaitu sekitar $\pm 75\%$ dari kapasitas mesin, menghasilkan efisiensi maksimum sehingga kinerja pembangkit menjadi paling optimal.
- c. Kondisi beban yang terlalu tinggi dapat menyebabkan efisiensi mesin menurun sehingga kinerja pembangkit menjadi kurang optimal.

4. Kondisi Mesin

Mesin yang tidak terawat akan mengalami penurunan efisiensi akibat gesekan yang tinggi dan pembakaran yang tidak sempurna.

5. Sistem Pembakaran

Proses pembakaran yang baik akan menghasilkan energi yang lebih maksimal sehingga meningkatkan efisiensi.

2.5.3 Hubungan Efisiensi Termal dengan SFC

Efisiensi termal merupakan salah satu parameter utama dalam mengevaluasi kinerja mesin diesel, khususnya pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Efisiensi termal didefinisikan sebagai perbandingan antara energi keluaran yang dihasilkan oleh mesin dengan energi masukan yang berasal dari bahan bakar yang dibakar di dalam ruang bakar. Energi keluaran umumnya berupa energi mekanik yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh generator, sedangkan energi masukan berasal dari energi kimia bahan bakar yang dinyatakan dalam nilai kalor bahan bakar.

Secara matematis, efisiensi termal dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta_{th} = \frac{P_{out}}{\dot{m}_f \times LHV}$$

di mana η_{th} adalah efisiensi termal, P_{out} adalah daya keluaran, $\dot{m}_f$ adalah laju aliran massa bahan bakar, dan LHV adalah nilai kalor bawah bahan bakar (Lower Heating Value). Persamaan ini menunjukkan bahwa efisiensi termal bergantung pada kemampuan mesin dalam mengonversi energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik yang berguna.

Di sisi lain, *Specific Fuel Consumption* (SFC) merupakan parameter yang menunjukkan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan energi keluaran. SFC biasanya dinyatakan dalam satuan liter per kilowatt-jam (L/kWh) atau kilogram per kilowatt-jam (kg/kWh). Nilai SFC memberikan gambaran mengenai tingkat konsumsi bahan bakar mesin dalam menghasilkan energi listrik. Semakin kecil nilai SFC, maka semakin efisien penggunaan bahan bakar oleh mesin tersebut.

2.5.4 Pengaruh Beban terhadap Efisiensi Termal

Efisiensi termal mesin diesel cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban hingga mencapai titik optimal. Pada kondisi ini, pembakaran berlangsung lebih sempurna dan energi yang dihasilkan lebih maksimal.

Namun, pada beban maksimum, efisiensi dapat menurun akibat peningkatan kehilangan energi dan keterbatasan sistem pembakaran.

2.5.5 Pengaruh Bahan Bakar B40 terhadap Efisiensi

Penggunaan bahan bakar B40 pada mesin diesel memberikan pengaruh terhadap efisiensi termal. Hal ini disebabkan oleh nilai kalor bahan bakar B40 yang lebih rendah dibandingkan solar murni.

Akibatnya, energi yang dihasilkan dari setiap satuan bahan bakar menjadi lebih kecil sehingga efisiensi dapat menurun. Namun, kandungan oksigen pada biodiesel dapat membantu proses pembakaran menjadi lebih sempurna.

2.6 Penelitian Terdahulu

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

1. Menurut Marhaini dkk. (2022), dalam jurnal yang berjudul “Analisa Efisiensi Bahan Bakar dan Dampak Lingkungan Emisi Gas Buang Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Terhadap Pembangkit Listrik Mesin Gas (PLTMG)”, penelitian ini bertujuan membandingkan efisiensi konsumsi bahan bakar antara PLTD berbahan bakar solar dan PLTMG berbahan bakar LNG pada kondisi pembebanan 50% dan 75%. Penelitian menunjukkan bahwa nilai Specific Fuel Consumption (SFC) PLTD pada beban 50% sebesar 0,266 L/kWh, sedangkan pada beban 75% sebesar 0,253 L/kWh, yang keduanya masih berada dalam batas standar SPLN 79:1987. Nilai SFC PLTMG juga dianalisis dan ditemukan lebih rendah dibandingkan PLTD, sehingga efisiensi pembangkitan meningkat. Selain itu, hasil pengukuran emisi gas buang memperlihatkan bahwa PLTMG menghasilkan emisi lebih kecil (NO_2 , SO_2 , CO, partikulat) sehingga lebih ramah lingkungan dibandingkan PLTD. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi beban operasi berpengaruh terhadap nilai SFC dan efisiensi bahan bakar, serta menguatkan bahwa pembebanan yang lebih tinggi (mendekati 75%) dapat menghasilkan efisiensi yang lebih baik. Temuan ini relevan sebagai pembanding dalam menganalisis hubungan antara beban operasi dan konsumsi bahan bakar pada mesin diesel PLTD Tuapejat.
2. Menurut Wiji Susilo dan Suhariyanto (2025), dalam jurnal berjudul “Penentuan Pola Operasi Berdasarkan Analisis Beban Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Diesel di Pulau Gili Iyang”, penelitian ini bertujuan menentukan pola operasi mesin PLTD yang paling efisien berdasarkan pengamatan beban, konsumsi bahan bakar, serta nilai Specific

Fuel Consumption (SFC). Penelitian dilakukan pada PLTD Gili Iyang yang beroperasi dalam sistem isolated dengan tiga unit mesin diesel. Berdasarkan pengukuran lapangan pada 14 Mei 2023, beban puncak tercatat sebesar 416 kW dan beban terendah sebesar 74 kW, dengan konsumsi BBM bervariasi antara 20–116,9 liter per jam. Dari data pengukuran harian tersebut, nilai SFC unit 1 berkisar antara 0,2418–0,2817 L/kWh, dengan rata-rata 0,2604 L/kWh, sedangkan unit 2 memiliki rata-rata SFC lebih tinggi yaitu 0,3219 L/kWh, menunjukkan bahwa unit 1 bekerja lebih efisien dibandingkan unit 2. Berdasarkan karakteristik beban dan kebutuhan daya, penulis menghitung daya ideal PLTD sebesar 1500 kVA untuk memenuhi peningkatan pelanggan dan menjaga keandalan sistem. Selanjutnya dilakukan perbandingan empat pola operasi mesin. Dari hasil perhitungan kebutuhan BBM harian, pola operasi ke-1 (mengoperasikan satu mesin utama berkapasitas 656 kW) menghasilkan konsumsi bahan bakar terendah yaitu 1559,54 liter/hari dengan biaya produksi Rp 2.807,11/kWh. Namun pola operasi ke-4 (menggunakan tambahan mesin baru) memberikan kombinasi terbaik antara keandalan dan efisiensi dengan konsumsi 1.599,86 liter/hari dan biaya Rp 2.879,69/kWh.

3. Menurut Syamsul Hidayat dkk. (2023), dalam jurnal berjudul “Analisis Efektivitas Penggunaan Marine Fuel Oil (MFO) terhadap Parameter Siklus Kerja Performa Mesin Diesel pada PT Sumber Rejeki Power, Sumbawa Besar”, penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas penggunaan MFO sebagai bahan bakar mesin diesel berdasarkan profil beban, konsumsi bahan bakar, nilai Specific Fuel Consumption (SFC), serta biaya operasional pembangkit. Penelitian dilakukan melalui pengujian lapangan pada PLTD Boak, Sumbawa Besar, dengan pengumpulan data konsumsi bahan bakar dan beban mesin selama 24 jam. Dari Gambar 2 dan Gambar 3–5 halaman 4, terlihat bahwa profil beban harian berfluktuasi antara 23–27 MW untuk sistem dan sekitar 7–8 MW untuk tiap unit pembangkit. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel MFO halaman 5, total pemakaian bahan bakar MFO mencapai 137.875 liter per hari.

Tabel 2.1 Penelitian

No	Penelitian dan Tahun	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Variabel yang Diteliti	Hasil Penelitian
1	Heywood (2018)	<i>Internal Combustion Engine Fundamentals</i>	Studi literatur	Beban, konsumsi BBM	Konsumsi bahan bakar dipengaruhi oleh beban dan kondisi operasi mesin
2	Ferguson & Kirkpatrick (2015)	<i>Applied Thermosciences</i>	Analisis teoritis	Beban, efisiensi	Efisiensi meningkat seiring kenaikan beban hingga titik optimal
3	Stone (2012)	<i>Introduction to Internal Combustion Engines</i>	Studi literatur	SFC, daya	SFC minimum terjadi pada beban menengah
4	Çengel & Boles (2015)	<i>Thermodynamics</i>	Analisis termodinamika	Efisiensi termal	Efisiensi dipengaruhi rasio kompresi dan temperatur
5	Lapuerta et al. (2008)	<i>Effect of Biodiesel</i>	Eksperimen	Biodiesel, konsumsi BBM	Biodiesel meningkatkan konsumsi BBM namun
6	Knothe et al. (2010)	<i>Biodiesel Handbook</i>	Studi literatur	Bahan bakar biodiesel	Biodiesel memiliki nilai kalor lebih rendah
7	Penelitian sebelumnya	Pengaruh Beban pada Mesin Diesel	Eksperimen	Beban, SFC	SFC minimum pada beban $\pm 75\%$
8	Penelitian lapangan PLTD	Analisis Konsumsi BBM	Observasi	Beban, efisiensi	Beban optimal meningkatkan efisiensi

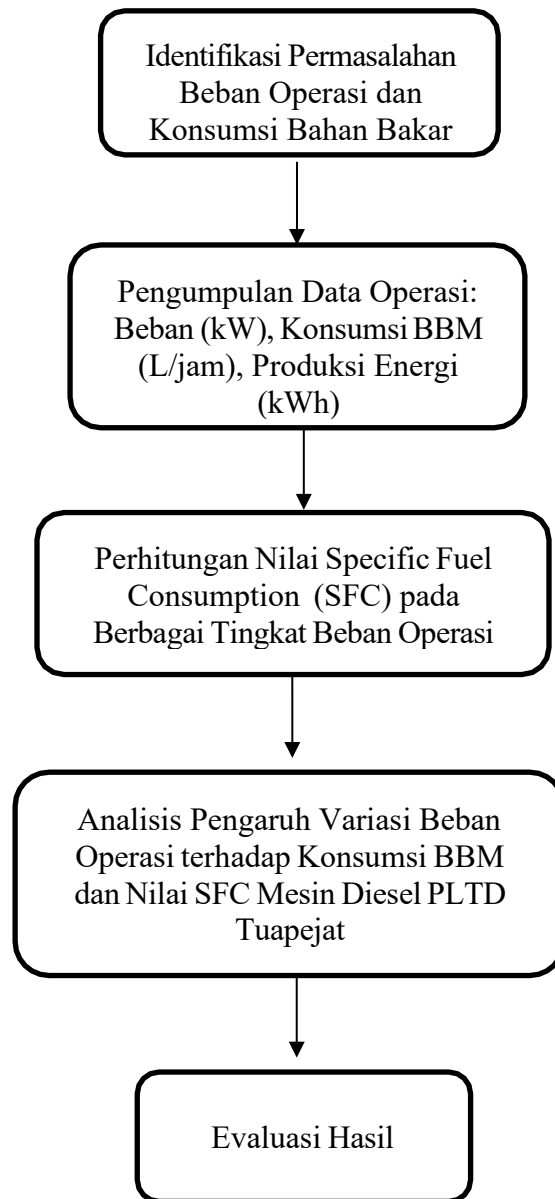
Berdasarkan Tabel 2.1, dapat diketahui bahwa sebagian besar penelitian menunjukkan bahwa beban operasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap konsumsi bahan bakar,

nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC), dan efisiensi termal mesin diesel. Nilai SFC cenderung menurun hingga mencapai titik optimal pada beban menengah, sedangkan efisiensi mesin meningkat hingga mencapai kondisi optimum.

Selain itu, penggunaan bahan bakar biodiesel seperti B40 menunjukkan adanya peningkatan konsumsi bahan bakar akibat nilai kalor yang lebih rendah, namun memberikan keuntungan berupa emisi yang lebih ramah lingkungan.

Penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian sebelumnya karena dilakukan pada kondisi operasional nyata di PLTD Tuapejat dengan menggunakan bahan bakar B40, sehingga hasil yang diperoleh lebih representatif terhadap kondisi lapangan.

2.7 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.14 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini disusun sebagai dasar untuk memahami hubungan antara perawatan mesin diesel dengan konsumsi bahan bakar dan efisiensi termal pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). PLTD merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak utama generator. Dalam operasionalnya, efisiensi penggunaan bahan bakar menjadi faktor penting karena berpengaruh langsung terhadap kinerja mesin dan biaya operasional pembangkit.

Salah satu parameter yang digunakan untuk menilai efisiensi penggunaan bahan bakar adalah *Specific Fuel Consumption* (SFC), yaitu jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik per satuan kilowatt-jam (kWh). Nilai SFC yang rendah menunjukkan bahwa mesin bekerja secara efisien karena mampu menghasilkan energi dengan konsumsi bahan bakar yang lebih sedikit. Sebaliknya, nilai SFC yang tinggi menunjukkan bahwa mesin kurang efisien dan cenderung boros dalam penggunaan bahan bakar. Selain SFC, efisiensi termal juga digunakan sebagai indikator kinerja mesin diesel. Efisiensi termal merupakan perbandingan antara energi keluaran yang dihasilkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar. Semakin tinggi efisiensi termal, maka semakin besar energi bahan bakar yang dapat dimanfaatkan menjadi energi mekanik atau listrik. Hubungan antara efisiensi termal dan SFC bersifat berbanding terbalik, di mana semakin kecil nilai SFC maka efisiensi termal akan semakin besar, dan sebaliknya.

Dalam operasional mesin diesel, nilai SFC dan efisiensi termal sangat dipengaruhi oleh kondisi mesin dan beban operasi. Mesin yang tidak terawat dengan baik akan mengalami penurunan performa, seperti pembakaran yang tidak sempurna, peningkatan gesekan antar komponen, serta gangguan pada sistem bahan bakar dan udara. Hal tersebut menyebabkan konsumsi bahan bakar meningkat dan efisiensi termal menurun. Oleh karena itu, perawatan mesin diesel menjadi faktor penting dalam menjaga kinerja mesin tetap optimal.

Beban operasi juga mempengaruhi efisiensi mesin. Pada beban rendah, proses pembakaran tidak berlangsung optimal sehingga nilai SFC cenderung tinggi dan efisiensi termal rendah. Sebaliknya, pada beban optimal, yaitu sekitar 70% hingga 80% dari kapasitas mesin, pembakaran berlangsung lebih sempurna sehingga SFC menurun dan efisiensi termal meningkat. Namun, pada beban yang terlalu tinggi, efisiensi dapat kembali menurun akibat peningkatan kerugian energi.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perawatan mesin diesel terhadap konsumsi bahan bakar (SFC) dan efisiensi termal pada PLTD Tuapejat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah perawatan mesin dan kondisi operasi, sedangkan variabel terikat adalah nilai SFC dan efisiensi termal. Dengan adanya perawatan yang optimal, diharapkan nilai SFC dapat menurun dan efisiensi termal meningkat, sehingga kinerja mesin diesel menjadi lebih efisien dan penggunaan bahan bakar lebih hemat.