

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian yang Relevan

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 :

1. **Menurut Andi Iriyanto, Babang Priyono. 2021, dalam jurnal yang berjudul “Analisa Fractography dan Kegagalan Fuel Injection Valve Diesel Power Plant PT.XYZ Area Bali”** menyatakan bahwa kegagalan pembakaran pada ruang bakar disebabkan oleh terjadinya keretakan pada injection valve, yang mengakibatkan turunya performa engine. Awal keretakan pada injection valve terjadi karena adanya fenomena fatigue stress material yang melemah disebabkan oleh beban siklik.
2. **Menurut Yolanda J.Lewerisa, Hasbi Assidiq S, Marlon Hetharia. 2022. “Analisis Efisiensi Thermal Mesin Diesel Menggunakan Cyclepad”** menyatakan bahwa cyclepad sangat cocok digunakan dimesin diesel dikarenakan alat ini dapat menampilkan hasil numerik nilai P-v, T-s dan diagram P-v dan T-s, hal ini dapat menganalisa dan mendesain sistem termodinamika lebih mudah dan cepat dari perangkat lain. Seperti contoh penggunaan pada mesin diesel type Volvo Penta D9-MH menghasilkan perhitungan efisiensi termal sebesar 58,43 % sesuai dengan apa yang diharapkan .
3. **Menurut A. Candra. 2019, dalam jurnal yang berjudul “Optimasi Preventive Maintenance dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)”** menyatakan bahwa mengoptimalkan jadwal preventive maintenance berdasarkan prinsip reliability centered maintenance (RCM) guna menurunkan frekuensi kegagalan mesin.

4. **Menurut Win Alfalah, Sudirmanto, Samsurizal 2023, dalam jurnal yang berjudul “Analisa Penurunan Tekanan Oli Pada Mesin PLTD Bitung”** menyatakan bahwa apabila kadar air yang masuk kedalam mesin bercampur dengan oli di ruang bakar akan menyebabkan terjadinya slug (seperti lumpur) akibat reaksi antara kadar air di udara dengan oli. Slug ini yang membuat kekentalan oli di dalam mesin meningkat, sehingga memperlambat aliran oli dalam mesin .
5. **Menurut Grymman Harindah. 2024, dalam jurnal yang berjudul “Implementasi Pemeliharaan Prediktif Berbasis Analisis Getaran Menggunakan Standar Iso 10816 Pada Mesin Diesel di PLTD Tobelo”** menyatakan bahwa implementasi pemeliharaan prediktif melalui analisis vibrasi terbukti efektif dalam mendeteksi dan mencegah potensi masalah sebelum terjadi kegagalan serius. Monitoring rutin terhadap frekuensi dominan dan amplitudo getaran memungkinkan identifikasi dini terhadap masalah vibrasi yang berkembang

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

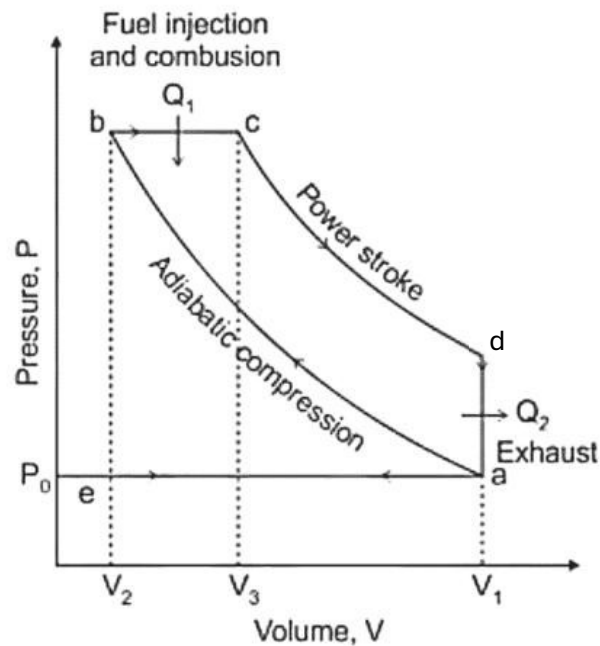
Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) menggunakan motor diesel sebagai sebuah sumber tenaga penggerak utama, memiliki prinsip yang hampir sama dengan motor bensin, dimana energy dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar. Ada beberapa perbedaan utama antara karakteristik mesin bensin dan mesin diesel. Mesin diesel menggunakan prinsip *auto-ignition* (terbakar sendiri). Sedangkan mesin bensin menggunakan prinsip *spark-ignition* (pembakaran yang dipicu oleh percikan api pada busi). Oleh karenanya motor diesel sering juga disebut "*compression ignition engine*".

Untuk mencapai suhu dan tekanan pembakaran, tekanan kompresi pada mesin diesel diusahakan mampu mencapai $30 \pm 45 \text{ kg/cm}^2$, agar *temperature* udara yang dikompresikan kurang lebih mencapai 400°C , sehingga bahan bakar mampu terbakar dengan sendirinya tanpa dipicu oleh letikan bunga api busi. Untuk dapat mencapai tekanan dan *temperature* yang demikian, motor diesel harus memiliki perbandingan kompresi yang lebih tinggi kira-kira mencapai 25:1 dan membutuhkan gaya yang lebih besar untuk memutarinya, Sehingga motor diesel memerlukan alat pemutar seperti motor starter dan baterai yang berkapasitas besar pula. Disamping itu motor diesel memiliki efisiensi panas yang sangat tinggi, hemat konsumsi bahan bakar, memiliki kecepatan yang rendah dibanding mesin bensin, getarannya sangat besar dan agak berisik, momen yang didapatkan lebih besar, sehingga motor ini umumnya digunakan pada kendaraan niaga, kendaraan penumpang dan sebagai motor penggerak lainnya.

Karena tekanan pembakaran yang tinggi, maka mesin diesel harus dibuat dari bahan yang tahan terhadap tekanan tinggi dan harus mempunyai struktur yang kuat. Disamping itu getaran motor yang dihasilkan sangat besar, ini diakibatkan oleh tekanan pembakaran maksimum yang dicapai hampir dua kali lipat lebih besar dari pada motor bensin, sehingga suara dan getaran mesin diesel menjadi lebih besar. Teknologi mesin diesel terus mengalami penyempurnaan sehingga menjadi lebih ramah lingkungan [9].

Mesin diesel dibagi menjadi 2 (dua) tipe, yaitu mesin diesel 2 langkah dan mesin diesel 4 langkah. Mesin diesel 2 langkah adalah mesin yang setiap langkahnya terjadi satu kali langkah bertenaga dengan dorongan gas hasil ledakan/pembakaran. Secara teoritis mesin 2 Langkah dengan dimensi dan jumlah putaran per detik yang sama seperti pada mesin 4 langkah, maka mesin 2 langkah ini akan menghasilkan daya 2 kali lebih besar. Namun dalam praktiknya, angka 2 kali lebih besar untuk daya yang didapat pada mesin diesel 2 langkah tidak tercapai (hanya sekitar 1,8 kali). Hal ini disebabkan karena pembilasan ruang bakar silinder mesin diesel 2 langkah tidak sebersih pada mesin diesel 4 langkah, sehingga proses pembakarannya tidak sempurna seperti pada mesin diesel 4 langkah. Maka efisiensi mesin 2 langkah ini tidak sebaik efisiensi pada mesin diesel 4 langkah. Pada pemakaian bahan bakarnya pun lebih boros dibanding mesin diesel 4 langkah. Mesin 2 langkah ini biasanya lebih cocok digunakan pada keperluan yang memerlukan penghematan ruangan, seperti pada lokomotif kereta api atau pada kapal laut.

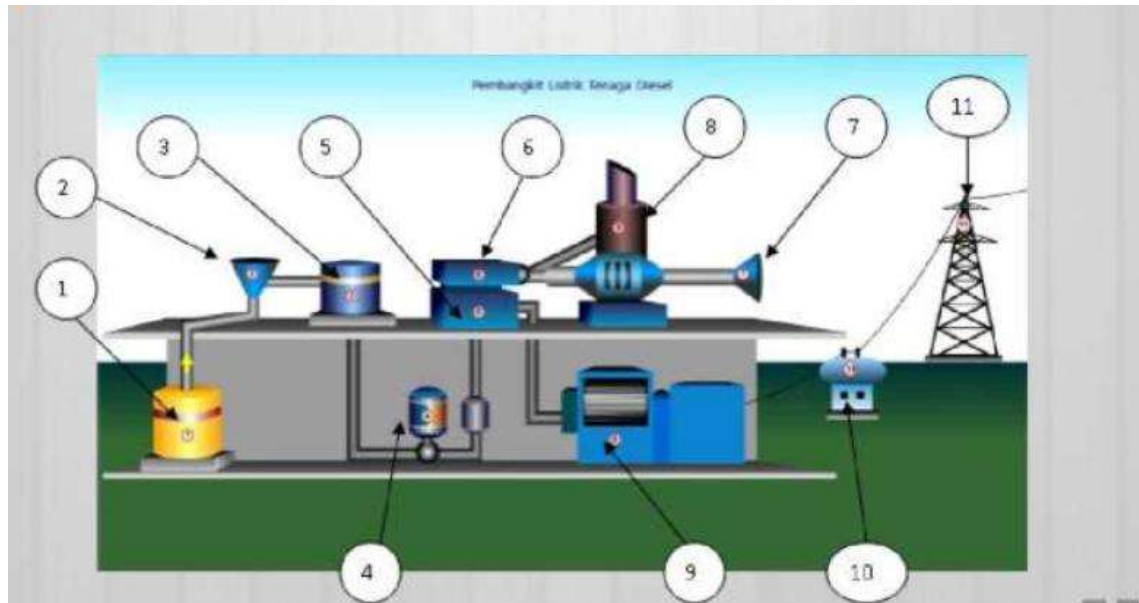
Mesin diesel 4 langkah merupakan mesin yang setiap 4 langkah terjadi satu kali langkah bertenaga dengan dorongan gas hasil pembakaran. Atau dengan kata lain prinsip kerja mesin diesel 4 langkah adalah proses kerja mesin untuk menghasilkan 1 kali pembakaran (usaha/kerja) torak bergerak 4 kali. Gerakan torak yang menghasilkan kerja atau usaha berlangsung secara beruntun dan terus menerus maka kegiatan untuk menghasilkan kerja/usaha tersebut siklus. Proses pembakaran pada mesin diesel 4 langkah lebih sempurna daripada mesin diesel 2 langkah, karena pada proses pembilasan ruang bakar di silinder mesinnya bersih. Pada mesin diesel 4 langkah pemakaian bahan bakarnya lebih hemat dibandingkan dengan mesin diesel 2 langkah.



Gambar 2.1. Diagram P-V

Ketenganan proses pada gambar 2.1 di atas sebagai berikut :

1. Langkah hisap (e - a) merupakan proses tekanan konstan
2. Langkah kompresi (a - b) merupakan proses isentropic.
3. Proses pembakaran pada tekanan konstan (b - c) dimana pada langkah ini bahan bakar diinjeksikan ke dalam ruang bakar
4. Langkah kerja (c - d) merupakan proses isentropic
5. Langkah pembuangan (d - a) dianggap sebagai proses pengeluaran kalor pada volume konstan.
6. Langkah buang (a - e) terjadi pada tekanan konstan



Gambar 2.2 Siklus PLTD

Keterangan :

1. Tangki penyimpanan BBM
 2. Penyaring BBM
 3. Tangki BBM Harian
 4. Pengabut
 5. Mesin Diesel
 6. Turbocharger
 7. Penyaring Gas pembuangan
 8. Silincer
 9. Generator
 10. Trafo
 11. Saluran transmisi
1. Bahan bakar awalnya berada di dalam tangki penyimpanan, kemudian disaring dan dipompa atau dialirkan menuju ke tangki penyimpanan sementara (daily tank). Jika menggunakan bahan bakar minyak, maka akan dialirkan ke nozzle dari daily tank tersebut.

Bahan bakar yang sudah berada di nozzle atau conversion kit selanjutnya diinjeksi ke dalam ruang bakar dan bertemu dengan udara. Silinder ruang bakar ini memiliki tekanan yang tinggi, yaitu 35 hingga 50 atm. Karena tekanan udara yang sangat tinggi ini, suhu udara di dalam silinder pun naik. Pada saat inilah bahan bakar akan disemprotkan masuk ke dalam silinder. Temperatur dan tekanan tinggi pada silinder yang melebihi titik nyala membuat bahan bakar pun menyala secara otomatis dan terjadi “ledakan”.

2. Ledakan yang terjadi di silinder atau ruang pembakaran tadi mampu membuat piston atau torak bergerak. Di bagian poros engkol, gerakan ini diubah menjadi energi mekanis. Piston dapat bergerak bolak-balik karena tekanan gas dari hasil pembakaran dan udara mendorongnya.

Gerak bolak-balik (reciprocating) piston ini dihubungkan ke poros engkol atau crank shaft untuk diubah menjadi gerak rotasi. Poros rotor generator digerakkan oleh poros engkol. Di generator, energi mekanis ini diubah lagi menjadi gaya gerak listrik atau GGL.

3. Generator mampu menghasilkan listrik, tapi tegangannya belum cukup besar. Sehingga diperlukan trafo step up untuk menaikkan tegangannya sehingga energi listrik bisa sampai ke beban. Trafo bekerja berdasarkan hukum ampere dan hukum faraday. Energi listrik dikirimkan ke beban menggunakan saluran transmisi energi. Setelah sampai ke titik beban, tegangan listrik kembali diturunkan, kali ini menggunakan trafo step down.

2.2.2 Karakteristik Bahan Bakar Minyak (BBM) PLTD Ampenan

Bahan bakar merupakan suatu bahan zat atau material yang digunakan untuk melakukan proses pembakaran yang menghasilkan energi. Bahan bakar dapat berbentuk padatan, cairan atau gas. Bahan bakar umumnya digunakan dalam sektor transportasi, industri, pertamina dan keperluan rumah tangga. Bahan bakar ini dapat berfungsi menjalankan mesin atau menghasilkan panas atau listrik. Bahan bakar diesel adalah salah satu jenis produk pengolahan minyak bumi atau

dapat disebut dengan minyak mentah. Minyak diesel atau solar pada kilang minyak, dihasilkan setelah fraksi-fraksi ringan minyak dipisahkan. Bahan bakar diesel adalah hidrokarbon yang mengandung senyawa antara hydrogen dan carbon, seperti benzine, pentane, hexane, toluene, dan butane. Pada mesin diesel menggunakan bahan bakar yang menggunakan unsur berdasarkan angka setana atau cetane number (CN). Angka setana merupakan ukuran yang menunjukkan kualitas dari bahan bakar mesin diesel. Dimana angka setana tinggi akan mempermudah dalam terbakarnya bahan bakar pada saat kompresi.

Bahan bakar mesin diesel atau gasoil merupakan jenis bahan bakar menggunakan unsur yang dibedakan berdasarkan angka setana atau cetane number (CN). Angka setana adalah ukuran unjuk kerja penyalaan pada bahan bakar, dengan angka setana yang tinggi dapat memperkecil waktu keterlambatan penyalaan bahan bakar. Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan jenis bahan bakar yang berasal dari minyak bumi. Bahan bakar adalah sumber energi yang penting dalam berbagai sektor kehidupan manusia, seperti transportasi yaitu kendaraan bermotor, pesawat terbang, kapal), pembangkit Listrik, industri dan lain-lain. Bahan bakar yang digunakan untuk mesin diesel di PLTD Ampenan ada dua jenis yaitu:

1. *High Speed Diesel* (HSD)

High speed diesel (HSD) adalah jenis bahan bakar solar kualitas tinggi hasil penyulingan minyak mentah, berwarna coklat jernih, yang dirancang khusus untuk mesin diesel berkecepatan tinggi (>1000 RPM). Umumnya digunakan untuk alat berat, genset, kapal laut, dan mesin industri. HSD memiliki *cetane number* tinggi, viskositas rendah, dan sulfur rendah, menghasilkan pembakaran yang lebih bersih dan efisien.

2. Biosolar

Biosolar merupakan jenis bahan bakar yang memiliki angka setana 48 dan mengandung sulfur 3.500 ppm. Biosolar adalah jenis bahan bakar alternatif yang tercipta atau terbuat dari campuran bahan bakar fosil yaitu bahan bakar solar

(diesel) dengan bahan jenis organik yang disebut sebaga biomassa, seperti minyak kelapa sawit, limbah tumbuhan datau sampah organik. Biosolar merupakan bahan bakar destilasi dengan kandungan minyak nabati atau Biodiesel yang memiliki besar campuran sesuai dengan regulasi Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 12 Tahun 2015 yaitu B30 pencampuran 30% biodiesel dan 70% solar untuk menghasilkan produk Biosolar B30. Bahan bakar ini digunakan pada mesin diesel dengan putaran tinggi pada sektor kendaraan komersil, pertambangan, perkapalan, dan lain sebagainya.

3. *Marine Fuel Oil* (MFO)

Marine Fuel Oil (MFO) adalah minyak bakar bukan merupakan produk hasil destilasi, tapi hasil dari jenis residu yang berwarna hitam. Minyak jenis ini memiliki tingkat kekentalan yang tinggi dibandingkan minyak diesel. Sehingga pemanfaatan MFO sebagai bahan bakar tidak dapat diaplikasikan secara langsung, akan tetapi harus melalui proses *treatment* yang bertujuan untuk menurunkan viskositas atau kekentalan dan penyeragaman ukuran partikel bahan bakar (untuk menghindari sumbatan pada *nozzle*).

2.2.3 Prinsip Kerja PLTD

Mesin diesel empat langkah beroperasi melalui empat gerakan utama (dua putaran poros engkol) untuk menghasilkan satu siklus kerja. Secara umum, proses kerja mesin diesel empat langkah dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Langkah Isap

Katup hisap terbuka, dan piston bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB). Akibatnya, poros engkol berputar 180°. Tekanan di dalam silinder berkurang, sehingga udara dari luar dapat mengalir ke dalam silinder karena perbedaan tekanan.

2. Langkah Kompresi

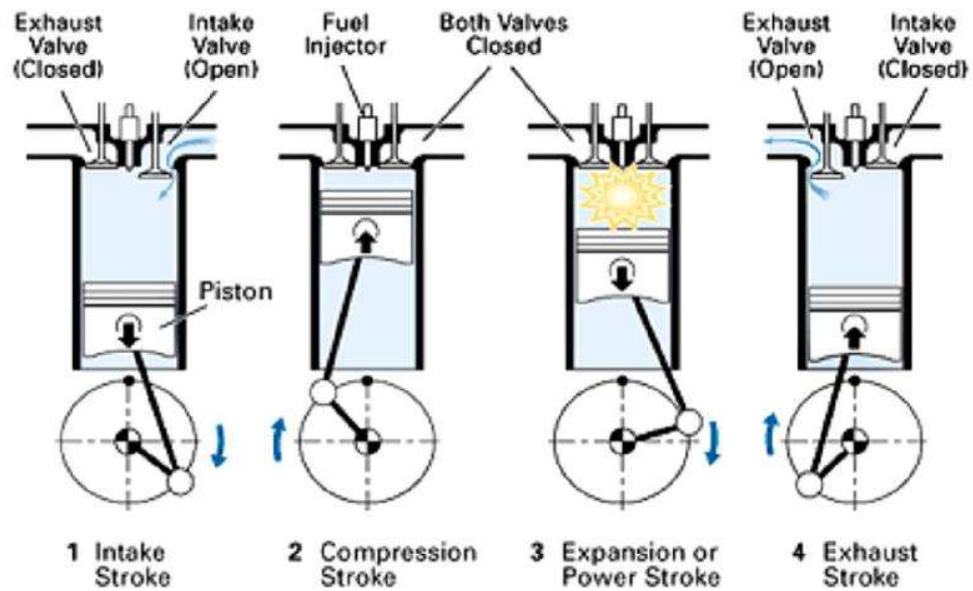
Selama tahap ini, katup hisap dan katup buang tetap tertutup. *Piston* kemudian bergerak dari titik mati bawah (TMA) ke titik mati atas (TMA), dengan poros engkol melanjutkan putaran 180°-nya kembali. Udara di dalam silinder dikompresi dengan kuat di atas *piston*, menyebabkan suhu udara meningkat secara signifikan.

3. Langkah Daya

Selama tahap ini, katup hisap dan katup buang tetap tertutup. Pada akhir langkah kompresi, pompa injeksi bahan bakar bertekanan tinggi menginjeksikan bahan bakar pada kondisi optimal ke udara terkompresi melalui *atomizer*. Bahan bakar ini dipecah menjadi partikel-partikel halus dan dicampur dengan udara panas.

4. Langkah Buang

Pada akhir langkah, katup buang terbuka. *Piston* bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), mendorong gas hasil pembakaran keluar melalui katup buang yang kini terbuka. Secara keseluruhan, pada mesin diesel empat langkah, katup masuk dan katup buang bekerja secara bersamaan untuk menutup dan hanya menghasilkan daya selama putaran 180° [10].



Gambar 2.3 Siklus Mesin Diesel

2.2.4 Komponen Utama Pada PLTD

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) merupakan mesin yang memanfaatkan *internal combustion* yang dimana membakar campuran bahan bakar-udara dalam silinder untuk menggerakkan crankshaft, crankshaft berputar yang dikopel dengan generator yang sehingga menjadi energi listrik. Mesin ini terdiri dari beberapa komponen utama yaitu :



Gambar 2.4. Mesin Diesel New Sulzer 12 ZAV 40 S

Sumber Gambar : (Pribadi)

a. *Cylinder Block (Frame)*



Gambar 2.5 *Cylinder Block*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Cylinder block adalah komponen utama motor bakar baik 2 tak maupun 4 tak. Komponen ini menjadi sebuah komponen *primer* untuk meletakkan berbagai *engine compartement* yang mendukung proses kerja mesin. Seperti yang bisa kita lihat pada gambar diatas, bentuk *cylinder block* tiap mesin pada umumnya sama namun pada detailnya pasti berbeda. Hal itu dikarenakan pembuatan detail *cylinder block* disesuaikan dengan beberapa komponen yang akan menempel pada blok ini [11].

b. *Crankshaft*



Gambar 2.6. *Crankshaft*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Crankshaft berfungsi untuk mengubah gerak lurus menjadi gerak bolak balik atau berputar. Pada *crankshaft* poros berputar di mana output kerja disuplai ke sistem akhir. *Crankshaft* terhubung ke blok mesin dengan *bearing* utama. *Crankshaft* berputar karena dorongan oleh *piston* yang terhubung oleh *connecting rod*.

c. *Connecting rods*



Gambar 2.7. *Connecting Rods*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Connecting rods berfungsi sebagai penerus tekanan piston ke *crankshaft* dan meneruskan putaran dari *crankshaft* ke *piston*.

d. *Camshaft*



Gambar 2.8. *Camshaft*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Camshaft berfungsi sebagai pengubah gerak putar menjadi gerak lurus dan sebagai pembuka dan penutup katup yang digerakkan dari *crankshaft* oleh *chain drive* atau roda gigi pada bagian depan mesin. *Camshaft* juga berfungsi sebagai penggerak *injection pump*.

e. *Vibration Damper*



Gambar 2.9. *Vibration Damper*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Vibration damper berfungsi sebagai pengurang getaran pada rotasi *crankshaft*.

f. *Fly Wheel*



Gambar 2.10. *Fly Wheel*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Flywheel berfungsi untuk menyimpan atau meredam perubahan kecepatan putaran mesin sehingga memperlancar putaran mesin.

g. *Piston*



Gambar 2.11. *Piston*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Piston adalah sumbat geser yang terpasang di dalam sebuah silinder mesin pembakaran dalam [12]. *Piston* berfungsi untuk memampatkan campuran udara-bahan bakar dan menerima gaya yang diakibatkan pembakaran.

h. *Bearing*



Gambar 2.12. *Bearing*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Bearing atau bantalan berfungsi untuk mencegah terjadinya gesekan antara dua benda atau material yang berputar, pada mesin diesel New Sulzer 12 ZAV 40 S terdapat 3 (tiga) jenis *bearing*, yaitu *Main bearing*, *trust bearing* dan *crankpin bearing*.

i. *Gear Drive*



Gambar 2.12. *Gear Drive*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Gear drive ini berfungsi sebagai penerus putaran dari *crankshaft* ke *camshaft* dan pengatur gerakan membuka atau menutup katup, mengatur penyesuaian langkah *piston* dan mengatur pergerakan *injection pump*.

j. *Cylinder Head* (Kepala Silinder)



Gambar 2.13. *Cylinder Head*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Cylinder head (kepala silinder) berfungsi menahan tekanan pembakaran mesin, menutup bagian atas mesin, dan mengontrol panas dalam pembakaran, ada pun fungsi lainnya untuk sebagai struktur penopang katup keluaran dan injektor bahan bakar.

k. *Injector*



Gambar 2.14. *Injector*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Berfungsi untuk menyemprotkan bahan bakar ke dalam ruang bakar dengan waktu dan tekanan yang tepat sehingga proses pembakaran pada ruang bakar berjalan dengan lancar.

1. *Injection Pump*



Gambar 2.15. *Injection Pump*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Berfungsi untuk mengatur suplai bahan bakar kedalam silinder mesin dengan tekanan yang tepat dan pada waktu yang sesuai.

m. *Cylinder Liner*



Gambar 2.16. *Cylinder Liner*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Berfungsi sebagai tempat terjadinya pembakaran yang menghasilkan tenaga atau usaha di dalam mesin dan tempat berlangsungnya proses kerja mesin langkah isap, kompresi, usaha, buang. *Cylinder liner* terbuat dari bahan baja tuang yang baik

n. *Turbocharger*



Gambar 2.17. *Turbocharger*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Turbocharger berfungsi meningkatkan aliran massa gas yang masuk ke dalam mesin sehingga daya yang dihasilkan dapat meningkat [13]. *Turbocharger* sendiri terdiri dari sisi turbin dan sisi kompresor. Pada sisi turbin digerakan oleh gas buang *engine* yang kemudia memutar turbin. Putaran tersebut menggerakan kompresor yang terkopel sehingga meningkatkan aliran massa udara yang masuk kemesin sehingga meningkatkan efisiensi dari mesin.

o. *Intercooler*



Gambar 2.18. *Intercooler*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Intercooler ini berfungsi sebagai alat penukar kalor yang dimana udara yang dihasilkan dari turbocharger didinginkan oleh *intercooler* dan diteruskan kembali masuk mesin.

p. *Air intake Filter Udara*



Gambar 2.19. Filter Udara

Sumber Gambar : (Pribadi)

Filter udara berfungsi menyaring udara masuk untuk mencegah kotoran, partikel, dan debu masuk ke dalam mesin.

q. *Governoor*



Gambar 2.20. *Governoor*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Peralatan ini berfungsi untuk mengontrol kecepatan dari penggerak mula / utama dari kecepatan berlebihan dan menstabilkan kecepatan putaran mesin yang di inginkan, berfungsi juga sebagai pengatur beban dan babah bakar yang masuk ke mesin.

r. *Generator*



Gambar 2.21. *Generator*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Generator listrik merupakan sebuah konponen yang berdungsi untuk menghasilkan energi listrik dari suatu energi mekanik yang umumnya menggunakan induksi elektromagnetik.

2.2.5 Sistem Pendukung Mesin Diesel

Mesin diesel terdiri dari beberapa sistem pendukung atau alat bantu yaitu :

1. Sistem Pelumas

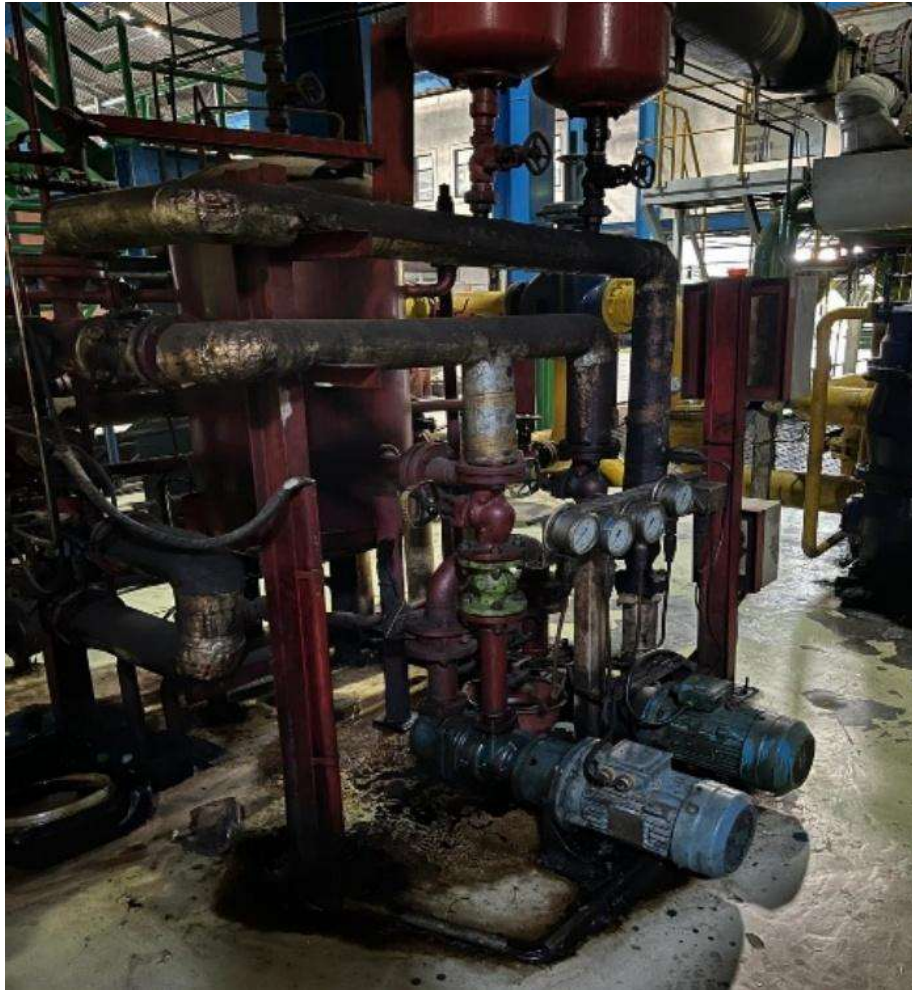


Gambar 2.22. Sistem Pelumas

Sumber Gambar : (Pribadi)

Sistem ini terdiri dari tangki oli pelumas (*sump tank*), pompa oli, filter, pendingin oli (*oil cooler*). Awalnya oli dihisap dari *sump tank* oleh pompa dan melewati filter untuk menghilangkan kotoran lalu oli dialiri pada beberapa bagian mesin seperti poros engkol dan dinding dalam ruang bakar mesin untuk mengurangi gesekan dan mencegah pengkaratan pada mesin. Pada sistem ini pendingin oli berfungsi menjaga agar temperatur oli tetap serendah mungkin. Oli yang mengalir dari tempat pelumasan kembali ke *sump tank* yang kemudian dihisap oleh pompa untuk disalurkan kembali dan seterusnya.

2. Sistem Bahan Bakar



Gambar 2.23. Sistem Bahan Bakar

Sumber Gambar : (Pribadi)

Sistem ini terdiri dari tangki bbm, pompa bbm dan filter bbm, pompa mentrasfer bbm dari tangki untuk dialirkan masuk ke dalam mesin, sebelum masuk ke dalam mesin bbm disaring dulu melalui filter bbm, untuk menghilangkan kotoran-kotoran atau partikel-partikel kecil yg ada di dalam bbm.

3. Sistem Pendingin



Gambar 2.24. Sistem Pendingin

Sumber Gambar : (Pribadi)

Sistem ini terdiri dari berbagai jenis peralatan yaitu, tangki air pendingin, pompa, radiator dan *oil cooler*. Sistem pendingin ini berfungsi untuk mengurangi panas berlebih dari mesin. Sistem ini membutuhkan pasokan air dan pompa dan tempat pembuangan panas. Saat melakukan pendinginan dimana cairan dalam system *cooling jacket* mengalir pada dinding silinder dimana tempat pendingin bersirkulasi. Panas berpindah dari dinding silinder dengan proses konveksi dan konduksi. Pendingin yang dipanaskan selama melewati *cooling jacket* didinginkan menuju radiator.

4. Sistem Udara *Start*



Gambar 2.25. Tangki Udara dan Filter Udara

Sumber Gambar : (Pribadi)

Sistem ini berfungsi sebagai udara start untuk mesin , peralatan utama udara *start* menggunakan kompresor bertekanan dan tabung udara sedangkan untuk udara masuk menggunakan filter, pengambil udara luar untuk disalurkan kedalam mesin yang dimana udara yang masuk ke dalam mesin harus melalui filter udara sebagai penyaring kotoran.

5. Sistem Gas buang (*Exhaust*)



Gambar 2.26. *Exhaust Gas Buang & Stack*

Sumber Gambar : (Pribadi)

Sistem ini berfungsi sebagai penyalur sisa gas buang dari proses pembakaran di dalam mesin untuk disalurkan ke udara melalui silincer.

6. *Water Treatment Plan* (WTP)



Gambar 2.27. *Water Treatment Plant*

Sumber Gambar (Pribadi)

Water Treatment Plan merupakan alat yang digunakan untuk mengambil air dari sumur dan PDAM, selanjutnya air tersebut akan diolah terlebih dahulu sebelum digunakan pada mesin.

2.2.6 Pemeliharaan Mesin Diesel

Definisi Pemeliharaan adalah usaha yang dilakukan secara terus menerus berupa perawatan, perbaikan dan modifikasi untuk menjaga suatu peralatan dapat berfungsi dengan andal, efisien dan mencapai umur yang diharapkan.

Tujuan pemeliharaan adalah agar pembangkit dapat beroperasi dengan keandalan yang tinggi serta mutu listrik yang baik, efisien dan daya yang optimum. Sehingga tercapai umur teknis yang diharapkan dan biaya pemeliharaan yang optimum. [9].

Ada berbagai jenis pemeliharaan yang diterapkan di pembangkit listrik mesin diesel (PLTD) yang berstandar PLN diantaranya :

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. Mengoptimalkan jadwal *preventive maintenance* berdasarkan prinsip *Reliability Centered Maintenance* (RCM) guna menurunkan frekuensi kegagalan mesin. [14]

Tabel 2.1 Kalender Pemeliharaan PLTD

NO	JENIS PEMELIHARAAN	KALENDER	JAM KERJA
1	P0	Harian	24 jam
2	P1	Mingguan	125 jam
3	P2	2 Mingguam	250 jam
4	P3	Bulanan	500 jam
5	P4	Triwulan	1.500 jam
6	P5	Semesteran	3.000 jam
7	P6	Top Overhaul (T.O)	6.000 jam
8	P7	Semi Overhaul (S.O)	12.000 jam
9	P8	Mayor Overhaul (M.O)	24.000 jam

2. Pemeliharaan korektif pemeliharaan ini 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 Berkala/Periodik

Interval kegiatan pemeliharaan berkala/*overhaul* berdasarkan pada jam kerja (*Operating Hour/OH*) dan pelaksanaannya setelah satu tahun kalender atau lebih dihitung dari pemeliharaan sebelumnya. Pemeliharaan berkala disebut juga *overhaul* atau pemeliharaan tahunan, interval pemeliharaan berkala sesuai buku petunjuk pemeliharaan pabrikan, antara lain :

- 6.000 jam kerja (*Top Overhaul, TO*) atau P6
- 12.000 jam kerja (*Semi Overhaul, SO*) atau P7
- 24.000 jam kerja (*Major Overhaul, MO*) atau P8

Lingkup Pekerjaan Pemeliharaan Berkala/Periodik

a. Pemeliharaan *Top Overhaul* (TO) 6.000 jam

- Memeriksa semua kepala silinder dan komponennya.
- Memeriksa dan mengukur *conrod-bearing, piston, piston ring, pin bushing* dari satu *piston* yang terdekat dengan generator
- Memeriksa dan mengukur satu *cylinder liner*
- Memeriksa dan mengukur sistem injeksi bahan bakar
- Membersihkan *cooler, intercooler, radiator, dan cooling tower*

- Memeriksa *vibration damper*
- Memeriksa *turbocharger*
- Memeriksa semua perlengkapan dan peralatan bantu (separator, kompresor, dan lain-lain)
- Memeriksa tekanan dan *temperature*
- Membersihkan dan memeriksa generator dan panel-panel
- Mengukur tahanan isolasi
- Memeriksa berfungsinya listrik
- Memeriksa dan kalibrasi alat kontrol dan pengaman

b. Pemeliharaan *Semi Overhaul* (SO) 12.00 jam

- Pekerjaan *Top Overhaul* ditambah
- Membongkar dan memeriksa seluruh *piston* dan *connecting rod*
- Penggantian *ring piston*
- Penggantian *baring connecting rod*
- Memeriksa dan mengukur salah satu *main bearing*

c. Pemeliharaan *Mayor Overhaul* (MO) 24.000 jam

- Pekerjaan *Semi Overhaul* ditambah
- Mengukur seluruh *cylinder liner*
- Membongkar/memeriksa/mengganti *main bearing* [15]

2.2.7 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Performa PLTD

Performa pembangkit listrik diesel dipengaruhi oleh kombinasi faktor teknis, operasional, dan lingkungan yang dapat memengaruhi efisiensi energi, umur komponen, dan stabilitas produksi listrik. Faktor-faktor ini dapat diperoleh dari rumus perhitungan, jenis pemeliharaan, dan penelitian terkait, seperti analisis kegagalan komponen atau getaran.

Faktor utama yang mempengaruhi kinerja PLTD antara lain :

1. Faktor kualitas dan konsumsi bahan bakar

Bahan bakar yang digunakan seperti solar berkecepatan tinggi (HSD) secara langsung memengaruhi efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*). Misalnya, rumus $SFC = \frac{V}{p}$ menunjukkan bahwa volume bahan bakar yang tidak optimal atau nilai kalor yang rendah (seperti $C_v = 9063$ kcal/l untuk HSD) dapat mengurangi kinerja, karena mesin memerlukan lebih banyak bahan bakar untuk menghasilkan daya yang sama. Faktor ini juga terkait dengan efisiensi termal (ET), di mana kualitas bahan bakar yang buruk dapat mengurangi konversi energi panas menjadi energi mekanik.

2. Faktor pemeliharaan mesin

Jenis pemeliharaan seperti *preventif*, korektif, *prediktif*, dan periodik (seperti *Top Overhaul* atau *Major Overhaul*) merupakan peran penting dalam menjaga kinerja. Kekurangan perawatan rutin dapat menyebabkan kerusakan komponen, seperti retakan pada katup injeksi bahan bakar, seperti yang disebutkan dalam penelitian [16], yang mengurangi efisiensi dan meningkatkan waktu henti. Sebaliknya, perawatan yang baik, seperti pemantauan getaran berdasarkan standar ISO 10816 dari penelitian, [8], dapat mencegah kegagalan dan menjaga output daya optimal.

3. Faktor kondisi operasi mesin

Parameter seperti tekanan pembakaran, suhu gas buang, suhu pendingin, dan getaran mesin (dari metode pengumpulan data) secara signifikan mempengaruhi kinerja. Misalnya, suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan keausan komponen, sementara getaran berlebihan dapat menandakan masalah struktural, seperti yang dianalisis dalam penelitian terkait. Rumus efisiensi termal $ET = \frac{860.P}{V.Cv} \times 100\%$ menunjukkan bahwa fluktuasi tekanan atau suhu dapat mengurangi efisiensi keseluruhan.

4. Faktor Beban dan siklus operasi

Tingkat beban mesin dan jam operasi (seperti Jam Operasi untuk *overhaul*) memengaruhi umur teknis dan efisiensi. Beban yang tidak seimbang dapat menyebabkan kelelahan material (tekanan kelelahan), seperti yang disebutkan dalam penelitian [16], yang pada akhirnya mengurangi kinerja mesin. Selain itu, siklus kerja intensif tanpa istirahat yang cukup dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar dan mengurangi output daya.

5. Faktor lingkungan dan eksternal

Kondisi lingkungan, seperti suhu udara, kelembapan, atau kualitas pendingin (seperti radiator dan menara pendingin), dapat memengaruhi kinerja mesin. Misalnya, dalam konteks pemeliharaan berkala, pembersihan komponen pendingin penting untuk mencegah *overheating*, yang dapat mengurangi efisiensi termal seperti yang dihitung dalam rumus ET. Faktor eksternal ini juga mencakup variasi beban listrik yang diminta, yang dapat memengaruhi stabilitas sistem secara keseluruhan.

2.2.8 Rumus Perhitungan

Dalam hal perhitungan ini penulis mengambil rumus perhitungan dari materi kuliah operasi dan perawatan mesin tenaga [9], yang dimana dalam materi kuliah tersebut didapatkan rumus persamaan konsumsi bahan bakar spesifik (*Specific Fuel Consumption*) dan Efisiensi termal pada PLTD.

1. Konsumsi bahan bakar spesifik (*Specific Fuel Consumption*) dinyatakan sebagai jumlah bahan bakar yang dibutuhkan mesin dalam satuan waktu untuk menghasilkan daya 1 kWh . SFC adalah ukuran nilai ekonomis suatu mesin dalam penggunaan bahan bakar. Persamaan yang digunakan untuk menghitung SFC adalah sebagai berikut :

$$SFC = \frac{V}{p} \text{ (l/kWh)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

V : Volume bahan bakar yang dipakai dalam liter. Diukur dari flow meter yang pernah dikalibrasi

P : Produksi, kWh yang dibangkitkan generator

2. Efisiensi thermal dari suatu mesin adalah kemampuan mesin untuk meneruskan energi mekanik. Sehingga efisiensi thermal merupakan perbandingan antara energi kalor yang diubah menjadi daya dengan jumlah energi kalor bahan bakar yang disuplai ke dalam ruang bakar. Persamaanya yang digunakan untuk menghitung efisiensi termal adalah sebagai berikut :

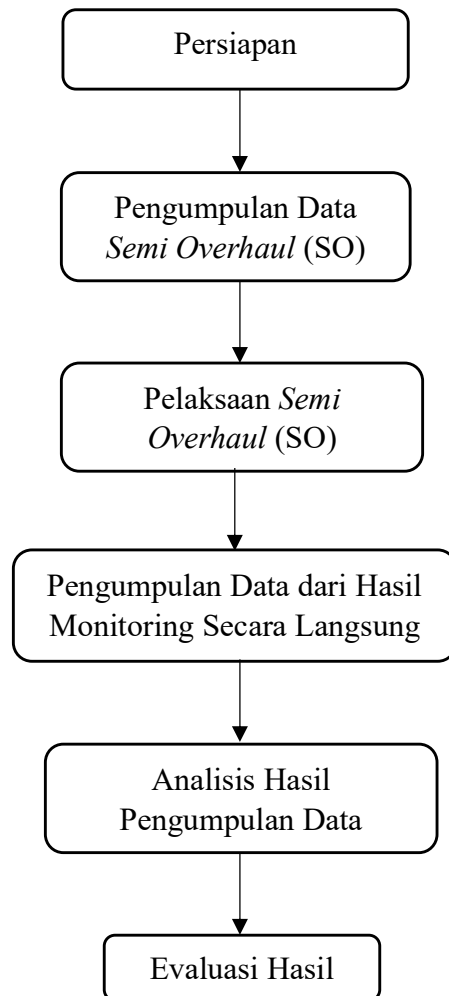
$$ET = \frac{860.P}{V.Cv} \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Cv HSD = 9063 kcal/l

Cv MFO = 9766 kcal/l

Cv : *Calorific Value*

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.28. Kerangka Pemikiran

Sesuai dengan kerangka pemikiran penulis, sebelum memulai menganalisa performa mesin, penulis mengumpulkan data-data tentang performa mesin sebelum dimulainya pemeliharaan *semi overhaul*, dan mempelajari apa saja yang dilakukan atau *scope* pekerjaan pada *semi overhaul*, penulis juga mengamati secara langsung kondisi atau pasca dilakukannya pemeliharaan *semi overhaul* pada mesin, dengan mengamati parameter-parameter sebagai sumber utama pengolahan data yang akan dilakukan penulis.