ANALISIS PENYEBAB GAS BUANG PADA MESIN DIESEL GENERATOR BERWARNA HITAM DI KAPAL MV.HI 03

ALDI SAPUTRA

NIT. 20.42.029

TEKNIKA

PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV PELAYARAN

POLITEKNIK ILMU PELAYARAN MAKASSAR

TAHUN 2025

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama : ALDI SAPUTRA
NIT : 20.42.029
Program Studi : Teknika

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

ANALISIS PENYEBAB GAS BUANG PADA MESIN DIESEL GENERATOR BERWARNA HITAM DI KAPAL MV.HI 03

Merupakan karya asli. Seluruh ide yang ada dalam skripsi ini yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide yang saya susun sendiri.

Jika pernyataan diatas terbukti sebaliknya, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.

Makassar, 23 Mei 2025

ALDI SAPUTRA
NIT: 20.42.029

ANALISIS PENYEBAB GAS BUANG PADA MESIN DIESEL GENERATOR BERWARNA HITAM DI KAPAL MV.HI 03

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan
Program Pedidikan Diploma IV Pelayaran

Program Studi Teknika

Disusun dan Diajukan oleh

ALDI SAPUTRA

NIT. 20.42.029

PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV PELAYARAN
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN MAKASSAR
TAHUN 2025

SKRIPSI

ANALISIS PENYEBAB GAS BUANG PADA MESIN DIESEL GENERATOR BERWARNA HITAM DI KAPAL MV.HI 03

Disusun dan Diajukan oleh:

ALDI SAPUTRA

NIT. 20.42.029

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Skripsi

Pada tanggal 09 MEI 2025

Menyetujui:

Pembimbing I	Pembimbing II
Ir. Alberto, S.Si.T., M.Mar.E., M.A.P	**Ir. Yohanes Erik, S.SIT.,M.Mar.E.**
NIP: 19760409 200604 1 001	**NIP: -**

Mengetahui:

a.n. Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar Pembantu Direktur I	Ketua Program Studi Teknika
Capt. Faisal Saransi, M.T., M.Mar	**Ir. Alberto, S.Si.T., M.Mar.E., M.A.P**
NIP. 19750329 199903 1 002	**NIP. 19760409 200604 1 001**

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul: ***"Analisis Penyebab Gas Buang pada Mesin Diesel Generator Berwarna Hitam di Kapal MV.HI 03"***.

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Diploma IV di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar. Dalam proses penyusunannya, penulis menghadapi berbagai tantangan dan kendala. Namun, berkat doa, dukungan moril dan materil dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan tugas ini dengan sebaik-baiknya.

Penulis menyadari bahwa karya ini masih jauh dari kata sempurna. Keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki tentu menjadi faktor yang memengaruhi hasil akhir skripsi ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan di masa mendatang.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Capt. Rudy Susanto, M.Pd., selaku Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
2. Bapak Capt. Faisal Saransi, M.T., M.Mar, selaku Pembantu Direktur I Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
3. Bapak Dr. Capt. Moh. Aziz Rohman, M., M.Mar, selaku Pembantu Direktur II Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
4. Bapak Ir. Alberto, Si.T., M.Mar.E., M.A.P, selaku Ketua Program Studi Teknika sekaligus Pembimbing I, yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan memberikan arahan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Yohanes Erik, S.SIT., M.Mar.E., selaku Pembimbing II, atas segala bimbingan, saran, dan dorongan yang sangat berarti selama proses penyusunan skripsi.

6. Seluruh staf Program Studi Teknika yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama proses akademik.
7. Seluruh dosen dan pegawai Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar atas ilmu dan motivasi yang diberikan.
8. Seluruh crew Kapal MV.HI. 03 atas kerja sama dan dukungan selama pelaksanaan penelitian.
9. Orang tua tercinta, Ibu Mulyati dan Ayah Tadung Allo, atas cinta, doa, dukungan, dan semangat yang tiada henti.
10. Kakak tercinta, Adhelia, atas dukungan dan semangat dalam setiap langkah perjalanan studi ini.
11. Rekan-rekan Taruna/Taruni seangkatan yang selalu memberikan kebersamaan dan dukungan selama masa studi.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan doa dari semua pihak, penyusunan skripsi ini tidak akan terlaksana dengan baik. Untuk itu, penulis menyampaikan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dalam proses ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, khususnya bagi Taruna/Taruni Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar dan masyarakat maritim pada umumnya.

Makassar, 23 Mei 2025

ALDI SAPUTRA

NIT. 20.42.029

ABSTRAK

ALDI SAPUTRA 2025, “Analisis Penyebab Gas Buang pada Mesin Diesel Generator Berwarna Hitam di Kapal MV.HI 03” dibimbing oleh Bapak Alberto dan Bapak Yohanes Erik

Masalah gas buang berwarna hitam pada mesin diesel generator kapal merupakan salah satu indikator utama adanya gangguan dalam proses pembakaran, yang dapat memengaruhi efisiensi dan kinerja mesin. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis penyebab munculnya gas buang hitam pada mesin diesel generator tipe 6N18AL-HV di atas kapal MV. HI 03. Fokus utama penelitian ini adalah mengidentifikasi kerusakan komponen yang menyebabkan pembakaran tidak sempurna, dengan dugaan awal kerusakan pada sistem injektor bahan bakar.

Penelitian dilakukan di atas kapal MV. HI 03 selama tiga hari pengamatan berturut-turut, dengan pengambilan data enam kali dalam sehari. Metode yang digunakan adalah observasi langsung terhadap temperatur gas buang tiap silinder, didukung dokumentasi visual kondisi asap dari cerobong dan pemeriksaan komponen injektor. Pengamatan difokuskan pada silinder nomor 3 dan 6 yang menunjukkan anomali temperatur dan warna asap gas buang yang tidak normal.

Hasil penelitian menunjukkan adanya penyumbatan karbon pada nozzle injektor silinder 3 dan 6, yang menyebabkan distribusi bahan bakar tidak merata. Setelah dilakukan perbaikan dengan pembersihan dan pemasangan ulang injektor, temperatur gas buang kembali normal dan asap hitam tidak lagi terlihat. Kesimpulannya, kualitas bahan bakar dan perawatan berkala sistem injeksi merupakan faktor kunci dalam mencegah gangguan serupa. Disarankan agar dilakukan pemeriksaan berkala terhadap sistem injektor dan penggunaan bahan bakar sesuai standar mutu.

Kata Kunci: Gas buang hitam, Injektor diesel, Mesin generator kapal

ABSTRACT

ALDI SAPUTRA 2025, "Analysis of the Causes of Black Exhaust Gas on the Diesel Generator Engine on the MV.HI 03 Ship" supervised by Mr. Alberto and Mr. Yohanes Erik

The issue of black exhaust gas on the ship's diesel generator engine is a key indicator of a combustion process disturbance, which can affect the engine's efficiency and performance. This study aims to analyze the causes of black exhaust gas on the 6N18AL-HV diesel generator engine aboard the MV. HI 03 ship. The primary focus of the research is to identify component damage causing incomplete combustion, with an initial suspicion of damage to the fuel injector system.

The study was conducted on the MV. HI 03 ship over three consecutive days of observation, with data collection performed six times a day. The method used was direct observation of exhaust gas temperature for each cylinder, supported by visual documentation of the smoke from the stack and injector component inspection. Observations were focused on cylinders 3 and 6, which showed anomalies in temperature and the color of exhaust smoke.

The research results showed carbon blockages in the injector nozzles of cylinders 3 and 6, which caused uneven fuel distribution. After cleaning and reinstalling the injectors, the exhaust gas temperature returned to normal, and black smoke was no longer visible. In conclusion, fuel quality and regular maintenance of the injection system are key factors in preventing similar disturbances. It is recommended to carry out periodic inspections of the injector system and use fuel that meets quality standards.

Keywords: Black exhaust gas, Diesel injectors, Ship generator engine

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN PERNYATAAN i
HALAMAN PERSETUJUAN ii
HALAMAN PENGESAHAN iii
PRAKATA iv
ABSTRAK vi
ABSTRACT vii
DAFTAR ISI viii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR TABEL xi
DAFTAR LAMPIRAN xii
BAB I PENDAHULUAN 1
A. Latar Belakang 1
B. Rumusan Masalah 3
C. Batasan Masalah 3
D. Tujuan Penelitian 3
E. Manfaat Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
A. Mesin Diesel Generator 5
B. Gas Buang Mesin Diesel 12
C. Sistem Pembakaran Mesin Diesel 14
D. Penyebab Gas Buang Hitam pada Mesin Diesel 18
E. Kerangka Pikir 21
BAB III METODE PENELITIAN 22
A. Jenis Penelitian 22
B. Definisi Operasional Variabel 22
C. Teknik Pengumpulan Kapal 23
D. Teknik Analisis Data 24

E. JadwaI PeneIitian 25
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 27
A. HasiI PeneIitian 27
B. Pembahasan 41
BAB V PENUTUP 54
A. Kesimpulan 54
B. Saran 54
DAFTAR PUSTAKA 55
LAMPIRAN-A 58
LAMPIRAN B 61
LAMPIRAN C 66
RIWAYAT HIDUP 71

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2. 1 Piston 7
Gambar 2. 2 Batang Torak 8
Gambar 2. 3 Crankshaft 9
Gambar 2. 4 Camshaft 9
Gambar 2. 5 Cylinder Liner 10
Gambar 2. 6 Flywheel 10
Gambar 4. 1 Logo PT. SAMUDERA TIMUR MAS 27
Gambar 4. 2 Warna hitam pekat gas buang mesin diesel generator 31
Gambar 4. 3 Injektor yang digunakan 41
Gambar 4. 4 Perbaikan dan Pembersihan Nozzle Injektor 44
Gambar 4. 5 Proses Pengetesan Injektor 49

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 3. 1 langkah-langkah rancangan analisis 25
Tabel 4. 1 Ship Particular 28
Tabel 4. 2 Spesifikasi Diesel Generator 29
Tabel 4. 3 Kondisi Normal menuju Abnormal Diesel Generator No. 2 35
Tabel 4. 4 Data Kondisi Abnormal Diesel Generator No.2 36
Tabel 4. 5 Data Kondisi Pasca Perbaikan Diesel Generator No. 2 37
Tabel 4. 6 Tabel Rencana Perawatan Injektor dan Sistem Pendukung 52

DAFTAR GRAFIK

Halaman

Grafik 4. 1 Grafik temperatur Gas Buang 39

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran A.1 Surat Sing On Perusahaan	59
Lampiran A. 2 Surat Sing Off Perusahaan	60
Lampiran B. 1 Gambar KapaI MV. HI 03	62
Lampiran B. 2 Ship Particular	63
Lampiran B. 3 Crew List	64
Lampiran B. 4 Keterangan Masa Layar	65
Lampiran C. 1 Diesel Generator	67
Lampiran C. 2 Overhaul Diesel Generator No. 2	68
Lampiran C. 3 Kondisi Silinder Head Diesel Generator No. 2	69
Lampiran C. 4 Kondisi Injektor Diesel Generator No. 2	70

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Mesin diesel generator merupakan salah satu komponen utama dalam sistem kelistrikan kapal. Fungsinya sangat vital untuk menyediakan tenaga listrik bagi seluruh peralatan dan sistem bantu di atas kapal, baik saat kapal sedang berlayar maupun ketika berlabuh. Mesin diesel generator bekerja dengan prinsip pembakaran internal menggunakan bahan bakar minyak berat (H.F.O), dan pada umumnya menggunakan tipe mesin 4 langkah dengan sistem pendingin air seperti yang digunakan di banyak kapal niaga modern.

Salah satu parameter penting yang perlu dijaga dalam pengoperasian mesin diesel generator adalah efisiensi pembakaran, karena efisiensi ini sangat berkaitan langsung dengan performa mesin, konsumsi bahan bakar, emisi gas buang, serta umur pakai komponen mesin. Gas buang yang berwarna hitam, misalnya, sering kali menandakan adanya ketidaksempurnaan dalam proses pembakaran. Hal ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti suplai udara pembakaran yang tidak mencukupi, kualitas bahan bakar yang buruk, ataupun kerusakan pada sistem injeksi bahan bakar.

Dalam konteks pemeliharaan dan pengoperasian mesin diesel generator, pemahaman terhadap spesifikasi teknis mesin sangat penting. Mesin Yanmar 6N18AL-HV yang digunakan di kapal bulk carrier tempat saya praktik adalah mesin 4 langkah, 6 silinder, non-reversibel dengan daya output 455 kW (619 PS) dan kecepatan putaran 900 rpm. Mesin ini dilengkapi dengan turbocharger RH133 dan menggunakan sistem pendingin air tawar (F.W. cooling) untuk silinder, air cooler, piston, dan oil cooler. Mesin ini menggunakan bahan bakar HFO dengan viskositas maksimum 380 cSt pada 50°C, dan memiliki tekanan pembakaran maksimum 17.65 MPa.

Sistem pembakaran yang optimal akan menghasilkan gas buang berwarna keabu-abuan hingga tidak terlihat, menandakan bahwa bahan bakar terbakar sempurna. Namun, ketika terjadi gangguan pada sistem pembakaran, warna gas buang dapat berubah menjadi hitam pekat, yang menjadi indikator adanya pembakaran tidak sempurna. Hal ini bukan hanya menandakan pemborosan bahan bakar, tetapi juga dapat menyebabkan penumpukan karbon di saluran gas buang, meningkatkan emisi berbahaya, serta mempercepat kerusakan komponen mesin.

Selama menjalani praktik laut selama 12 bulan sebagai kadet di atas kapal bulk carrier, saya secara langsung mengalami kejadian gangguan pada mesin diesel generator No. 2, yang ditandai dengan keluarnya asap buang berwarna hitam dari cerobong. Gangguan ini berkembang secara bertahap dan sempat menimbulkan kekhawatiran di kalangan kru mesin karena dapat berdampak terhadap efisiensi operasional kapal secara menyeluruh. Mesin diesel generator No. 2 yang digunakan saat itu adalah tipe 6N18AL-HV, sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya.

Kejadian ini berlangsung pada 20 Juni 2023, saat kapal MV. HI 03 dalam perjalanan dari cilacap menuju bahadopi dengan muatan batu bara. Gejala awal gangguan terdeteksi ketika alarm suhu gas buang menunjukkan kenaikan temperatur pada salah satu silinder, yang kemudian disusul dengan munculnya asap hitam pekat dari cerobong buang. Setelah dilakukan pemeriksaan lebih lanjut pada tanggal 21 Juni 2023, ditemukan bahwa nozzle injektor pada salah satu silinder mengalami penyumbatan akibat akumulasi karbon, serta adanya ketidakseimbangan distribusi bahan bakar antar silinder. Menanggapi temuan tersebut, tim mesin segera melakukan tindakan korektif awal berupa pembersihan injektor, pengecekan tekanan udara pada turbocharger, dan penggantian filter bahan bakar.

Pengalaman ini memberikan pemahaman penting mengenai urgensi pemantauan performa mesin secara berkala, serta pentingnya

pengetahuan teknis mendalam mengenai karakteristik sistem mesin di kapal. Melalui penelitian ini, penulis bertujuan untuk menganalisis secara lebih rinci penyebab kemunculan asap hitam pada mesin diesel generator No. 2, serta mengaitkannya dengan teori pembakaran dan prinsip kerja mesin diesel. Harapannya, analisis ini dapat menjadi referensi ilmiah maupun praktis bagi taruna, teknisi kapal, serta pemilik kapal dalam menangani kasus serupa di masa mendatang.

Dengan mempertimbangkan hal-hal di atas makan penulis mengangkat judul ***"Analisis Penyebab Gas Buang Pada Mesin Diesel Generator Berwarna Hitam Di Kapal MV.HI 03"***

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan kejadian pada latar belakang di atas maka yang menjadi rumusan masalahnya sebagai yaitu:

Apa penyebab gas buang pada mesin diesel generator berwarna hitam di kapal MV. HI 03?

C. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diatas dan mengingat cakupan permasalahan dalam penelitian ini sangat luas, maka untuk mempersempit pembahasan agar tetap fokus dan tidak meluas, peneliti membatasi masalah pada aspek tertentu, yaitu membahas kerusakan pada komponen injektor mesin diesel generator No. 2 tipe 6N18AL-HV sebagai penyebab keluarnya gas buang berwarna hitam.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Menganalisis penyebab kerusakan pada komponen injektor yang mengakibatkan gas buang berwarna hitam pada mesin diesel generator tipe 6N18AL-HV di kapal bulk carrier.

2. Memberikan rekomendasi perbaikan khususnya pada mesin diesel generator apabila gas buang yang keluar pada mesin diesel generator berwarna hitam

E. Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini, penulis berharap akan mencapai beberapa manfaat, yaitu:

1. Manfaat Teoritis:
   a. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu teknik mesin kapal, khususnya dalam memahami hubungan antara kondisi injektor dan efisiensi pembakaran pada mesin diesel generator.
   b. Menambah referensi ilmiah mengenai permasalahan teknis mesin kapal dalam konteks pendidikan pelayaran dan permesinan kapal.
   c. Menyediakan dasar teori untuk penelitian lanjutan terkait optimasi sistem pembakaran dan manajemen perawatan mesin diesel dalam industri pelayaran.
2. Manfaat Praktis:
   a. Menjadi acuan bagi para taruna, teknisi kapal, dan operator dalam mengenali tanda-tanda awal kerusakan injektor melalui pengamatan visual terhadap warna gas buang.
   b. Memberikan masukan untuk prosedur inspeksi dan perawatan injektor agar performa mesin diesel generator tetap optimal dan emisi tetap dalam batas yang diperbolehkan.
   c. Membantu meningkatkan kesadaran dan keterampilan kru mesin dalam mendeteksi serta menangani permasalahan pembakaran secara cepat guna mencegah kerusakan lanjutan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

A. Mesin Diesel Generator

Mesin diesel generator merupakan kombinasi dari mesin diesel dan generator listrik yang bekerja secara sinergis untuk menghasilkan energi listrik. Mesin diesel bekerja berdasarkan prinsip pembakaran dalam (internal combustion engine) dengan sistem penyalaan akibat tekanan (compression ignition). Ketika udara dikompresi dalam ruang bakar hingga mencapai suhu tinggi, bahan bakar diesel yang disemprotkan akan terbakar secara spontan, menghasilkan energi panas yang dikonversi menjadi energi mekanik (Miller & Stratton, 2021).

Generator yang digerakkan oleh mesin diesel kemudian mengubah energi mekanik tersebut menjadi energi listrik melalui induksi elektromagnetik. Di kapal, diesel generator sangat vital karena berfungsi sebagai sumber utama atau cadangan pasokan listrik untuk sistem navigasi, penerangan, pompa, pendingin, dan keperluan lainnya. Efisiensi dan keandalan mesin ini menjadi kunci utama dalam mendukung kelangsungan operasi kapal, terutama saat berada jauh dari pelabuhan (Soni, 2020).

Menurut Karthikeyan, R., & Dinesh, R. (2021) dalam sistem diesel generator, mesin diesel berfungsi sebagai penggerak utama (prime mover) yang memutar generator sinkron. Efisiensi keseluruhan dari sistem sangat tergantung pada kemampuan generator dalam mengubah energi mekanik dari mesin menjadi energi listrik. Generator sinkron memiliki efisiensi tinggi saat bekerja pada beban penuh dan dengan faktor daya mendekati satu. Ketika terjadi beban parsial atau fluktuasi daya, efisiensinya menurun. Faktor penting lainnya adalah pendinginan stator dan rotor, karena peningkatan suhu lilitan menurunkan konduktivitas dan memperbesar rugi-rugi daya. Oleh karena itu, kontrol

suhu, faktor daya, dan beban operasional yang stabil sangat penting dalam mempertahankan efisiensi sistem diesel generator.

Rasio kompresi (*compression ratio*) adalah perbandingan antara volume ruang silinder ketika piston berada di titik mati bawah (TMB) dan titik mati atas (TMA). Pada mesin diesel, rasio kompresi yang lebih tinggi memungkinkan udara yang masuk ke silinder dikompresi lebih kuat, menghasilkan suhu yang cukup tinggi untuk menyalakan bahan bakar secara spontan tanpa memerlukan busi Rahman, dkk. (2020). Teori termodinamika menyatakan bahwa efisiensi siklus ideal (siklus Diesel atau Otto) meningkat seiring dengan peningkatan rasio kompresi. Dalam praktiknya, mesin diesel dengan rasio kompresi yang tinggi menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna, torsi yang lebih besar, dan konsumsi bahan bakar yang lebih efisien. Namun, jika rasio terlalu tinggi, dapat terjadi *knocking* (detonasi dini) dan tekanan berlebih pada komponen mesin.

Emisi gas buang dari mesin diesel seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NOx), hidrokarbon (HC), dan partikulat (PM) merupakan hasil dari pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna. Pembentukan emisi sangat bergantung pada rasio udara-bahan bakar (*air-fuel ratio*), waktu injeksi bahan bakar, tekanan injeksi, dan kondisi ruang bakar. Jika bahan bakar diinjeksi terlalu awal atau terlambat, atau jika atomisasi tidak baik, maka pembakaran tidak akan optimal dan menghasilkan emisi tinggi. Emisi NOx terbentuk pada suhu pembakaran tinggi, sedangkan emisi partikulat meningkat saat pembakaran terjadi pada kondisi kekurangan oksigen. Dalam konteks diesel generator, efisiensi pembakaran yang buruk tidak hanya berdampak pada emisi tetapi juga menyebabkan konsumsi bahan bakar lebih tinggi dan pembentukan deposit karbon pada komponen seperti injektor dan ruang bakar Chen, Z., dkk (2019).

Secara struktural, mesin diesel generator terdiri dari beberapa komponen utama, seperti blok silinder, piston, connecting rod, crankshaft,

camshaft, sistem bahan bakar, dan sistem pendingin. Keausan atau kerusakan pada salah satu komponen dapat menyebabkan turunnya performa secara signifikan, atau bahkan kegagalan sistem secara menyeluruh (Ahmed & Chowdhury, 2020).

1. Komponen Utama Mesin Diesel Generator

   a. Piston dan Ring Piston

      Piston merupakan komponen utama yang bergerak naik-turun di dalam silinder, mentransfer tekanan gas hasil pembakaran menjadi gerak mekanis. Piston ring, yang terdiri dari compression ring dan oil control ring, menjaga agar gas pembakaran tidak bocor ke ruang engkol, sekaligus mengatur pelumasan dinding silinder (Miller & Stratton, 2021). Kinerja piston ring yang tidak optimal dapat menyebabkan kebocoran kompresi dan konsumsi oli yang tinggi.

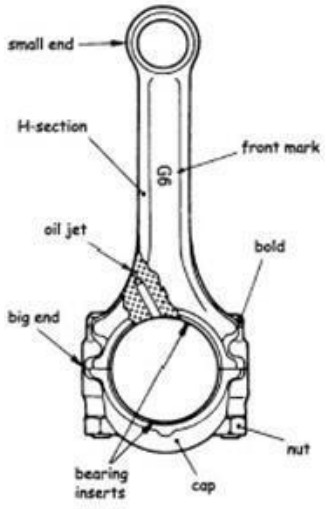
Gambar 2. 1 Piston

Sumber: MV. HI 03

b. Connecting Rod

Connecting rod atau batang penghubung memiliki peran penting dalam mentransfer gerak bolak-balik piston ke poros engkol (crankshaft). Desainnya harus kuat dan tahan terhadap beban siklik dari tekanan pembakaran yang tinggi. Kerusakan pada connecting rod dapat berakibat fatal dan menyebabkan kerusakan sistem secara menyeluruh (Rahman et al., 2020).

Gambar 2. 2 Batang Torak



Sumber: Singh & Gupta, (2019)

c. Crankshaft

Crankshaft mengubah gerakan linear piston menjadi gerakan rotasi, yang selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator. Keseimbangan dan pelumasan crankshaft sangat penting untuk menghindari getaran berlebih dan keausan dini (Singh & Gupta, 2019).

Gambar 2. 3 Crankshaft

Sumber: Singh & Gupta, (2019)

d. Camshaft

Camshaft adalah poros yang dilengkapi dengan nok (cam) untuk membuka dan menutup katup masuk dan buang. Waktu pembukaan dan penutupan katup harus sinkron dengan pergerakan piston agar proses pengisian dan pembuangan gas berlangsung optimal. Gangguan pada sistem ini dapat menurunkan efisiensi volumetrik dan memperbesar konsumsi bahan bakar (Zhang et al., 2021).

Gambar 2. 4 Camshaft

Sumber: Zhang et al., (2021)

e. Cylinder Liner

Cylinder liner merupakan lapisan silinder tempat piston bergerak. Fungsinya adalah memberikan permukaan halus dan tahan aus bagi pergerakan piston, serta mempermudah proses pendinginan karena liner bersentuhan langsung dengan sistem pendingin (Ahmed & Chowdhury, 2020).

Gambar 2. 5 Cylinder Liner

Sumber: MV. HI 03

f. Flywheel

Flywheel berfungsi menyimpan energi kinetik dari gerakan putar crankshaft, sehingga membantu mempertahankan kelancaran rotasi mesin, terutama pada kecepatan rendah atau saat beban tidak stabil. Komponen ini juga berperan dalam proses starting mesin (Sivaramakrishnan, 2020).

Gambar 2. 6 Flywheel

Sumber: Sivaramakrishnan, (2020)

2. Mekanisme Katup

Mekanisme katup mencakup katup masuk dan buang, rocker arm, push rod, dan valve spring. Mekanisme ini dikendalikan oleh camshaft untuk mengatur siklus masuknya udara bersih ke dalam

ruang bakar dan keluarnya gas buang setelah pembakaran. Sinkronisasi antara camshaft dan crankshaft sangat penting dalam sistem ini (Liu et al., 2023). Ketidakseimbangan mekanisme katup dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna, getaran mesin, serta peningkatan emisi gas buang.

3. Sistem Injeksi Bahan Bakar

   Sistem injeksi bahan bakar pada mesin diesel memiliki peran krusial karena menentukan performa mesin, konsumsi bahan bakar, dan tingkat emisi. Sistem ini meliputi tangki, filter bahan bakar, pompa bahan bakar, dan injektor. Pada mesin modern, sistem injeksi telah berkembang ke arah common rail system, yang memungkinkan tekanan injeksi sangat tinggi dan kontrol waktu injeksi yang presisi melalui aktuator elektronik (Yadav et al., 2019).

   Tekanan tinggi pada sistem injeksi membantu pengkabutan bahan bakar (atomization) menjadi partikel-partikel kecil, sehingga proses pencampuran dengan udara menjadi lebih merata dan pembakaran menjadi lebih efisien. Kerusakan pada sistem injeksi, seperti penyumbatan nozzle injektor atau tekanan yang tidak stabil, dapat mengakibatkan penurunan performa mesin, konsumsi bahan bakar meningkat, dan munculnya asap hitam (Mohammed et al., 2022).

4. Prinsip Kerja Mesin Diesel

   Prinsip kerja mesin diesel berdasarkan siklus empat langkah (four-stroke cycle), yaitu:

   a. Langkah isap (intake stroke): Katup masuk terbuka, piston bergerak ke bawah menyedot udara ke dalam silinder.
   b. Langkah kompresi (compression stroke): Katup tertutup, piston bergerak ke atas dan mengompresi udara.
   c. Langkah kerja (power stroke): Bahan bakar disemprotkan ke udara panas akibat kompresi, menyebabkan pembakaran dan mendorong piston ke bawah.

d. Langkah buang (exhaust stroke): Katup buang terbuka, piston bergerak ke atas mengeluarkan gas sisa pembakaran.

Siklus ini terus berulang seiring berjalannya mesin, dan kestabilan proses ini bergantung pada sinergi antar komponen mekanis dan sistem bahan bakar (Kumar et al., 2022).

B. Gas Buang Mesin Diesel

Gas buang merupakan hasil akhir dari proses pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar mesin diesel, yang menjadi bagian tak terpisahkan dari siklus kerja mesin. Komposisi gas buang sangat bergantung pada kualitas dan efisiensi proses pembakaran yang berlangsung. Dalam skenario ideal, yang disebut sebagai pembakaran sempurna atau lengkap, senyawa yang dihasilkan utamanya adalah karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O), yaitu hasil dari reaksi antara hidrokarbon dalam bahan bakar dengan oksigen yang tersedia di udara (Kumar et al., 2020). Proses ini menghasilkan emisi yang relatif bersih dan minim polutan.

Namun, pada praktiknya di dunia pelayaran, terutama dalam pengoperasian kapal laut yang menggunakan mesin diesel sebagai sumber utama tenaga penggerak, pembakaran sempurna sangat sulit untuk dicapai secara konsisten. Banyak faktor teknis dan operasional yang menyebabkan terjadinya pembakaran tidak sempurna, di antaranya adalah ketidakseimbangan rasio udara dan bahan bakar, performa sistem injeksi bahan bakar yang menurun, kontaminasi atau penyumbatan pada saluran udara maupun gas buang, serta kondisi perawatan mesin yang kurang optimal. Akibat dari pembakaran tidak sempurna ini, gas buang yang dihasilkan tidak hanya mengandung CO_2 dan H_2O, tetapi juga berbagai jenis zat pencemar (polutan) yang berdampak negatif terhadap lingkungan maupun kesehatan manusia.

Beberapa jenis polutan utama dalam gas buang mesin diesel meliputi karbon monoksida (CO), yang merupakan hasil dari oksidasi tak

sempurna karbon; hidrokarbon yang tidak terbakar (HC), sebagai indikasi bahan bakar yang tidak teroksidasi dengan baik; oksida nitrogen (NOx), yang terbentuk pada temperatur pembakaran tinggi; sulfur dioksida (SO_2), yang berasal dari kandungan sulfur dalam bahan bakar fosil; serta partikel karbon halus atau jelaga (particulate matter/PM) yang sering kali tampak sebagai asap hitam (Zhou et al., 2021). Polutan ini tidak hanya mencemari udara di sekitar kapal, tetapi juga dapat memengaruhi performa mesin secara keseluruhan serta menyebabkan gangguan pada sistem pembuangan gas.

Ciri khas pembakaran yang tidak sempurna sering kali dapat dikenali dari warna asap yang keluar dari saluran buang mesin diesel. Warna asap ini dapat digunakan sebagai alat diagnostik awal untuk mengidentifikasi gangguan pada proses pembakaran. Misalnya:

1. Asap putih biasanya menunjukkan adanya uap air berlebih, pembakaran yang berlangsung pada suhu rendah (cold start), atau kemungkinan kebocoran cairan pendingin mesin ke dalam ruang bakar. Hal ini dapat terjadi akibat keretakan pada silinder head atau gasket yang rusak.
2. Asap biru mengindikasikan pembakaran pelumas (oli mesin) di dalam ruang bakar, yang umumnya disebabkan oleh keausan pada ring piston atau kerusakan pada seal katup (valve seal). Asap biru juga dapat muncul jika oli yang digunakan tidak sesuai spesifikasi mesin.
3. Asap hitam merupakan jenis asap yang paling umum ditemui pada mesin diesel. Warna ini biasanya menandakan pembakaran bahan bakar yang terlalu kaya (fuel-rich combustion), di mana jumlah bahan bakar jauh lebih banyak daripada udara yang tersedia untuk pembakaran (Ellison, 2020).

Menurut Ellison (2020), kondisi asap hitam disebabkan oleh beberapa faktor teknis seperti filter udara yang tersumbat, kerusakan atau kinerja turbocharger yang menurun, serta pengaturan injeksi bahan bakar yang tidak tepat. Ketidakseimbangan ini menyebabkan

pengabutan bahan bakar tidak berlangsung merata dan bahan bakar tidak terbakar sepenuhnya, sehingga menghasilkan jelaga (soot) dalam jumlah besar yang terbawa keluar bersama gas buang.

Gas buang dari mesin diesel menjadi perhatian utama dalam konteks regulasi lingkungan internasional, khususnya yang tertuang dalam *Annex VI* dari konvensi *MARPOL 73/78*, yang mengatur pencegahan pencemaran udara oleh kapal. International Maritime Organization (IMO) menetapkan batasan ketat terhadap emisi NOx dan SOx dari kapal laut, serta mendorong penggunaan bahan bakar rendah sulfur, terutama sejak diberlakukannya batas maksimum kandungan sulfur global sebesar 0,5% massa mulai Januari 2020. Selain itu, IMO juga merekomendasikan penggunaan sistem pengendalian emisi seperti *scrubber* (untuk mengurangi SOx) dan teknologi *selective catalytic reduction* (SCR) untuk menurunkan emisi NOx (IMO, 2022).

Dalam rangka memenuhi peraturan tersebut, operator kapal dituntut untuk melakukan pemeliharaan rutin pada sistem pembakaran dan pembuangan mesin diesel, memastikan penggunaan bahan bakar sesuai standar, serta mengadopsi teknologi ramah lingkungan. Dengan manajemen gas buang yang baik, tidak hanya efisiensi pembakaran yang dapat ditingkatkan, tetapi juga kontribusi terhadap pengurangan emisi global dan perlindungan lingkungan laut. Lebih dari itu, pengelolaan gas buang yang efektif juga berperan penting dalam menciptakan lingkungan kerja yang sehat dan aman bagi para awak kapal, yang sehari-hari berinteraksi dengan sistem mesin dan potensi paparan emisi berbahaya.

C. Sistem Pembakaran Mesin Diesel

Sistem pembakaran pada mesin diesel merupakan jantung dari mekanisme konversi energi kimia yang tersimpan dalam bahan bakar menjadi energi mekanis yang digunakan untuk menggerakkan sistem propulsi kapal atau peralatan lain yang memanfaatkan tenaga mesin.

Mesin diesel dikenal dengan efisiensinya yang tinggi, yang didasarkan pada prinsip kerja *compression ignition*, yaitu proses pembakaran yang terjadi tanpa menggunakan busi, melainkan akibat tekanan dan suhu tinggi hasil dari kompresi udara di dalam ruang bakar (Heywood, 2018).

Proses pembakaran dimulai saat udara murni dari lingkungan luar masuk ke dalam ruang silinder melalui sistem asupan udara selama langkah hisap. Udara ini kemudian dikompresi oleh piston yang bergerak ke atas pada langkah kompresi. Karena tidak ada bahan bakar yang masuk terlebih dahulu, proses kompresi udara berlangsung secara isentropik—tanpa pertukaran panas dengan lingkungan sekitar. Kompresi ini menyebabkan suhu udara dalam silinder meningkat drastis, bisa mencapai kisaran 500°C hingga 700°C atau lebih, tergantung pada rasio kompresi mesin dan suhu awal udara. Pada titik ini, ketika piston hampir mencapai Titik Mati Atas (TMA), bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar melalui injektor dalam bentuk partikel halus atau kabut. Proses ini dikenal sebagai atomisasi bahan bakar.

Atomisasi adalah tahap yang sangat krusial dalam sistem pembakaran diesel karena keberhasilan pencampuran bahan bakar dan udara sangat menentukan efisiensi dan kelengkapan pembakaran. Semakin halus dan merata distribusi bahan bakar, semakin efektif pembakarannya karena lebih banyak permukaan bahan bakar yang dapat bereaksi dengan oksigen secara cepat (Zhang et al., 2023). Proses ini memungkinkan terjadinya pembakaran spontan (*autoignition*) tanpa memerlukan pemicu luar, dan terjadi dalam waktu yang sangat singkat.

Efisiensi dan performa dari sistem pembakaran sangat dipengaruhi oleh sejumlah parameter teknis dan operasional yang saling berkaitan. Beberapa faktor utama yang memengaruhi sistem pembakaran mesin diesel antara lain:

1. Rasio Kompresi

   Rasio kompresi mesin diesel umumnya lebih tinggi dibandingkan mesin bensin, berkisar antara 14:1 hingga 22:1. Rasio ini berbanding lurus dengan tekanan dan suhu udara dalam ruang silinder saat kompresi. Semakin tinggi rasionya, maka semakin besar energi yang tersedia untuk membakar bahan bakar secara spontan dan efisien, menghasilkan tenaga yang lebih besar serta efisiensi termal yang tinggi.

2. Kualitas Bahan Bakar

   Kualitas bahan bakar diesel sangat memengaruhi kinerja pembakaran. Bahan bakar dengan angka cetane (cetane number) yang tinggi akan menyala lebih cepat dan terbakar lebih halus, sehingga menghasilkan tekanan pembakaran yang lebih stabil. Selain itu, kandungan sulfur dan viskositas bahan bakar juga berdampak terhadap performa injeksi dan potensi terbentuknya polutan seperti sulfur dioksida (SO_2) dan jelaga (soot) (Kuo et al., 2021).

3. Tekanan dan Waktu Injeksi

   Dalam sistem modern seperti *common rail injection*, tekanan injeksi dapat mencapai lebih dari 2000 bar, memungkinkan bahan bakar diatomisasi menjadi partikel sangat halus. Waktu penyemprotan yang presisi—baik dalam hal durasi maupun momen penyemprotan relatif terhadap posisi piston—sangat menentukan apakah bahan bakar menyatu secara optimal dengan udara pada saat suhu maksimal tercapai di dalam ruang bakar (Zhang et al., 2023).

4. Desain dan Kondisi Injektor

   Injektor yang baik harus mampu menghasilkan semprotan bahan bakar dengan pola tertentu (biasanya berbentuk kerucut) dan dalam jumlah yang tepat. Jika injektor tersumbat, bocor, atau aus, maka distribusi bahan bakar akan menjadi tidak merata, yang dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna, peningkatan konsumsi bahan bakar, serta peningkatan emisi.

5. Kondisi Sistem Udara

Sistem turbocharger dan intercooler memainkan peran vital dalam meningkatkan efisiensi pembakaran. Turbocharger meningkatkan tekanan dan volume udara masuk, sementara intercooler menurunkan suhu udara sebelum masuk ke ruang bakar, sehingga meningkatkan densitas dan jumlah oksigen yang tersedia untuk pembakaran. Udara yang lebih padat memperkaya campuran udara-bahan bakar, memungkinkan pembakaran yang lebih lengkap dan bersih (Al Qdah et al., 2020).

Penelitian oleh Zhang et al. (2023) menyoroti pentingnya tiga parameter utama dalam sistem pembakaran mesin diesel, yaitu suhu udara masuk, waktu injeksi, dan tekanan injeksi. Dalam simulasi terhadap mesin diesel tugas berat, ditemukan bahwa peningkatan suhu udara masuk mempercepat proses penyalaan bahan bakar, namun jika tidak diimbangi dengan pengaturan waktu injeksi yang tepat, dapat meningkatkan produksi emisi nitrogen oksida (NOx). Demikian pula, tekanan injeksi yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menyebabkan pola semprotan bahan bakar menjadi tidak optimal, yang berdampak pada peningkatan emisi partikulat (PM).

Sistem pembakaran yang optimal bukan hanya ditujukan untuk menghasilkan tenaga maksimum, tetapi juga harus memenuhi standar efisiensi bahan bakar dan emisi lingkungan. Pembakaran yang baik akan mengurangi pembentukan polutan seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NOx), dan hidrokarbon yang tidak terbakar (HC). Oleh karena itu, pengelolaan dan pemeliharaan sistem pembakaran secara berkala sangatlah penting, termasuk kalibrasi sistem injeksi, pembersihan atau penggantian filter udara, pengecekan tekanan injeksi, serta pengawasan kondisi turbocharger dan intercooler.

Secara keseluruhan, sistem pembakaran dalam mesin diesel adalah sistem yang kompleks dan saling tergantung satu sama lain. Keberhasilannya menentukan seberapa besar energi yang dapat diubah

dari bahan bakar menjadi tenaga gerak, seberapa ramah lingkungan emisi yang dihasilkan, serta seberapa besar biaya operasional yang harus ditanggung selama pengoperasian kapal. Oleh karena itu, pemahaman mendalam terhadap sistem ini sangat penting bagi para teknisi kapal dan operator mesin untuk menjaga performa mesin tetap optimal dan sesuai dengan standar internasional yang berlaku.

D. Penyebab Gas Buang Hitam pada Mesin Diesel

Gas buang berwarna hitam pada mesin diesel merupakan indikator visual dari pembakaran yang tidak sempurna di dalam ruang bakar. Asap hitam ini, yang umumnya terdiri dari partikel karbon (jelaga), terbentuk ketika bahan bakar tidak terbakar sepenuhnya karena kurangnya oksigen atau pencampuran yang buruk antara bahan bakar dan udara.

Keberadaan asap hitam ini bukan hanya mengindikasikan rendahnya efisiensi pembakaran, tetapi juga menunjukkan potensi gangguan mekanis atau kesalahan dalam sistem pengoperasian mesin. Dalam jangka panjang, kondisi ini dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar, mempercepat penurunan performa mesin, serta menyebabkan pencemaran udara yang signifikan.

Beberapa faktor utama yang menyebabkan munculnya gas buang hitam antara lain:

1. Kerusakan atau Keausan pada Injektor Bahan Bakar

   Injektor yang aus atau tersumbat dapat menyebabkan penyemprotan bahan bakar yang tidak merata, mengganggu atomisasi, dan menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna. Hal ini berkontribusi pada peningkatan emisi jelaga (Liu et al., 2022).

2. Filter Udara yang Tersumbat

   Filter udara yang kotor atau tersumbat membatasi aliran udara ke ruang bakar, mengakibatkan rasio bahan bakar terhadap udara menjadi terlalu kaya. Kondisi ini menyebabkan pembakaran tidak sempurna dan peningkatan emisi asap hitam (Zhao et al., 2022).

3. Gangguan pada Turbocharger atau Sistem Induksi Udara

   Kerusakan pada turbocharger atau sistem induksi udara dapat mengurangi tekanan dan volume udara yang masuk ke ruang bakar, mengganggu rasio udara-bahan bakar yang optimal, dan meningkatkan emisi jelaga (Martos et al., 2023).

4. Kualitas Bahan Bakar yang Buruk

   Penggunaan bahan bakar dengan kandungan sulfur tinggi atau kontaminan lainnya dapat mengganggu proses pembakaran dan meningkatkan produksi partikel karbon dalam gas buang (Sevinc & Hazar, 2020).

5. Beban Mesin yang Terlalu Berat atau Tidak Stabil

   Operasi mesin di luar kapasitas normalnya, seperti saat membawa muatan berlebih, dapat menyebabkan sistem pembakaran bekerja lebih keras. Jika tidak diimbangi dengan peningkatan asupan udara atau penyetelan waktu injeksi yang sesuai, akan terjadi pembakaran kaya bahan bakar yang meningkatkan emisi asap hitam (Mattson et al., 2024).

6. Penyetelan Sistem Bahan Bakar yang Tidak Tepat

   Penyetelan waktu injeksi dan tekanan injeksi yang tidak sesuai dapat mengganggu atomisasi bahan bakar dan menyebabkan pembakaran tidak sempurna. Penelitian menunjukkan bahwa penyetelan injeksi yang optimal sangat penting untuk mengurangi emisi jelaga (Zhao et al., 2022).

7. Hambatan di Saluran Pembuangan

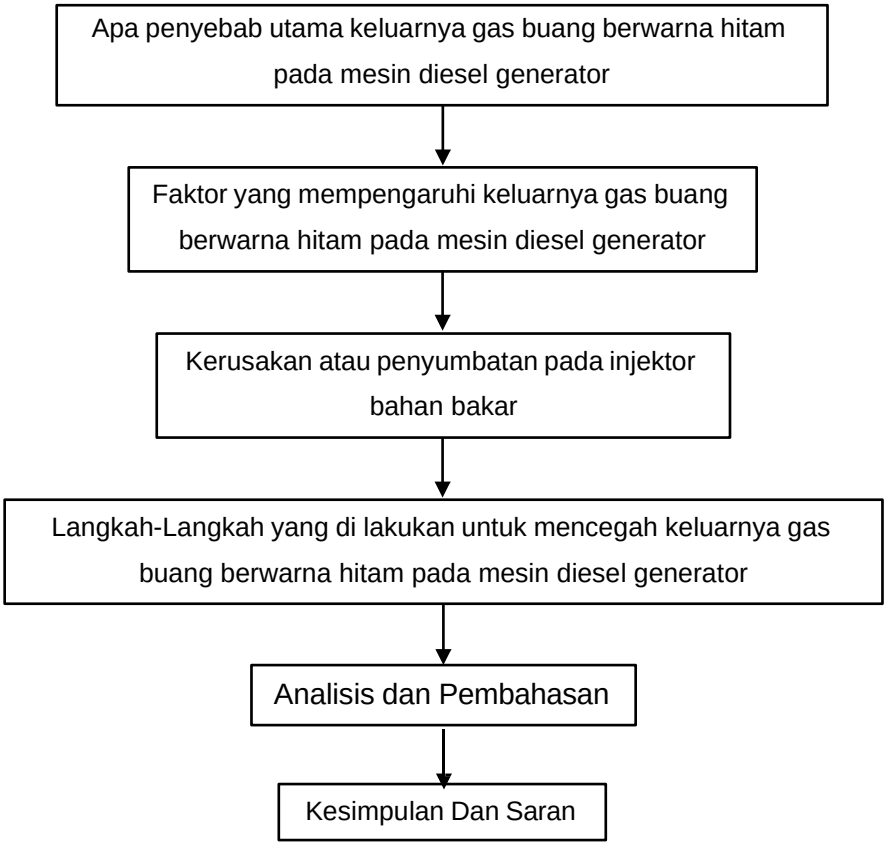
   Penumpukan jelaga atau kerak karbon di saluran pembuangan dapat menyebabkan tekanan balik yang mengganggu sirkulasi udara masuk, memperburuk kondisi pembakaran, dan meningkatkan emisi asap hitam (Kral et al., 2024).

Asap hitam dari mesin diesel tidak hanya menurunkan efisiensi operasional, tetapi juga berdampak signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Emisi partikulat halus (PM2.5 dan PM10) yang

terkandung dalam asap hitam berpotensi menyebabkan gangguan pernapasan dan penyakit kardiovaskular bagi awak kapal yang terpapar dalam waktu lama. Oleh karena itu, penting untuk melakukan diagnosis dan perbaikan segera apabila ditemukan gejala munculnya asap hitam. Pemeriksaan rutin terhadap filter udara, sistem injeksi, tekanan turbocharger, dan kualitas bahan bakar harus dilakukan secara berkala guna memastikan bahwa proses pembakaran berlangsung secara optimal dan emisi tetap berada dalam batas yang ditentukan oleh regulasi maritim internasional seperti Annex VI MARPOL 73/78.

E. Kerangka Pikir

Pada hal ini terlebih dahulu penulisan menggambarkan secara singkat mengenai diagram alur penelitian yaitu:



BAB lll
METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif yang bertujuan untuk menggambarkan secara sistematis, faktual, dan akurat mengenai fakta-fakta, sifat-sifat, serta hubungan antar fenomena yang terjadi di lapangan, khususnya terkait keluarnya gas buang berwarna hitam dari mesin diesel generator tipe Yanmar 6N18AL-HV pada kapal MV. HI 03.

Metode deskriptif kualitatif dipilih karena sesuai untuk menganalisis fenomena teknis yang terjadi di lapangan, yang tidak hanya membutuhkan data numerik, tetapi juga pemahaman mendalam terhadap proses kerja mesin, kondisi komponen, dan faktor-faktor penyebab kerusakan. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk menelaah lebih dalam penyebab kerusakan komponen injektor dan bagaimana kerusakan tersebut berkontribusi terhadap pembakaran tidak sempurna.

Penelitian ini juga bersifat studi kasus, karena hanya difokuskan pada satu unit mesin diesel generator di kapal bulk carrier tempat peneliti melaksanakan praktik laut selama 12 bulan. Dengan pendekatan studi kasus, peneliti dapat memberikan analisis komprehensif berdasarkan pengalaman nyata, kondisi teknis aktual, dan dokumentasi perawatan mesin yang tersedia.

B. Definisi Operasional Variabel

Agar penelitian ini terarah dan dapat diukur secara sistematis, maka variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian didefinisikan secara operasional sebagai berikut:

1. Gas Buang Berwarna Hitam

   Adalah emisi hasil pembakaran bahan bakar dari mesin diesel yang tampak berwarna hitam pekat. Dalam konteks penelitian ini, gas buang berwarna hitam diartikan sebagai indikator adanya pembakaran tidak sempurna akibat ketidakseimbangan campuran udara-bahan bakar atau gangguan pada sistem injeksi. Warna hitam mengindikasikan keberadaan partikulat karbon atau sisa pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna.

2. Injektor

   Merupakan komponen dari sistem bahan bakar yang bertugas menyemprotkan bahan bakar dalam bentuk kabut halus ke dalam ruang bakar pada saat yang tepat dan dengan tekanan tertentu. Dalam penelitian ini, injektor yang dimaksud adalah injektor dari mesin diesel generator tipe Yanmar 6N18AL-HV. Injektor yang tidak bekerja dengan optimal, seperti mengalami penyumbatan karbon atau aus, dapat menyebabkan bahan bakar tidak terbakar dengan sempurna.

C. Teknik Pengumpulan Kapal

Untuk mendapatkan data yang valid dan relevan dalam menjawab rumusan masalah, peneliti menggunakan beberapa teknik pengumpulan data berikut:

1. Observasi Langsung

   Peneliti melakukan pengamatan secara langsung selama pelaksanaan praktik laut di kapal MV. HI 03 terhadap kondisi operasional mesin diesel generator, khususnya ketika terjadi fenomena keluarnya gas buang berwarna hitam. Pengamatan dilakukan terhadap indikator suhu gas buang, tekanan pembakaran, serta warna visual asap yang keluar dari exhaust.

2. Studi Dokumentasi

   Data pendukung diperoleh dari dokumen resmi kapal seperti log book mesin, maintenance record, serta manual book dari pabrikan mesin Yanmar 6N18AL-HV. Dokumen-dokumen ini menjadi sumber informasi penting mengenai spesifikasi teknis, catatan perbaikan, dan hasil inspeksi teknis terhadap injektor maupun sistem bahan bakar.

3. Literatur dan Referensi Akademik

   Peneliti juga mengumpulkan referensi akademik seperti buku teknik mesin, jurnal ilmiah, dan artikel yang relevan mengenai prinsip kerja mesin diesel, sistem injeksi bahan bakar, serta pengaruh kerusakan injektor terhadap emisi gas buang. Literatur ini digunakan untuk mendukung analisis teoritis dan memperkuat kesimpulan penelitian.

D. Teknik Analisis Data

Data yang dikumpulkan dianalisis dengan metode analisis deskriptif kualitatif, yang mencakup beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Reduksi Data

   Pada tahap ini, peneliti menyaring data yang diperoleh dari observasi, wawancara, dan dokumentasi untuk menghilangkan informasi yang tidak relevan dan fokus pada data yang berkaitan langsung dengan kerusakan injektor dan warna gas buang.

2. Penyajian Data

   Data yang telah direduksi kemudian disusun dalam bentuk naratif deskriptif, tabel, dan gambar (jika diperlukan) agar lebih mudah dipahami dan dianalisis. Penyajian data ini bertujuan untuk menunjukkan hubungan sebab-akibat antara kondisi injektor dan warna gas buang.

3. Penarikan Kesimpulan dan Verifikasi

   Peneliti menarik kesimpulan berdasarkan temuan lapangan dan teori yang relevan. Hasil temuan kemudian diverifikasi ulang melalui

triangulasi data dari observasi, wawancara, dan dokumentasi untuk memastikan validitas dan keakuratannya.

4. Interpretasi Data

Interpretasi dilakukan untuk menghubungkan data lapangan dengan konsep teoritis mengenai pembakaran mesin diesel, efisiensi, dan pengaruh kondisi injektor terhadap emisi. Peneliti mengaitkan setiap temuan dengan literatur teknis guna memperkuat argumentasi ilmiah.

E. Jadwal Penelitian

Tabel 3. 1 Iangkah-Iangkah rancangan analisis

No	Kegiatan	TAHUN 2021											
		BUIAN											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Mencari buku dan jurnal sebagai referensi					■							
2	Pemilih topik utama penelitian					■	■						
3	Menyusun Proposal serta Bimbingan										■	■	■
TAHUN 2022													
3	Menyusun Proposal serta Bimbingan	■											
4	Ujian Proposal		■										
5	Menyelesaikan perbaikan ujian Proposal			■									

TAHUN 2023													
7	Melaksanakan (PRALA) Pengambilan data												
TAHUN 2024													
8	Penyusunan Skripsi dan bimbingan												
9	Seminar hasil skripsi												
10	Perbaikan seminar hasil skripsi												
TAHUN 2025													
11	Bimbingan TUTUP Skripsi												
12	Seminar TUTUP Skripsi												
13	Pengumpulan Berkas Skripsi												

Ini merupakan rancangan analisis yang memperlihatkan jadwal kegiatan dari tahun 2021 hingga 2025 dalam konteks penyusunan proposal, pelaksanaan penelitian, dan penyelesaian skripsi.