

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**PENGARUH SUHU *INTERCOOLER* DAN
PENGABUTAN INJEKTOR TERHADAP GAS BUANG
MESIN PENGGERAK UTAMA KAPAL**



MOHAMMAD ZIDANE VALERI
NIT. 22.36.306.3.013

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PERMESIANAN KAPAL
TAHUN 2026

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**PENGARUH SUHU *INTERCOOLER* DAN
PENGABUTAN INJEKTOR TERHADAP GAS BUANG
MESIN PENGGERAK UTAMA KAPAL**



MOHAMMAD ZIDANE VALERI
NIT. 22.36.306.3.013

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PERMESIANAN KAPAL
TAHUN 2026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mohammad Zidane Valeri

NIT : 22.36.306.3.004

Program Studi : D-IV Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul :

**“ PENGARUH SUHU INTERCOOLER DAN PENGABUTAN INJEKTOR
TERHADAP GAS BUANG MESIN PENGGERAK UTAMA KAPAL ”**

Merupakan karya asli seluruh ide yang ada dalam KIT tersebut, kecuali tema dan yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri. Jika pernyataan di atas terbukti tidak benar, maka saya sendiri menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

SURABAYA, 12 Mei 2026



MOHAMMAD ZIDANE VALERI

NIT. 22.36.306.3.004

ABSTRAK

Mohammad Zidane Valeri, “Pengaruh Suhu *Intercooler* Dan Pengabutan Injektor Terhadap Gas Buang Mesin Penggerak Utama Kapal”. Dibimbing Oleh Pembimbing I, Eko Prayitno. S.Pd, M.M. Dan Pembimbing II, Kuntoro Bayu Ajie, S.Kom, M.T.

Mesin penggerak utama kapal merupakan komponen kritis yang berperan dalam efisiensi operasional kapal. Suhu gas buang yang tinggi dapat mempengaruhi kinerja mesin dalam beberapa aspek, termasuk efisiensi bahan bakar, daya output, dan masa pakai komponen mesin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor penyebab meningkatnya suhu gas buang yang disebabkan oleh gangguan pada sistem injektor dan *intercooler* terhadap mesin induk kapal, serta memberikan solusi dan pengetahuan mengenai penanganan permasalahan pada sistem injektor dan *intercooler* dalam pengoperasian mesin induk kapal. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi observasi, wawancara, dokumentasi, dan uji statistik untuk memperoleh data yang akurat dan mendukung hasil penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan signifikan antara peningkatan temperatur gas buang dan penurunan efisiensi mesin. Suhu gas buang yang tinggi berkontribusi terhadap peningkatan konsumsi bahan bakar dan penurunan daya output mesin. Selain itu, suhu gas buang yang tinggi juga mempercepat keausan komponen mesin, sehingga mengurangi masa pakai mesin secara keseluruhan. Adapun faktor utama yang mempengaruhi tingginya temperature mesin induk yaitu penyempitan/penyumbatan lubang injektor dan kotorannya/tersumbatnya *intercooler*. Untuk itu perawatan dan pengujian injektor secara rutin dengan menggunakan tekanan kerja sesuai manual book perlu dilakukan serta cleaning *intercooler* baik sisi udara maupun air tawar harus dilakukan secara rutin.

Kata Kunci: *intercooler*, *injektor*, gas buang, mesin induk, kapal

ABSTRACT

Mohammad Zidane Valeri, "Effect Of Intercooler Temperature And Injektor Fogging On The Exhaust Gases Of The Ship's Main Propulsion Engine". Guided By Supervisor I, Eko Prayitno. S.Pd, M.M. And Supervisor Ii, Kuntoro Bayu Ajie, S.Kom, M.T.

This study aims to determine the factors causing the increase in exhaust gas temperature due to disturbances in the injektor and intercooler systems of the ship's main engine, as well as to provide solutions and knowledge regarding the handling of problems in the injektor and intercooler systems during the operation of the ship's main engine. The data collection techniques used in this study include observation, interviews, documentation, and statistical testing to obtain accurate data and support the research results. The ship's main propulsion engine is a critical component that plays a role in the ship's operational efficiency. High exhaust gas temperatures can affect engine performance in several aspects, including fuel efficiency, output power, and engine component life. The results showed that there was a significant relationship between increased exhaust gas temperature and decreased engine efficiency. The high exhaust gas temperature contributes to increased fuel consumption and decreased engine output power. In addition, the high exhaust gas temperature also accelerates the wear of engine components, thereby reducing the overall service life of the engine. The main factors that affect the high temperature of the main engine are the narrowing/blockage of the injektor hole and the dirty/clogged intercooler. For this reason, routine maintenance and testing of the injektor using working pressure according to the manual book needs to be carried out and cleaning the intercooler on both the air and fresh water sides must be done regularly..

Keywords: *intercooler, injektor, exhaust, master engine, vessel*

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat merampungkan karya ilmiah terapan ini tepat pada waktunya. Penyusunan karya ini merupakan salah satu syarat kelulusan program Pendidikan Diploma IV di Politeknik Pelayaran Surabaya, dengan judul **"PENGARUH SUHU *INTERCOOLER* DAN PENGABUTAN INJEKTOR TERHADAP GAS BUANG MESIN PENGGERAK UTAMA KAPAL"**.

Penulis menyadari bahwa karya ilmiah terapan ini masih jauh dari kesempurnaan, baik dari segi penyajian materi maupun sistematika penulisan. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang.

Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang tulus kepada:

1. Kepada Bapak MOEJIONO, M.T, M.Mar.E. selaku Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya, atas kebijakan dan pembinaan yang diberikan kepada seluruh taruna-taruni.
2. Kepada Bapak ANTONIUS EDY KRISTIYONO, M.Mar.E, M.Pd. selaku Ketua Program Studi D-IV TRPK, atas bimbingan dan arahan yang terus diberikan kepada taruna-taruni, khususnya pada Program Studi TRPK.
3. Pembimbing I, Bapak EKO PRAYITNO, S.Pd.I, M.M., yang telah meluangkan waktu untuk memberikan masukan, arahan, serta bimbingan teknis dalam penyusunan materi karya ilmiah ini.
4. Pembimbing II, Bapak KUNTORO BAYU AJIE, S.Kom., M.T., yang telah memberikan masukan berharga serta arahan dalam menyempurnakan isi dan sistematika karya ilmiah ini.
5. Seluruh Civitas Akademika dan Dosen Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah membekali penulis dengan ilmu pengetahuan dan arahan selama masa Pendidikan.
6. Kedua Kedua orang tua tercinta, Bapak MOHAMMAD YUSUF, St dan Ibu TRI REJEKI, atas doa yang tidak pernah putus, kasih sayang, serta dukungan moral maupun materiil yang menjadi kekuatan utama penulis dalam menyelesaikan tugas ini.
7. Rekan-rekan Angkatan 13 dan Teman seperjuangan yang telah memberikan semangat, bantuan, dan dukungan dalam suka maupun duka selama proses penyusunan karya ilmiah ini.

Sebagai penutup, penulis berharap karya ilmiah terapan ini dapat memberikan manfaat nyata bagi pembaca serta menjadi referensi bagi pengembangan penelitian selanjutnya. Semoga hasil penelitian ini mampu memberikan kontribusi positif dalam penerapan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang maritim.

Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa memberikan petunjuk, kemudahan, dan perlindungan bagi kita semua dalam setiap langkah pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Surabaya, 2026

MOHAMMAD ZIDANE VALERI
NIT. 22 36 306 3 004

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL TUGAS AKHIR	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL TUGAS AKHIR	iv
PENGESAHAN PROPOSAL KARYA ILMIAH TERAPAN	v
PENGESAHAN LAPORAN KARYA ILMIAH TERAPAN	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Penelitian	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Batasan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian	3
E. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Review Penelitian Sebelumnya	5
B. Landasan Teori	7
C. Hipotesis Penelitian	38

D. Kerangka Pikir Penelitian	39
BAB III METODE PENELITIAN	44
A. Jenis Penelitian.....	44
B. Tempat/Lokasi dan Waktu Penelitian.....	44
C. Definisi Operasional Variabel	45
D. Sumber data.....	46
E. Teknik Pengumpulan Data	48
F. Teknik Analisis Data	49
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	55
A. Gambaran Umum Penelitian	55
B. Hasil Penelitian	59
C. Pembahasan.....	74
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	66
A. Simpulan	66
B. Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Review Penelitian Sebelumnya	5
Tabel 4. 1 Hasil pengukuran suhu air cooler sebelum maintenance	61
Tabel 4. 2 Hasil pengukuran suhu air cooler setelah maintenance.....	61
Tabel 4. 3 Kondisi pengabutan injektor menurut manual book	61
Tabel 4. 4 Pengabutan injektor dan suhu gas buang yang diperoleh	62
Tabel 4. 5 Hasil pengamatan suhu gas buang mesin induk daihatsu 6DK36.....	62
Tabel 4. 6 Wawancara engine crew terkait gas buang mesin induk	67
Tabel 4. 7 Uji deskriptif	68
Tabel 4. 8 Uji Normalitas	69
Tabel 4. 9 Uji korelasi	70
Tabel 4. 10 Model Summary	71
Tabel 4. 11 Uji F (Stimulan).....	71
Tabel 4. 12 Uji T (Parsial).....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Piston.....	8
Gambar 2.2 Flywheel.....	9
Gambar 2.3 Kepala Silinder.....	9
Gambar 2.4 Blok Silinder	10
Gambar 2.5 Crankshaft	10
Gambar 2.6 Turbocharger	11
Gambar 2.7 Intercooler	11
Gambar 2.8 Core Intercooler.....	12
Gambar 2.9 End Tanks.....	13
Gambar 2.10 Pipa.....	13
Gambar 2.11 Termometer bimetal gas buang	15
Gambar 2.12 Air raksa	16
Gambar 2.13 Termometer Inframerah.....	16
Gambar 2.14 Termometer Bimetal.....	16
Gambar 2.15 Injektor	17
Gambar 2.16 Injektor mekanik	19
Gambar 2.17 Injektor Elektronik	19
Gambar 2.18 Common rail system.....	20
Gambar 2.19 Nozzle needle	20
Gambar 2.20 Nozzle.....	21
Gambar 2.21 Nozzle Holder	21
Gambar 2.22 Pressure spring	22
Gambar 2.23 Langkah hisap	25
Gambar 2.24 Langkah Usaha dan Buang.....	26
Gambar 2.25 Langkah hisap (intake).....	27
Gambar 2.26 Kompresi	28
Gambar 2.27 Pembakaran dan pendorongan (power).....	28
Gambar 2.28 Pengeluaran gas buang (exhaust)	29
Gambar 2.29 Pompa bahan bakar	30
Gambar 2.30 Combustion Chamber.....	30
Gambar 2.31 Pengabutan injektor yang baik dan buruk.....	31
Gambar 2.32 Sistem bahan bakar mesin diesel.....	32
Gambar 2.33 Kerangka Pikir Penelitian.....	39
Gambar 4. 1 Logo perusahaan Hong Lam Marine.....	55
Gambar 4. 2 MT. Blossom	57
Gambar 4. 3 Ship Particular	59
Gambar 4. 4 Kondisi air cooler dan injektor normal	63
Gambar 4. 5 Kondisi jika salah satu tidak normal	63
Gambar 4. 6 Kondisi jika keduanya tidak normal.....	63

Gambar 4. 7 Hubungan suhu intercooler terhadap suhu gas buang mesin 64

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Penelitian

Kapal laut merupakan salah satu modal transportasi utama yang mendukung perdagangan global dan transportasi barang serta penumpang di seluruh dunia. Dalam operasinya, mesin penggerak utama kapal memainkan peran krusial dalam menjamin keberlangsungan perjalanan kapal tersebut.

Salah satu faktor yang sangat mempengaruhi kinerja mesin penggerak utama kapal adalah suhu gas buang yang dihasilkan selama proses pembakaran. Suhu gas buang ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis bahan bakar yang digunakan, rancangan mesin, suhu *intercooler*, injektor dan kondisi operasional kapal.

Dalam industri maritim, peningkatan efisiensi dan performa mesin penggerak utama kapal menjadi fokus utama untuk meningkatkan kinerja operasional kapal secara keseluruhan. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi adalah dengan memahami dan mengoptimalkan pengaruh suhu gas buang terhadap kinerja mesin. Tingginya suhu gas buang adalah faktor krusial yang dapat berdampak signifikan terhadap kinerja mesin penggerak utama kapal. Emisi gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar pada motor mengandung beberapa senyawa hasil pembakaran. Secara teoritis, gas buang tersebut terdiri atas uap air (H_2O), hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), serta senyawa oksida nitrogen seperti nitrogen oksida (NO_x) dan nitrogen dioksida (NO_2), serta sulfur dioksida (SO_2)

(Machmud et al., 2021). Selain itu, suhu gas buang yang tinggi juga dapat memengaruhi pembentukan nitrogen oksida.

Tingginya suhu gas buang dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja mesin, baik dalam hal efisiensi pembakaran maupun umur pakai komponen mesin. Namun, masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami secara mendalam bagaimana tingginya suhu gas buang mempengaruhi kinerja mesin penggerak utama kapal. Dengan mempertimbangkan signifikansi permesinan kapal sebagai elemen penting dalam menggerakkan dan mendukung operasional kapal, salah satu komponen kunci yang terdapat dalam motor utama adalah injektor bahan bakar. Untuk memastikan kelancaran operasional kapal, perawatan yang cermat terutama pada bagian motor utama, yakni injektor, sangatlah penting. Injektor berfungsi untuk menyembrotkan bahan bakar agar pembakaran dalam mesin dapat berjalan secara optimal. Bagian dalam injektor memiliki nozzle yang bertugas melakukan penyemprotan bahan bakar. Jika nozzle pada injektor mengalami penyumbatan, kinerja penyemprotan dari injektor menjadi kurang efisien. Selain itu, jika pada akhir penyemprotan terjadi kebocoran atau tetesan dari injektor bahan bakar, pembakaran yang tidak optimal dapat terjadi, mengganggu operasional kapal secara keseluruhan dan menghambat aktivitas di laut.

Dengan latar belakang ini, penulis tertarik untuk mengangkat sebuah topik penelitian yang berjudul. “PENGARUH SUHU *INTERCOOLER* DAN PENGABUTAN INJEKTOR TERHADAP GAS BUANG MESIN PENGGERAK UTAMA KAPAL”

B. Rumusan Masalah

1. Apa saja penyebab dari peningkatan temperatur gas buang yang disebabkan oleh injektor dan *intercooler* di system mesin penggerak utama kapal?
2. Apa saja upaya yang dapat dilakukan pada *intercooler* dan injektor untuk mengatasi peningkatan suhu gas buang?

C. Batasan Masalah

Batasan masalah yang disusun dengan maksud untuk menjadi fokus penelitian pada penulisan ini yaitu mengenai tingginya suhu temperature gas buang yang dipengaruhi oleh injektor dan *intercooler* pada mesin induk kapal.

D. Tujuan Penelitian

- a. Untuk mengetahui faktor penyebab meningkatnya suhu gas buang yang disebabkan oleh *injektor* dan *intercooler* terhadap mesin induk kapal.
- b. Memberikan solusi serta pengetahuan terhadap permasalahan sistem *injektor* dan *intercooler* dalam mesin induk kapal.

E. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini akan memberikan pemahaman yang mendalam tentang berbagai faktor yang menyebabkan peningkatan suhu gas buang pada mesin penggerak utama kapal. Dengan mengetahui penyebabnya, langkah-langkah yang tepat dapat diambil untuk mengendalikan peningkatan suhu gas buang

tersebut. Agar pembaca dapat mengetahui langkah untuk melakukan perawatan sistem injektor dan *intercooler* pada mesin kapal secara berkala.

2. Manfaat Praktis

a. Bagi Crew Kapal dan Perusahaan

Menjadi pedoman dan sumber informasi bagi crew kapal, sekaligus sebagai referensi yang berarti mengenai pengaruh suhu intercooler dan pengabutan injektor terhadap suhu gas buang terhadap kinerja mesin penggerak utama kapal.

b. Bagi Politeknik Pelayaran Surabaya

Menjadi koleksi terutama untuk perpustakaan Politeknik Pelayaran Surabaya sebagai sumber informasi maupun referensi pembelajaran yang ditujukan untuk Taruna/i Politeknik Pelayaran Surabaya.

c. Bagi penulis dan Taruna/i

Penelitian ini menjadi sarana bagi penulis untuk mengimplementasikan ilmu yang didapat sekaligus mendalami problematika maritim secara lebih luas. Karya ilmiah ini juga disusun sebagai referensi tambahan bagi rekan-rekan taruna di Surabaya guna mempermudah proses pencarian informasi akademik. Selain sebagai bahan bacaan, tulisan ini bertujuan menyelaraskan antara teori di bangku perkuliahan dengan kondisi nyata yang akan dihadapi saat melaksanakan praktik kerja di lapangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Adapun hasil dari penelitian yang dilakukan peneliti sebelumnya sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Review Penelitian Sebelumnya

No	Judul	Penulis	Tahun	Hasil Penelitian
1	Analisis Tingginya Temperatur Gas Buang Pada Mesin Penggerak Utama Kapal MT. Gunung Geulis	Ismail	2021	Dari judul yang pertama mendapatkan masalah yang mengakibatkan tingginya temperatur gas buang adalah menyempitnya nozzle injektor yang diakibatkan oleh beberapa faktor, antara lain; Disebabkan oleh partikel karbon sisa pembakaran yang kurang sempurna yang menempel dibagian ujung nozzle yang dibiarkan/jarang dilakukan perawatan sehingga terjadi penumpukan karbon dan mengakibatkan penyempitan nozzle injektor, Bahan bakar yang kotor merupakan faktor kedua dari penyempitan nozzle dikarenakan kotoran bahan bakar yang tidak tertahan oleh saringan dan tertahan pada lubang-lubang nozzle yang lebih kecil dari kotoran-kotoran yang terkandung dalam bahan bakar. Setelah itu longgarnya komponen pada injektor merupakan penyebab tingginya temperatur gas buang, dikarenakan longgarnya komponen tersebut dapat menghasilkan tetesan bahan bakar di dalam ruang bakar yang mengakibatkan pembakaran tidak sempurna sehingga bahan bakar boros dan asap mengebul. Untuk penanganan penyempitan nozzle ialah dilakukan pembersihan/perawatan nozzle ataupun overhaul nozzle sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh produsen. Pada penelitian ini menggunakan metode penelitian lapangan (Field Research), dan metode penelitian pustaka (Library

No	Judul	Penulis	Tahun	Hasil Penelitian
				Research). Penyajian penulisan skripsi ini menggunakan metode deskriptif, metode ini digunakan untuk memaparkan secara rinci data yang diperoleh dengan tujuan untuk memberikan informasi mengenai perencanaan terhadap masalah yang timbul berhubungan dengan materi ini.
2	Analisis Pengaruh Naiknya Temperatur Gas Buang terhadap Daya Kerja Mesin Induk Di Kapal AHTS Magnan Imous	Jakson Revo Tikus	2023	Pada judul kedua ini mendapatkan hasil dari penyebab naiknya temperatur gas buang dikarenakan benyebab yang sama yaitu tersumbatnya nozzle injektor, dikarenakan kurangnya perawatan pada komponen pendukung bahan bakar seperti tangki bahan bakar dan saringan bahan bakar. Selain itu, menempelnya karbon sisa pembakaran pada ujung nozzle termasuk faktor dari tersumbatnya ujung nozzle. Menetesnya bahan bakar dari nozzle yang mengakibatkan penyemprotan bahan bakar di ruang bakar tidak terbakar sempurna. Pada jurnal ini menggunakan 2 metode penelitian yaitu : Metode survei (observasi), dan Metode penelitian pustaka (libraryresearch). Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data kualitatif.

Sumber: Diolah Peneliti

Penelitian yang dilakukan penulis memiliki perbedaan dengan penelitian terdahulu, yaitu tidak hanya membahas pengaruh kondisi injektor terhadap temperatur gas buang, tetapi juga menganalisis pengaruh suhu intercooler terhadap gas buang mesin penggerak utama. Penelitian ini lebih difokuskan pada hubungan antara suhu udara masuk hasil pendinginan intercooler dan kualitas pengabutan injector terhadap proses pembakaran yang mempengaruhi kondisi gas buang mesin induk. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kajian yang lebih luas mengenai faktor-faktor yang

mempengaruhi performa pembakaran dan temperatur gas buang pada mesin penggerak utama kapal.

B. Landasan Teori

Guna mempermudah pemahaman pembaca terhadap maksud dari penulisan Karya Ilmiah Terapan ini, penulis merangkum gagasan dan konsep dasar yang menjadi fondasi riset. Penelitian yang mengkaji korelasi antara suhu *intercooler*, kualitas pengabutan injektor, dan emisi gas buang mesin induk ini sangat bergantung pada landasan teori yang kredibel. Sebagaimana ditegaskan oleh (Nguyen et al. 2020), kerangka penelitian yang tangguh hanya dapat dibentuk melalui teori yang kuat. Maka dari itu, beberapa definisi dan tinjauan literatur yang berkaitan erat dengan judul penelitian ini akan dijabarkan lebih lanjut.

1. Pengaruh

Merujuk pada Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), pengaruh diartikan sebagai kekuatan yang berasal dari seseorang atau sesuatu yang mampu membentuk watak, kepercayaan, hingga perilaku individu (Adiwimarta, 2022). Fenomena ini dipandang sebagai kemampuan untuk mengintervensi atau mentransformasi tindakan orang lain, dengan hasil akhir yang dapat berdampak positif maupun negatif, bergantung pada niat dan sumber pengaruhnya.

2. Mesin diesel

Mesin diesel dikategorikan sebagai mesin pembakaran dalam karena mekanisme penyalan bahan bakarnya memanfaatkan semprotan bahan

bakar ke dalam udara bertekanan tinggi hasil proses kompresi. Kinerja mesin ini sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor operasional, dengan piston sebagai salah satu elemen vitalnya. Menurut (Prasetyo dkk. 2020), pengembangan desain piston yang lebih modern—termasuk optimalisasi permukaan dan penggunaan alur khusus—mampu memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan efisiensi total mesin diesel. Adapun komponen lain pada mesin diesel sebagai berikut:

a. Batang piston dan piston (*piston and connecting rod*)



Gambar 2.1 Piston

Sumber: <https://short-url.org/1nJsg>

Piston berperan sebagai elemen pengatur volume di dalam silinder guna memastikan efisiensi performa mesin. Melalui gerakan resiprok (naik-turun), komponen ini berfungsi melakukan kompresi pada campuran udara dan bahan bakar sekaligus mendorong gas sisa pembakaran keluar dari sistem. Sementara itu, batang piston bertindak sebagai penghubung antara piston dengan poros engkol. Dalam setiap siklusnya, batang piston dituntut memiliki fleksibilitas gerak yang baik serta ketahanan material yang tinggi terhadap beban termal. Fungsi utamanya adalah mentransformasikan gerakan translasi piston menjadi energi putar yang diteruskan ke arah *flywheel*.

b. *Flywheel*

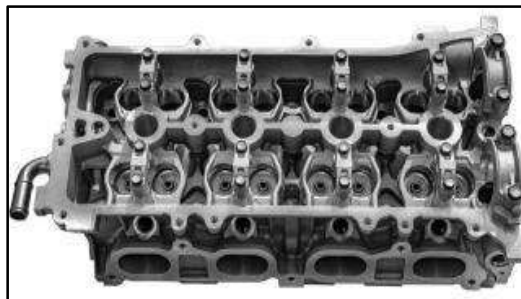


Gambar 2.2 *Flywheel*

Sumber: <https://blogger.googleusercontent.com/img/b/R29vZ2xl/>

Flywheel merupakan komponen penting dalam mesin diesel, berfungsi untuk menyimpan energi dan menjaga kestabilan putaran mesin. Penelitian terbaru telah menunjukkan bahwa optimalisasi desain *flywheel*, seperti pemilihan material yang tepat dan pengaturan dimensi, dapat meningkatkan kapasitas penyimpanan energi dan efisiensi keseluruhan mesin diesel (Sulistyo et al., 2021).

c. Kepala silinder (*cylinder head*)



Gambar 2.3 *Kepala Silinder*

Sumber: https://www.suzukicdn.com/uploads/news/kepala_silinder.

Kepala silinder merupakan komponen yang dipasangkan pada bagian atas blok silinder untuk menutup ruang bakar. Mengingat fungsinya yang krusial, komponen ini umumnya diproduksi menggunakan material paduan aluminium (*aluminum alloy*) untuk

memastikan ketahanan optimal terhadap tekanan dan suhu ekstrem yang dihasilkan selama proses pembakaran.

d. Blok silinder (*cylinder block*)



Gambar 2.4 Blok Silinder

Sumber: <https://cdn.globalso.com/zhdden/3SZ.jpg>

Blok silinder adalah komponen utama dalam mesin mobil yang berfungsi sebagai wadah atau rumah bagi beberapa komponen mesin, fungsi blok silinder adalah sebagai tempat naik turunnya piston, sebagai tempat terjadinya proses pembakaran bahan bakar, dan sebagaiudukan untuk silinder liner, kepala silinder, dan fly wheel.

e. *Crankshaft*



Gambar 2.5 *Crankshaft*

Sumber: <https://short-url.org/1sZix>

Crankshaft atau poros engkol merupakan komponen vital yang terletak pada blok silinder, tepatnya di bawah piston. Komponen ini

berfungsi sebagai pengonversi gerakan translasi (naik-turun) piston menjadi gerakan rotasi (putar), yang kemudian diteruskan untuk menggerakkan *flywheel* secara optimal guna mendukung sistem transmisi tenaga mesin.

f. *Turbocharger*

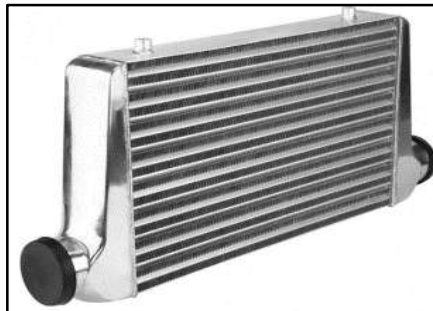


Gambar 2.6 *Turbocharger*

Sumber: <https://tinyurl.com/yxmx3p4a>

Turbocharger adalah kompresor sentrifugal yang mendapatkan tenaganya dari turbin yang ditenagai oleh gas buang mesin. Biasanya digunakan di mesin pembakaran dalam untuk meningkatkan keluaran tenaga dan efisiensi mesin dengan meningkatkan tekanan udara yang memasuki mesin.

g. *Intercooler*



Gambar 2.7 *Intercooler*

Sumber: <https://www.hyundai.com/content/dam/hyundai/>

Intercooler merupakan perangkat penukar panas yang berfungsi

mendinginkan udara bertekanan hasil induksi *turbocharger* sebelum disalurkan ke ruang bakar. Menurut Utami (2024), udara dengan temperatur yang lebih rendah memiliki densitas atau kerapatan yang lebih tinggi, sehingga volume oksigen yang masuk ke silinder menjadi lebih besar. Hal ini secara langsung meningkatkan efisiensi pembakaran di dalam mesin.

1) Fungsi utama *intercooler*

a) Meningkatkan kualitas mesin

Udara dingin yang lebih padat meningkatkan jumlah oksigen yang masuk ke mesin, sehingga pembakaran bahan bakar lebih efisien dan menghasilkan lebih banyak tenaga.

b) Mengurangi konsumsi bahan bakar

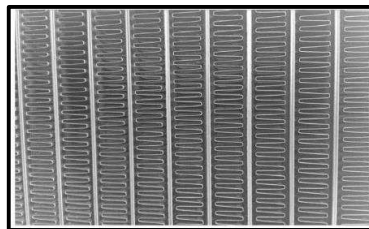
Dengan pembakaran yang lebih baik, mesin menjadi lebih efisien dan menggunakan bahan bakar lebih sedikit.

c) Mengurangi emisi gas buang

Pembakaran yang lebih sempurna mengurangi jumlah gas berbahaya yang dilepaskan ke udara.

2) Bagian-bagian *intercooler*

a) Inti (*core*)



Gambar 2.8 *Core Intercooler*

Sumber: <https://tinyurl.com/d4vd4jvk>

Bagian utama yang terdiri dari sirip-sirip pendingin dan pipa- pipa untuk aliran udara panas. Biasanya terbuat dari aluminium karena ringan dan memiliki konduktivitas termal yang baik.

b) Tangki ujung (*End Tanks*)



Gambar 2.9 *End Tanks*

Sumber: <https://images.squarespace.com/content/>

Bagian di kedua ujung *intercooler* yang mengarahkan udara masuk dan keluar dari inti disebut end tank. Komponen ini berfungsi sebagai penyalur aliran udara, memastikan distribusi udara merata ke seluruh inti *intercooler* serta mengumpulkan kembali udara setelah melewati proses pendinginan, sehingga aliran tetap efisien dan tekanan udara dapat terjaga dengan baik.

c) Pipa dan selang



Gambar 2.10 Pipa

Sumber: <https://ae01.alicdn.com/kf/>

Menghubungkan *intercooler* dengan *turbocharger* dan *intake manifold* sehingga udara bertekanan dari *turbocharger* dapat didinginkan terlebih dahulu sebelum masuk ke *intake*

manifold. Pendinginan udara ini bertujuan untuk meningkatkan kerapatan udara agar suplai oksigen ke ruang bakar lebih optimal, sehingga proses pembakaran menjadi lebih efisien dan performa mesin dapat meningkat.

3) Lokasi *Intercooler*

Intercooler dipasang di antara *turbocarger* dan *intake manifold*, biasanya di tempat yang memungkinkan aliran udara atau air pendingin terbaik.

4) Perawatan *intercooler*

Pemeriksaan rutin perlu dilakukan dengan memeriksa *intercooler* secara berkala untuk mendeteksi adanya kebocoran atau kerusakan sejak dini. Selain itu, pembersihan juga sangat penting, yaitu dengan membersihkan *intercooler* dari debu, minyak, dan kotoran lainnya agar kinerjanya tetap optimal dan proses pendinginan udara dapat berlangsung secara efisien.

3. Pengertian suhu temperature

Suhu didefinisikan sebagai besaran yang merepresentasikan derajat panas atau dinginnya suatu objek, yang secara teknis diukur menggunakan termometer (Sri Indarwati, 2019). Dalam sistem termal, suhu dinyatakan dalam satuan Celsius atau Kelvin, di mana peningkatan suhu berbanding lurus dengan energi kinetik partikel di dalamnya. Pemahaman mengenai pengukuran suhu sangat krusial untuk menganalisis perpindahan panas dan respons material terhadap perubahan lingkungan. Merujuk pada *manual book Daihatsu 6DK36*, fluktuasi atau peningkatan temperatur gas buang

pada mesin induk dipengaruhi oleh beberapa faktor teknis, di antaranya :

- a. Temperatur udara bilas tinggi, temperatur udara bilas tinggi dapat disebabkan antara lain:
 - 1) Volume air pendingin *intercooler* berkurang
 - 2) Pengotoran pada *intercooler* (sisi air pendingin dan sisi udara)
 - 3) Suhu ruang mesin terlalu tinggi
- b. *Bost pressure* tinggi, *Bost pressure* tinggi dipengaruhi oleh ruang mesin yang berada pada tekanan *negative*
 - 1) Properti dari bahan bakar yang tidak sesuai
 - 2) *Overload*

Adapun alat yang di gunakan untuk mengukur suhu yaitu *thermometer*. *Thermometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu (temperatur). Penggunaan *thermometer* yang akurat dan responsif dalam mesin diesel sangat penting untuk memantau kinerja mesin, seperti suhu oli, bahan bakar, dan gas buang (Wijaya et al., 2021). Istilah termometer berasal dari bahasa Latin "*thermo*" yang berarti panas dan "*meter*" yang berarti untuk mengukur.



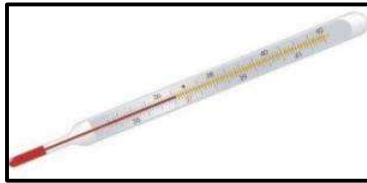
Gambar 2.11 Termometer bimetal gas buang

Sumber: <https://sc04.alicdn.com/kf/>

Termometer digunakan untuk mengukur suhu gas buang yang keluar dari mesin diesel generator. Pemeriksaan suhu gas buang dilakukan untuk

melihat kondisi katup gas buang dan mencegah kerusakan yang lebih parah di kemudian hari, Adapun jenis dari *thermometer* sebagai berikut:

a. Termometer air raksa



Gambar 2.12 Air raksa

Sumber: <https://qph.cf2.quoracdn.net>

Termometer yang menggunakan air raksa sebagai fluida yang mengembang ketika suhu meningkat.

b. Termometer inframerah



Gambar 2.13 Termometer Inframerah

Sumber: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?>

Termometer yang menggunakan sinar inframerah untuk mengukur suhu.

c. Termometer bimetal mekanik



Gambar 2.14 Termometer Bimetal

Sumber: <https://sc04.alicdn.com/kf/>

Termometer yang menggunakan dua logam yang berbeda untuk mengukur perbedaan suhu.

4. Gas buang mesin diesel pada mesin induk kapal

Emisi gas buang pada mesin diesel, khususnya kandungan Nitrogen Oksida (NOx), merupakan fokus perhatian utama dalam sektor otomotif dan maritim. Untuk mengatasi hal tersebut, teknologi *Selective Catalytic Reduction* (SCR) telah terbukti efektif dalam mereduksi kadar NOx melalui metode injeksi urea ke dalam aliran gas buang (Nugroho et al., 2020). Idealnya, proses pembakaran bahan bakar yang sempurna akan meminimalisir kandungan zat pencemar beracun. Meskipun demikian, sisa pembakaran tetap menghasilkan senyawa seperti Karbon Dioksida (CO_2), uap air (H_2O), Nitrogen Oksida (NOx), serta partikulat yang dilepaskan ke lingkungan melalui sistem pembuangan atau knalpot.

Injektor merupakan komponen terminal dalam sistem bahan bakar mesin diesel yang berfungsi untuk menginjeksikan bahan bakar bertekanan tinggi secara langsung ke dalam ruang bakar (Yanuar et al., 2021).



Gambar 2.15 Injektor

Sumber: <https://image.made-in-china.com/>

Selain menyemprotkan bahan bakar, injektor memegang peranan krusial dalam proses atomisasi, yaitu memecah molekul bahan bakar menjadi butiran halus demi mencapai efisiensi pembakaran yang optimal

(Khusniawati, 2020). Selain itu, efektivitas atomisasi bahan bakar ke dalam ruang bakar sangat bergantung pada kondisi mekanis komponen internal injektor, seperti *nozzle*, *spring*, *adjusting screw*, serta *compression spring* dan *tappet*. Apabila seluruh elemen tersebut berada dalam keadaan prima, maka distribusi bahan bakar akan berlangsung secara presisi, yang pada akhirnya akan menghasilkan siklus pembakaran paling optimal (Eko, 2023). Sistem ini juga bertugas mengontrol sinkronisasi waktu (*timing*) penyemprotan, yang berdampak langsung pada *output* performa mesin serta karakteristik emisi gas buang. Siklus kerja sistem ini dimulai dari penarikan bahan bakar oleh pompa (*fuel pump*) dari tangki, yang kemudian melewati filter untuk proses filtrasi sebelum akhirnya dikabutkan oleh injektor. Secara operasional, sistem injektor menjalankan fungsinya melalui beberapa tahapan utama, antara lain :

a. Penyemprotan

Pada fase ini, jarum injektor (*nozzle needle*) terangkat sehingga bahan bakar bertekanan tinggi mengalir melalui lubang-lubang nosel (*orifice*). Proses ini menghasilkan atomisasi bahan bakar dalam bentuk kabut halus guna memastikan pencampuran udara dan bahan bakar yang homogen di dalam ruang bakar.

b. Pengaturan waktu

Pada tahap kedua, unit kontrol mesin (ECU) mengatur kerja injektor untuk memastikan pelepasan bahan bakar terjadi dengan sinkronisasi waktu (*timing*) yang presisi. Pengaturan ini disesuaikan dengan data posisi poros engkol (*crankshaft*) serta parameter kebutuhan

operasional mesin secara real-time.

c. Pengaturan jumlah

Volume bahan bakar yang diinjeksikan dapat dikalibrasi secara dinamis mengikuti kondisi operasional mesin. Hal ini memungkinkan penyesuaian suplai bahan bakar yang presisi untuk memenuhi kebutuhan daya, baik pada saat akselerasi maupun ketika mesin menghadapi beban kerja yang berat.

Injektor sendiri memiliki beberapa jenis yang berbeda sebagai berikut:

a. Injektor mekanik



Gambar 2.16 Injektor mekanik

Sumber: <https://dieselpunkcore.com/>

Mekanisme ini biasanya menggunakan katup yang dipengaruhi oleh tekanan udara atau bahan bakar.

b. Injektor elektronik

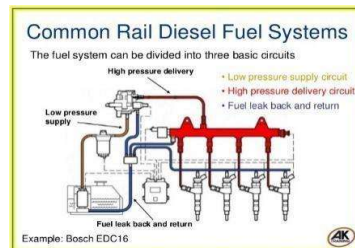


Gambar 2.17 Injektor Elektronik

Sumber: <https://image.made-in-china.com/>

Injektor elektronik adalah jenis injektor yang menggunakan sistem elektronik untuk mengatur jumlah bahan bakar yang disemprotkan ke dalam silinder. Sistem elektronik ini biasanya menggunakan sensor untuk mendeteksi kondisi mesin dan mengatur injektor secara otomatis.

c. Injektor *common rail system*



Gambar 2.18 Common rail system

Sumber: <https://shasolo.com/wp-content/uploads/>

Injektor *common rail* adalah jenis injektor yang menggunakan sistem common rail untuk mengatur jumlah bahan bakar yang disemprotkan ke dalam silinder. Sistem *common rail* ini menggunakan tekanan tinggi untuk mengumpulkan bahan bakar dan mengirimkannya ke *injektor* (Li et al., 2021).

Pada *injektor* ada beberapa bagian yang berperan penting dalam proses kerja dari *injektor* tersebut, berikut bagian yang berperan dalam proses kerja sebagai berikut:

a. *Nozzle needle* (jarum pengabut)



Gambar 2.19 Nozzle needle

Sumber: <http://repository.unimar-amni.ac.id/3356/2/3.BAB%202.pdf>

Jarum pengabut memiliki fungsi krusial dalam meregulasi volume bahan bakar yang diinjeksikan melalui nosel. Mekanisme penutupan jarum ini dikendalikan oleh pegas tekan, di mana besarnya tekanan dapat dikalibrasi melalui baut penyetel. Secara operasional, tekanan minyak akan menghasilkan gaya pada permukaan kerucut jarum. Gaya aksial yang timbul kemudian akan mendorong jarum ke atas, melawan kekuatan pegas, sehingga proses pengabutan dapat terjadi.

b. *Nozzle* (mulut pengabut)



Gambar 2.20 *Nozzle*

Sumber: <http://repository.unimar-amni.ac.id/3356/2/3.BAB%202.pdf>

Nozzle atau mulut pengabut berfungsi untuk mengatomisasikan bahan bakar ke dalam ruang bakar. Begitu fase injeksi berakhir, terjadi penurunan tekanan yang mengakibatkan jarum kembali ke posisi menutup padaudukannya. Dinamika pergerakan jarum ini dapat dimonitor melalui jarum periksa. Dalam mekanisme ini, operasional pompa injeksi menentukan titik awal dan titik akhir penyemprotan bahan bakar secara presisi sesuai kebutuhan mesin.

c. *Nozzle Holder*



Gambar 2.21 *Nozzle Holder*

Sumber: <http://repository.unimar-amni.ac.id/3356/2/3.BAB%202.pdf>

Nozzle holder merupakan elemen vital pada *injektor nozzle* yang berperan sebagai jalur penghubung antara unit injektor dengan pipa bahan bakar bertekanan tinggi. Komponen ini dirancang dengan struktur ulir khusus guna memfasilitasi sambungan ke pipa tekanan tinggi, yang kemudian diperkuat menggunakan mur pengikat agar koneksi tetap rapat dan aman.

d. *Pressure spring*



Gambar 2.22 *Pressure spring*

Sumber: <http://repository.unimar-amni.ac.id/3356/2/3.BAB%202.pdf>

Pegas tekanan adalah salah satu komponen injektor nozzle yang berfungsi mengembalikan tekanan injeksi setelah proses injeksi selesai. Pegas tekanan ini menekan nozzle needle sehingga kembali menutup saluran, mencegah aliran bahan bakar setelah proses injeksi selesai.

5. Pembakaran dan jenis-jenis bahan bakar

Secara fundamental, pembakaran merupakan reaksi kimia eksotermik antara bahan bakar dan oksigen yang berlangsung di dalam ruang bakar. (Alfani., 2021) menyatakan bahwa proses ini pada dasarnya adalah reaksi oksidasi yang melepaskan energi dalam bentuk panas. Dalam analisis termodinamika, terdapat tiga klasifikasi utama kondisi pembakaran yang krusial untuk dipahami, yakni pembakaran sempurna (*complete combustion*), pembakaran tidak sempurna (*incomplete combustion*), dan

pembakaran dengan udara berlebih (*excess air combustion*).

a. Pembakaran sempurna

Pembakaran sempurna didefinisikan sebagai kondisi di mana bahan bakar yang disuplai ke dalam silinder bereaksi dengan jumlah udara yang melebihi kebutuhan udara teoritis (stoikiometri), sehingga seluruh molekul bahan bakar dapat teroksidasi sepenuhnya (Bakar et al., 2022). Proses ini menghasilkan produk sisa pembakaran yang optimal, yang secara langsung meningkatkan efisiensi termal mesin serta meminimalisir pembentukan emisi gas buang yang berbahaya.

b. Pembakaran tidak sempurna

Faktor Salah satu faktor determinan yang memicu terjadinya pembakaran tidak sempurna pada mesin diesel adalah kualitas tekanan pengabutan bahan bakar pada injektor (*nozzle*) yang tidak optimal (Ulhaq, 2019). Kondisi ini menyebabkan timbulnya produk sampingan yang berbahaya serta penurunan efisiensi termal mesin secara signifikan. Selain itu, fenomena ini berdampak buruk pada lingkungan akibat meningkatnya konsentrasi emisi polutan yang dihasilkan.

c. Pembakaran dengan udara berlebihan

Pembakaran dengan udara berlebihan terjadi ketika jumlah udara yang masuk ke dalam mesin melebihi jumlah yang diperlukan untuk pembakaran sempurna. Meskipun ini menghasilkan pembakaran yang lebih bersih dengan emisi yang rendah, namun dapat menurunkan efisiensi mesin karena energi yang digunakan untuk memanaskan udara berlebihan tersebut.

Sementara itu, Jenis bahan bakar yang dioperasikan pada mesin induk kapal sangat bervariasi, menyesuaikan dengan preferensi operator serta ketersediaan di wilayah setempat. Secara definisi, bahan bakar merupakan substansi dalam bentuk padat, cair, maupun gas yang diproses melalui pembakaran untuk menghasilkan energi. Menurut (Bakar et al. 2022), bahan bakar adalah material penyimpan energi termal yang dapat dilepaskan dan dikelola menjadi tenaga mekanis atau panas. Komoditas seperti solar (diesel), bensin, gas alam, dan batu bara merupakan contoh nyata dari sumber energi ini yang umum digunakan pada kendaraan dan sistem pemanas. Penggunaan bahan bakar yang efisien dan ramah lingkungan semakin diperhatikan untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Beberapa bahan bakar yang umum digunakan meliputi:

a. Bahan bakar High Speed Diesel (HSD)

Bahan bakar diesel, yang secara komersial dikenal sebagai *High Speed Diesel* (HSD) atau minyak solar, merupakan derivat hidrokarbon yang dihasilkan melalui proses distilasi minyak bumi pada rentang temperatur 200°C hingga 340°C (Haryono, 2019). Berbeda dengan bensin, bahan bakar ini karakteristiknya tidak diukur dengan angka oktan, melainkan melalui indeks cetane untuk memastikan efisiensi pembakaran pada mesin diesel guna menghasilkan daya yang optimal.

b. Bahan bakar *Heavy Fuel Oil* (HFO)

Bahan bakar *heavy fuel oil* adalah bahan bakar yang lebih kental dan berat daripada bahan bakar diesel. Biasanya digunakan dalam mesin diesel dua langkah atau mesin turbin gas untuk menghasilkan tenaga.

c. Bahan bakar gas (Natural Gas atau LNG)

Penggunaan bahan bakar gas, seperti gas alam atau LNG (*Liquefied Natural Gas*), semakin populer dalam industri perkapalan karena sifatnya yang lebih bersih dan ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar fosil lainnya.

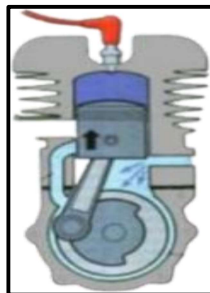
Pemilihan jenis pembakaran dan bahan bakar yang tepat sangat penting dalam operasi mesin induk kapal, karena dapat mempengaruhi efisiensi, emisi, dan kinerja keseluruhan mesin. Oleh karena itu, pemahaman yang baik tentang karakteristik masing-masing jenis pembakaran dan bahan bakar menjadi kunci dalam pengelolaan operasional kapal yang efisien dan berkelanjutan.

6. Siklus pembakaran mesin 2 Tak dan 4 Tak pada mesin induk kapal

Pada mesin induk kapal, baik yang menggunakan siklus pembakaran 2 tak maupun 4 tak, mengikuti serangkaian langkah-langkah untuk menghasilkan tenaga yang diperlukan untuk menggerakkan kapal. Berikut ini adalah gambaran singkat mengenai langkah-langkah siklus pembakaran kedua jenis mesin:

a. Siklus pembakaran mesin 2 Tak

1) Langkah hisap dan kompresi

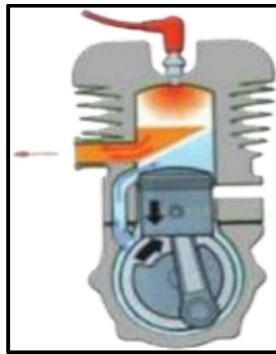


Gambar 2.23 Langkah hisap

Sumber: [:mesin-4-tak-2023-carmudi3.jpg \(700×400\)\(icarcdn.com\)](https://www.icarcdn.com/mesin-4-tak-2023-carmudi3.jpg)

Saat piston bergerak menuju Titik Mati Atas (TMA), tercipta kondisi vakum di ruang bawah piston yang memicu masuknya campuran udara dan bahan bakar. Secara simultan, di ruang atas piston berlangsung proses kompresi yang mengakibatkan peningkatan suhu serta tekanan muatan udara-bahan bakar secara signifikan. Sesaat sebelum piston mencapai TMA (sekitar $10-15^\circ$), busi akan memicu percikan api. Hal ini menyebabkan campuran yang telah terkompresi tersebut terbakar dan menghasilkan ledakan ekspansi.

2) Langkah usaha dan buang



Gambar 2.24 Langkah Usaha dan Buang

Sumber: [mesin-4-tak-2023-carmudi3.jpg \(700×400\) \(icarcdn.com\)](https://mesin-4-tak-2023-carmudi3.jpg)

Energi yang dihasilkan dari proses pembakaran mendorong piston untuk bergerak ke arah bawah. Selama pergerakan ini, area di bawah piston mengalami pengecilan volume yang mengakibatkan kompresi pada campuran udara dan bahan bakar. Hal tersebut memaksa muatan segar tersebut mengalir menuju ruang di atas piston melalui saluran bilas. Secara simultan, gas sisa hasil pembakaran terdesak menuju saluran buang untuk dialirkan keluar melalui

knalpot. Siklus operasional ini berlangsung secara kontinu dan berulang.

b. Siklus pembakaran mesin 4 Tak

Mesin diesel empat langkah didefinisikan sebagai motor pembakaran dalam yang memerlukan empat tahapan pergerakan piston untuk menghasilkan satu siklus kerja. Dalam mekanisme ini, seluruh rangkaian proses—mulai dari induksi hingga pembuangan—diselesaikan dalam dua rotasi penuh pada poros engkol. (Achmat et al., 2021). Berikut penjelasan dari setiap langkahnya:

1) Langkah hisap (*Intake*)



Gambar 2.25 Langkah hisap (*intake*)

Sumber: four-stroke-engine.jpg

Langkah induksi atau hisap diawali dengan pergerakan piston dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB). Selama fase ini, mekanisme katup memposisikan katup masuk dalam keadaan terbuka dan katup buang tertutup rapat, sehingga tercipta perbedaan tekanan yang memungkinkan muatan udara dan bahan bakar masuk ke dalam ruang bakar (Firmansyah.,et al 2021).

2) Kompresi



Gambar 2.26 Kompresi

Sumber: <https://www.speedwork.id/images/four-stroke-engine.jpg>

Piston naik kembali, memadatkan campuran bahan bakar dan udara di dalam ruang bakar.

3) Pembakaran dan pendorongan



Gambar 2.27 Pembakaran dan pendorongan (power)

Sumber: <https://www.speedwork.id/images/four-stroke engine.jpg>

Busi menyala dan membakar campuran bahan bakar dan udara yang terkompresi, menciptakan dorongan ke bawah pada piston, yang menghasilkan tenaga.

4) Pengeluaran gas buang (*exhaust*)



Gambar 2.28 Pengeluaran gas buang (*exhaust*)

Sumber: <https://www.speedwork.id/images/four-stroke-engine.jpg>

Piston kembali bergerak ke atas untuk mengeluarkan gas buang melalui katup pembuangan yang terbuka.

Dengan demikian, siklus pembakaran mesin 2 tak dan 4 tak pada mesin induk kapal memiliki langkah-langkah yang khas untuk mengekstrak tenaga dari bahan bakar dan udara, meskipun dengan perbedaan dalam jumlah langkah dan penempatan busi dalam siklus.

7. Sistem pembakaran pada mesin induk kapal

Sistem pembakaran pada mesin utama kapal merupakan salah satu komponen kunci yang memastikan kinerja optimal dan efisiensi operasional kapal. Sistem ini bertanggung jawab untuk mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanis yang digunakan untuk menggerakkan propulsi kapal.

a. Komponen utama

1) Pompa bahan bakar

Berfungsi untuk mengalirkan bahan bakar dengan cara memompa bahan bakar dari tangki dan mengalirkannya ke pompa

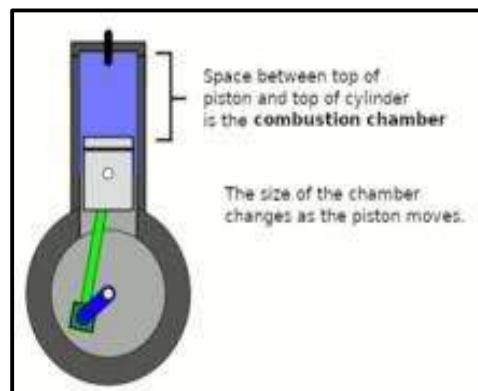
injeksi



Gambar 2.29 Pompa bahan bakar

Sumber: <https://partnerportal.dieseltechnic.com/>

2) Ruang Bakar (*combustion chamber*)



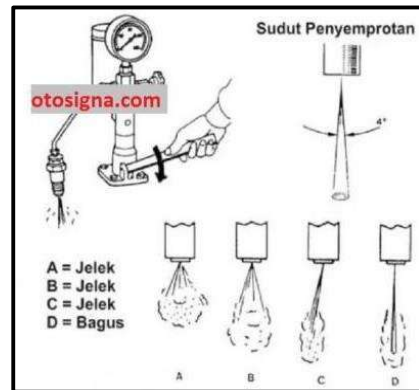
Gambar 2.30 Combustion Chamber

Sumber: <https://upload.wikimedia.org/>

Combustion chamber merupakan tempat di mana proses pembakaran sebenarnya terjadi.

3) Sistem penyemprotan bahan bakar

Bertanggung jawab untuk menyemprotkan bahan bakar ke dalam ruang bakar dengan jumlah dan tekanan yang sesuai. Dalam hal ini ada beberapa jenis pengabutan berdasarkan kondisi *nozzle* dari *injektor*.



Gambar 2.31 Pengabutan injektor yang baik dan buruk

Sumber: <https://www.otosigna.com/wp-content/>

4) Sistem pengatur udara

Mengatur jumlah udara yang masuk ke dalam ruang bakar untuk mencapai rasio udara-bahan bakar yang optimal.

b. Prinsip Pembakaran

Proses pembakaran dimulai dengan penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar bersamaan dengan pengaturan jumlah udara yang masuk. Api yang dihasilkan oleh pembakar kemudian membakar campuran udara-bahan bakar tersebut, menghasilkan panas yang digunakan untuk menghasilkan tenaga mekanis.

c. Pengaturan pembakaran

1) Rasio udara bahan bakar

Penting untuk menjaga rasio udara-bahan bakar pada tingkat yang optimal agar pembakaran berlangsung secara efisien.

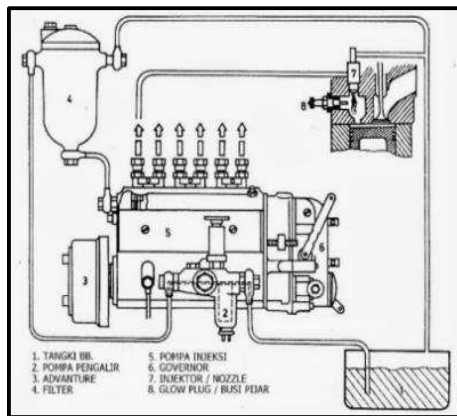
2) Pengaturan tekanan dan suhu

Tekanan dan suhu dalam ruang bakar harus diatur dengan cermat untuk mengoptimalkan proses pembakaran dan mencegah kerusakan pada komponen mesin.

d. Pengendalian emisi

- 1) Sistem pengendalian emisi gas buang diperlukan untuk memastikan bahwa emisi gas buang dari proses pembakaran tetap dalam batas yang aman dan sesuai dengan regulasi lingkungan.
- 2) Penggunaan teknologi pengendalian emisi seperti *catalytic converters* atau *scrubbers* dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dari gas buang kapal.

8. Sistem bahan bakar mesin diesel



Gambar 2.32 Sistem bahan bakar mesin diesel

Sumber: <http://2.bp.blogspot.com/>

Berdasarkan gambaran tersebut, mekanisme bahan bakar konvensional mengandalkan pompa tekanan tinggi untuk menyalurkan bahan bakar ke injektor sesuai dengan waktu pengapian yang telah ditentukan. Saat tekanan tersebut mencapai injektor, atomisasi bahan bakar ke dalam ruang bakar terjadi secara otomatis guna memulai pembakaran. Berikut adalah tahapan aliran bahan bakarnya:

- a. Bahan bakar dalam tangki ditarik oleh pompa mekanis eksternal melalui saluran bahan bakar bertekanan rendah.
- b. Sebelum menuju unit pemompaan utama, bahan bakar disaring

melalui *fuel filter* untuk meminimalisir kontaminasi partikel kotoran.

- c. Setelah keluar dari filter, fluida yang telah bersih kemudian dialirkan menuju pompa tekanan tinggi.
- d. Pada tahap ini, tekanan ditingkatkan hingga mencapai kisaran 100 - 150 bar, di mana proses pemompaan hanya berlangsung pada momentum *timing* pengapian.
- e. Tekanan tinggi tersebut secara mekanis memaksa injektor untuk mengabutkan bahan bakar ke silinder.

Dari proses di atas, karakteristik fundamental dari sistem konvensional ini adalah operasional pompa tekanan tinggi yang bersifat periodik (tidak kontinu) serta penggunaan injektor tanpa dukungan kontrol elektronik. Berikut bagian dari dalam sistem bahan bakar di kapal, yaitu:

a. *Double bottom*

Double bottom pada sistem bahan bakar kapal adalah struktur yang terdiri dari dua lapisan baja atau material lain yang membentuk bagian bawah lambung kapal. Sistem ini dirancang untuk menambah keamanan dan integritas struktural kapal, serta menyediakan ruang tambahan untuk penyimpanan bahan bakar atau cairan lainnya.

b. *Transfer pump*

Transfer pump dalam sistem bahan bakar kapal merupakan komponen penting yang digunakan untuk memindahkan bahan bakar dari tangki penyimpanan utama ke tangki harian atau langsung ke mesin utama dan *generator*.

c. Tangki Penjernihan (*settling Tank*)

Settling Tank (Tangki Penjernihan) pada sistem bahan bakar kapal adalah komponen penting dalam manajemen bahan bakar yang bertujuan untuk memastikan kebersihan dan kualitas bahan bakar sebelum digunakan di mesin kapal.

d. *Service tank*

Service Tank pada sistem bahan bakar kapal adalah salah satu komponen penting yang berfungsi untuk memastikan bahan bakar yang digunakan oleh mesin utama dan generator kapal selalu bersih dan siap pakai.

e. *Booster pump*

Booster Pump pada sistem bahan bakar kapal adalah komponen penting yang berfungsi untuk memastikan bahan bakar dikirimkan dengan tekanan dan volume yang tepat dari tangki penyimpanan atau service tank ke mesin utama dan generator kapal.

f. Pemanas (*heater*)

Heater ini berfungsi untuk menghangatkan bahan bakar sebelum masuk ke separator. Di dalam sistem bahan bakar kapal, pemanas digunakan untuk meningkatkan suhu bahan bakar, khususnya minyak berat seperti *Heavy Fuel Oil* (HFO), sehingga *viskositasnya* menurun dan bahan bakar tersebut lebih mudah dipompa dan diatomisasi dalam proses pembakaran. Pemanas dalam sistem bahan bakar kapal bisa menggunakan berbagai jenis pemanas yaitu:

1) Pemanas listrik (*Electric Heater*)

Pemanas listrik menggunakan energi listrik sebagai sumber pemanas. Meskipun memiliki beberapa kekurangan, seperti beresiko tersengat listrik dan boros akan penggunaan listrik, pemanas listrik memiliki kelebihan seperti harga relatif murah dan tidak bergantung pada kondisi cuaca.

2) Pemanas uap (*Steam Heater*)

Pemanas uap menggunakan uap sebagai media pemanas. Jenis pemanas ini digunakan dalam sistem kompleks dan dapat diuraikan menjadi keputusan-keputusan lebih kecil yang dapat ditangani dengan mudah.

3) *Exhaust gas heater*

Exhaust Gas Heater memanfaatkan gas buang dari mesin sebagai sumber panasnya.

g. *Purifier*

Dalam sistem bahan bakar maritim, ***purifier*** merupakan perangkat kritikal yang berfungsi memisahkan kontaminan cair maupun padat, seperti air dan lumpur, dari bahan bakar. Implementasi *purifier* pada sistem bahan bakar mesin induk terbukti mampu mengoptimalkan efisiensi pembakaran serta mereduksi kadar emisi gas buang (Zhao et al., 2020). Perangkat ini mengintegrasikan prinsip gravitasi dan sentrifugasi melalui rotasi mangkuk (*bowl*) berkecepatan tinggi, yang menghasilkan gaya sentrifugal besar untuk memisahkan partikel berdasarkan perbedaan berat jenisnya. Hasilnya, bahan bakar yang

disalurkan ke ruang bakar berada dalam kondisi bersih dan siap untuk proses pembakaran yang efisien.

h. *Fuel pump*

Dalam sistem bahan bakar maritim, *fuel pump* merupakan komponen vital yang berfungsi mendistribusikan bahan bakar menuju unit injeksi dengan tekanan yang sangat tinggi. Mekanisme tekanan tinggi ini dirancang untuk mencapai atomisasi yang optimal, yaitu transformasi bahan bakar menjadi partikel halus atau kabut. Proses tersebut sangat krusial agar bahan bakar dapat bercampur secara homogen dengan udara, sehingga memfasilitasi inisiasi pembakaran yang efisien di dalam silinder mesin.

9. Pengaruh temperatur suhu gas buang

Temperatur gas buang pada mesin induk kapal memiliki dampak signifikan terhadap kinerja dan keandalan operasionalnya. Peningkatan suhu gas buang dapat menyebabkan peningkatan pembakaran yang tidak sempurna, penurunan efisiensi termal, dan peningkatan emisi gas rumah kaca (Xia, 2021). Variasi temperatur gas buang, baik tinggi, rendah, maupun normal, memiliki efek yang berbeda terhadap berbagai aspek mesin.

a. Temperatur Tinggi

- 1) Peningkatan suhu gas buang dapat menyebabkan penurunan efisiensi pembakaran karena mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna.
- 2) Suhu tinggi dapat meningkatkan risiko keausan pada komponen mesin, terutama pada bagian yang terpapar langsung oleh gas

buang.

- 3) Potensi kerusakan serius pada sistem mesin seperti kerusakan pada katup, turbin, atau bahkan kepala silinder.

b. Temperatur Rendah

- 1) Suhu gas buang yang rendah dapat mengakibatkan pembentukan kondensasi dalam saluran pembuangan, yang dapat menyebabkan korosi pada komponen mesin.
- 2) Efisiensi pembakaran dapat meningkat karena suhu rendah memungkinkan pembakaran yang lebih lengkap.
- 3) Suhu gas buang yang terlalu rendah juga dapat memengaruhi kinerja beberapa sistem pemulihan energi, seperti penukar panas.

c. Temperatur Normal

- 1) Suhu gas buang yang berada dalam kisaran normal cenderung mendukung kinerja mesin dengan baik.
- 2) Pembakaran yang efisien dan risiko kerusakan mesin yang minim menjadi karakteristik suhu gas buang normal.
- 3) Meskipun demikian, pemantauan terus-menerus terhadap suhu gas buang normal tetap diperlukan untuk mendeteksi perubahan yang tidak biasa yang mungkin mengindikasikan masalah pada mesin.

Dengan memahami pengaruh temperatur gas buang yang tinggi, rendah, dan normal terhadap mesin induk kapal, dapat dikembangkan strategi pengelolaan yang tepat untuk memaksimalkan kinerja mesin dan meminimalkan risiko kerusakan. Ini merupakan langkah penting dalam mendukung efisiensi operasional kapal serta keselamatan dan keandalan

pelayaran laut secara keseluruhan.

C. Hipotesis Penelitian

Hipotesis merupakan dugaan sementara terhadap hubungan antara variabel independen dan variabel dependen yang masih harus dibuktikan melalui proses penelitian dan pengujian data. Dalam penelitian ini, hipotesis digunakan untuk mengetahui pengaruh suhu *intercooler* dan pengabutan injektor terhadap kondisi gas buang mesin penggerak utama kapal.

Berdasarkan landasan teori dan kerangka pemikiran yang telah dijelaskan, maka hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hipotesis Pertama (H1)

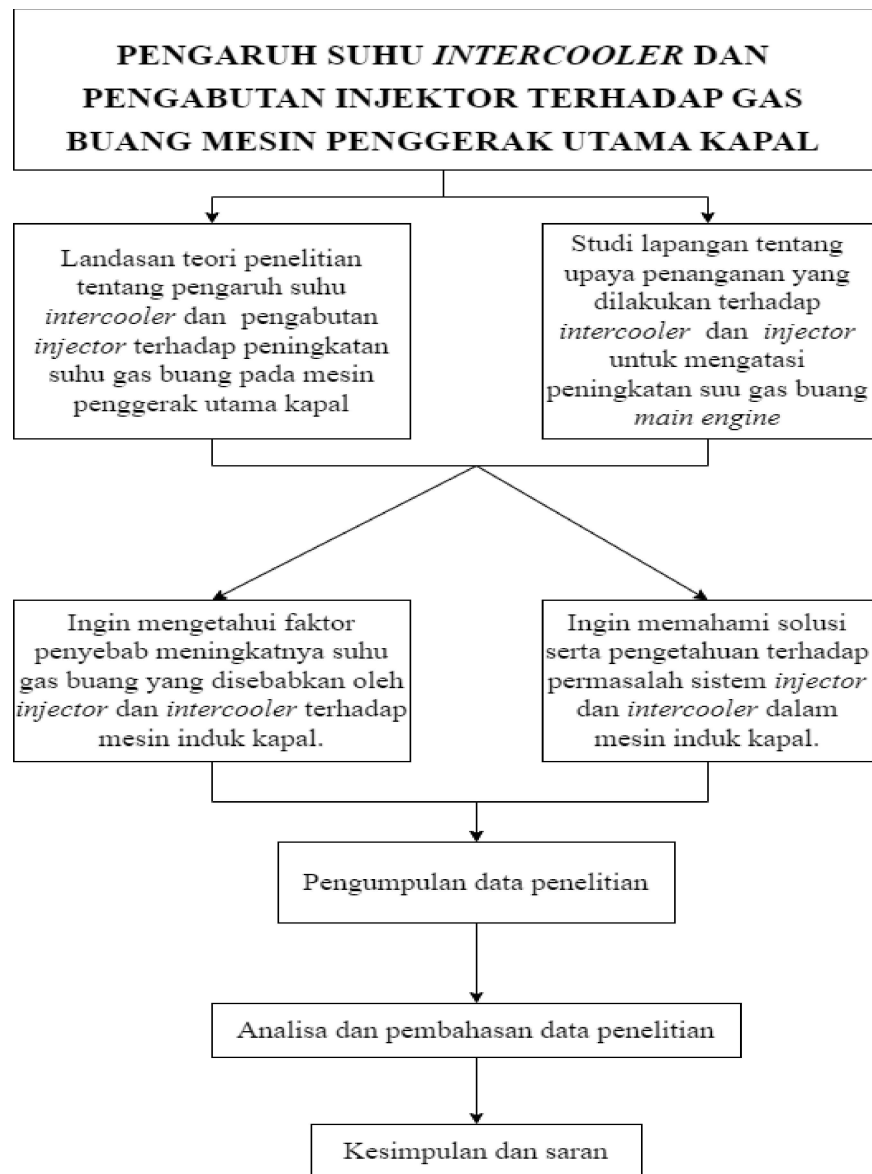
Suhu *intercooler* dan pengabutan injektor berpengaruh terhadap gas buang mesin penggerak utama kapal.

2. Hipotesis Nol (H0)

Suhu *intercooler* dan pengabutan injektor tidak berpengaruh terhadap gas buang mesin penggerak utama kapal.

D. Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir membantu dalam mengidentifikasi masalah yang terkait dengan peningkatan temperatur suhu gas buang pada mesin penggerak utama kapal dan bagaimana hal ini mempengaruhi kinerja mesin.



Gambar 2.33 Kerangka Pikir Penelitian

Sumber: Diolah Peneliti

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penulis menggunakan metode penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif ini dilakukan untuk memahami hubungan antara temperatur suhu gas buang dan kinerja mesin penggerak utama kapal.

Penelitian ini menggunakan data yang terstruktur melalui instrumen pengukuran, observasi sistematis. Peneliti berusaha mengumpulkan data yang dapat dihitung dan diukur secara akurat. Data yang dikumpulkan kemudian dianalisis menggunakan statistik untuk menghasilkan temuan yang dapat digeneralisasi.

Dalam penelitian kuantitatif, proses penelitian dimulai dengan merumuskan masalah, meninjau teori yang relevan, mengumpulkan data secara sistematis, menganalisis data menggunakan teknik statistik, dan pada akhirnya menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis (Bryman, 2021).

B. Tempat/Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Tempat/Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan pada saat peneliti melaksanakan praktek laut (PRALA) di kapal MT. Blossom, PT. Honglam Marine Pte Ltd.

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di kapal, sesuai dengan penempatan yang direncanakan selama Praktek Laut (Prala) yang akan diikuti penulis

pada semester V dan VI. Proses ini akan berlangsung selama 12 bulan, mulai dari tanggal pertama penulis naik di atas kapal.

C. Definisi Operasional Variabel

Definisi operasional variabel merupakan penjelasan mengenai variabel penelitian yang digunakan untuk mempermudah proses pengukuran dan analisis data. Dalam penelitian ini terdapat dua jenis variabel, yaitu variabel bebas (*independent variable*) dan variabel terikat (*dependent variable*).

1. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah Kondisi Gas Buang Mesin Penggerak Utama (Y).

Kondisi gas buang merupakan hasil pembakaran yang keluar melalui sistem pembuangan mesin penggerak utama kapal. Kondisi gas buang digunakan untuk mengetahui tingkat kesempurnaan pembakaran dan performa kerja mesin. Indikator variabel kondisi gas buang meliputi:

- a. Temperatur gas buang
- b. Warna asap gas buang
- c. Kandungan sisa pembakaran
- d. Stabilitas kerja mesin akibat gas buang

2. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau menjadi penyebab perubahan terhadap variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah :

a. Suhu *aircooler* (X1)

Suhu *air cooler* merupakan temperatur udara masuk setelah melalui proses pendinginan pada *air cooler* sebelum masuk ke ruang bakar mesin penggerak utama. Suhu *air cooler* yang tidak optimal dapat mempengaruhi jumlah oksigen dalam proses pembakaran sehingga berdampak pada kondisi gas buang mesin. Indikator variabel suhu *air cooler* meliputi:

- 1) Temperatur udara masuk setelah *air cooler*
- 2) Efektivitas pendinginan *air cooler*
- 3) Stabilitas suhu udara masuk mesin

b. Pengabutan injektor (X2)

Pengabutan injektor merupakan proses penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar dalam bentuk kabut halus agar pembakaran berlangsung sempurna. Kualitas pengabutan injektor mempengaruhi efisiensi pembakaran dan kondisi gas buang mesin. Indikator variabel pengabutan injektor meliputi :

- 1) Tekanan penyemprotan bahan bakar
- 2) Bentuk pola penyemprotan injektor
- 3) Kelancaran nozzle injektor
- 4) Kesempurnaan proses pembakaran

D. Sumber data

Sumber data adalah subjek dari mana data dapat diperoleh. Data penelitian ini terdiri dari dua jenis utama:

1. Data Primer

Data primer merupakan jenis data yang dihimpun secara personal langsung dari subjek penelitian tanpa melalui media perantara. Karakteristik utama dari data ini adalah tingkat akurasi, relevansi, serta aktualitasnya yang tinggi (Salleh et al., 2020). Dalam studi ini, metode pengumpulan data primer dilakukan melalui teknik wawancara terstruktur mendalam.

Peneliti berinteraksi langsung dengan jajaran kru kapal, mencakup nakhoda, KKM, hingga masinis dan juru minyak (oiler), untuk menggali perspektif praktis mengenai problematika operasional mesin induk yang berkaitan dengan fluktuasi suhu gas buang. Dengan demikian, proses perolehan data orisinal dalam riset ini bertumpu pada hasil dialog terstruktur dengan narasumber terkait.

2. Data Sekunder

Data sekunder merujuk pada sekumpulan informasi yang sebelumnya telah dihimpun oleh pihak eksternal untuk kepentingan di luar riset saat ini (Hammarberg et al., 2020). Dalam konteks studi ini, sumber data tersebut mencakup literatur teknis dari manufaktur mesin induk maupun laporan resmi lembaga maritim guna menganalisis dampak suhu gas buang terhadap efektivitas mesin. Peneliti menerapkan metode dokumentasi dan observasi tidak langsung sebagai instrumen utama dalam mengumpulkan referensi sekunder tersebut.

E. Teknik Pengumpulan Data

1. Observasi

Metode observasi adalah salah satu metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian “Pengaruh Suhu *Intercooler* Dan Pengabutan Injektor Terhadap Gas Buang Mesin Penggerak Utama Kapal”. Metode ini melibatkan peneliti melakukan pengamatan langsung terhadap objek penelitian, yaitu mesin penggerak utama kapal, untuk mengumpulkan data tentang kinerja mesin penggerak utama kapal yang dipengaruhi oleh temperatur suhu gas buang. Analisis data observasi dapat dilakukan melalui Teknik analisis konten (Omasta., et al 2020).

2. Wawancara

Metode ini melibatkan peneliti melakukan wawancara langsung dengan subjek penelitian yang terdiri dari seluruh crew kapal baik perwira kapal, atau teknisi kapal. dalam penelitian ini, metode wawancara yang digunakan adalah wawancara semi terstruktur. Peneliti menyiapkan pedoman pertanyaan sebagai acuan selama proses wawancara, namun narasumber tetap diberikan kebebasan untuk menyampaikan pendapat dan pengalaman sesuai kondisi di lapangan. Data hasil wawancara kemudian dikumpulkan dan dianalisis dengan membandingkan kesamaan pendapat dari beberapa narasumber. Pendapat yang paling banyak memiliki kesamaan dijadikan sebagai dasar dalam menentukan faktor utama permasalahan yang diteliti.

3. Dokumentasi

Metode ini melibatkan peneliti mengumpulkan data dari berbagai

sumber, seperti dokumen, laporan, dan data sekunder, untuk memahami bagaimana temperatur suhu gas buang mempengaruhi kinerja pada mesin penggerak utama kapal.

F. Teknik Analisis Data

1. Teknik Analisis Data Kualitatif

Teknik analisis data kualitatif digunakan untuk menganalisis data hasil wawancara yang diperoleh dari narasumber yang terlibat langsung dalam pengoperasian dan perawatan mesin penggerak utama kapal. Analisis data kualitatif dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh informasi dan pemahaman mengenai pengaruh suhu *air cooler* dan pengabutan injektor terhadap kondisi gas buang mesin penggerak utama.

Data hasil wawancara diperoleh dari *Chief Engineer*, *Second Engineer*, dan *Fourth Engineer* yang kemudian dianalisis menggunakan metode deskriptif kualitatif. Adapun tahapan analisis data kualitatif dalam penelitian ini meliputi:

a. Reduksi Data

Reduksi data dilakukan dengan memilih, memfokuskan, dan menyederhanakan data hasil wawancara yang berkaitan dengan penelitian. Pada tahap ini, penulis mengelompokkan informasi penting mengenai pengaruh suhu *air cooler*, kualitas pengabutan injektor, kondisi pembakaran, dan peningkatan suhu gas buang mesin penggerak utama.

b. Penyajian Data

Penyajian data dilakukan dalam bentuk uraian deskriptif dan tabel hasil wawancara agar informasi yang diperoleh lebih mudah dipahami. Data yang telah disusun kemudian dijelaskan berdasarkan hasil wawancara dari masing-masing narasumber mengenai penyebab dan penanganan meningkatnya suhu gas buang mesin.

c. Menarik Kesimpulan atau Verifikasi

Setelah melakukan analisis data, langkah selanjutnya adalah menarik simpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan. Simpulan yang dibuat harus dapat menjawab tujuan penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya (Saunders et al., 2019). Selain menarik simpulan, pada tahap ini juga dilakukan proses verifikasi data. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil analisis dan simpulan yang dibuat sesuai dengan keadaan yang sebenarnya di lapangan. Verifikasi data dapat dilakukan dengan mengecek kembali data primer maupun data sekunder yang digunakan dalam penelitian

d. Penarikan Kesimpulan

Penarikan kesimpulan dilakukan berdasarkan hasil analisis data wawancara yang telah diperoleh. Kesimpulan diambil dengan melihat keterkaitan antara suhu *air cooler* dan kualitas pengabutan injektor terhadap kondisi gas buang mesin penggerak utama. Dari hasil tersebut dapat diketahui faktor-faktor yang mempengaruhi peningkatan suhu gas buang serta upaya penanganan yang dapat dilakukan untuk menjaga performa mesin tetap optimal.

Melalui teknik analisis data kualitatif ini, penulis dapat memperoleh gambaran secara mendalam mengenai kondisi operasional mesin penggerak utama serta pengaruh sistem pendinginan udara dan sistem injeksi bahan bakar terhadap proses pembakaran dan kondisi gas buang mesin.

2. Teknik Analisis Data Kuantitatif

Dalam karya ilmiah terapan ini, penulis menggunakan teknik analisis data deskriptif kuantitatif untuk menganalisis pengaruh tinggi temperatur suhu gas buang terhadap kinerja mesin penggerak utama kapal. Teknik ini dipilih karena pendekatan kuantitatif dalam analisis data observasi dapat mencakup analisis statistik deskriptif untuk memahami karakteristik dan pola-pola dalam data (Plano Clark., et al 2021).

a. Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif digunakan untuk menghitung nilai-nilai statistik dasar, seperti nilai rata-rata, nilai minimum, dan nilai maksimum dari hasil pengukuran gas buang mesin (Sugiyono, 2017). Data hasil pengukuran disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan interpretasi

b. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk memastikan bahwa data penelitian memiliki distribusi yang normal sebelum dilakukan pengujian statistik lanjutan. Pengujian ini diperlukan sebagai syarat penggunaan analisis statistik parametrik. Data penelitian dinyatakan normal apabila nilai signifikansi yang diperoleh lebih besar dari 0,05.

c. Uji Korelasi

Uji korelasi digunakan untuk menganalisis hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat dalam penelitian. Pada penelitian ini, analisis korelasi dilakukan untuk mengetahui hubungan antara suhu intercooler dan kualitas pengabutan injektor terhadap suhu gas buang mesin penggerak utama kapal. Besarnya nilai koefisien korelasi menunjukkan tingkat keeratan serta arah hubungan antar variabel yang diteliti.

d. Uji Regresi Linier Berganda

Analisis regresi linier berganda digunakan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen, baik secara sendiri-sendiri maupun secara bersama-sama. Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi suhu intercooler dan pengabutan injektor, sedangkan variabel terikatnya adalah suhu gas buang mesin penggerak utama kapal. Persamaan regresi linier berganda yang digunakan Adalah :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + e$$

y	= Suhu gas buang mesin
a	= Konstanta
b_1, b_2	= Koefisien regresi
X_1	= Suhu intercooler
X_2	= Pengabutan injektor
e	= Error atau variabel pengganggu

e. Uji t (Parsial)

Uji t digunakan untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel independen secara parsial terhadap variabel dependen. Pengambilan keputusan dilakukan dengan membandingkan nilai

signifikansi dengan taraf signifikan 0,05. Jika nilai signifikansi $< 0,05$ maka hipotesis diterima.

f. Uji F (Simultan)

Uji F digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel independen secara simultan terhadap variabel dependen. Apabila nilai signifikansi $< 0,05$ maka variabel suhu intercooler dan pengabutan injector secara bersama-sama berpengaruh terhadap kondisi gas buang mesin penggerak utama kapal.

g. Uji Hipotesis

Uji hipotesis dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Hipotesis dalam penelitian ini terdiri dari hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1). Pengujian hipotesis dilakukan menggunakan uji parsial (uji t) dan uji simultan (uji F) dengan tingkat signifikansi 0,05 dengan menggunakan aplikasi statistik. Apabila nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05 maka hipotesis alternatif diterima dan hipotesis nol ditolak.

Kriteria pengambilan keputusan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Jika nilai signifikansi uji F $< 0,05$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima, artinya variabel independen secara simultan berpengaruh terhadap variabel dependen.
- 2) Jika nilai signifikansi uji F $> 0,05$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak, artinya variabel independen secara simultan tidak berpengaruh terhadap variabel dependen.

- 3) Jika nilai signifikansi uji $t < 0,05$ maka H_0 ditolak dan H_1 diterima, artinya variabel independen secara parsial berpengaruh terhadap variabel dependen.
- 4) Jika nilai signifikansi uji $t > 0,05$ maka H_0 diterima dan H_1 ditolak, artinya variabel independen secara parsial tidak berpengaruh terhadap variabel dependen.