



**PENGARUH KINERJA *DIESEL GENERATOR* NOMOR
2 DI KAPAL VLGC JENGGALA 21**

SKRIPSI

**Untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Pelayaran pada
Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang**

Oleh:

**FAUZAN FADHLUR ROHMAN
NIT. 582111228061 T**

**PROGRAM STUDI TEKNIKA DIPLOMA IV
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN SEMARANG
TAHUN 2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH KINERJA *DIESEL GENERATOR* NOMOR 2 DI KAPAL
VLGC JENGGALA 21**

Disusun Oleh:

FAUZAN FADHLUR ROHMAN

NIT: 582111228061 T

Telah disetujui dan diterima, selanjutnya dapat diajukan di depan Dewan Penguji

Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang

Semarang,2026

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Ir. A. Agus Tjahjono, M.M., M.Mar.E.
NIP. 19710620 199903 1 001

Indah Nurhidayati, M.Si.
NIP. 199210232020122009

**Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknika**

Dr. Ir. Ali Muktar Sitompul, M.T.,M.Mar.E
NIP.19730331 200604 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Pengaruh Kinerja *Diesel Generator* Nomor 2 di Kapal VLGC Jenggala 21” karya,

Nama : Fauzan Fadhlur Rohman

NIT : 582111228061 T

Program Studi : Teknika

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Penguji Skripsi Prodi Teknika, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang pada hari, tanggal..... 2026.

Semarang, 2026

PENGUJI

Penguji I : **Dr. Andri Yulianto, MT., IPM., M. Mar.E**
NIP. 19760718 1199808 1 001

Penguji II : **Prof. Dr. A. Agus Tjahjono, M.M., M. Mar.E.**
NIP. 197106201999031001

Penguji III : **Ely Sulistyowati, S.ST., M.M.**
NIP. 19780801 200812 2 001

Mengetahui :
Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang

Dr. Ir. Mafrisal, M.T.,M.Mar.E.
NIP. 197302051999031002

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fauzan Fadhlur Rohman

NIT : 582111228061 T

Program Studi : Teknika

Skripsi dengan judul “Pengaruh Kinerja *Diesel Generator* Nomor 2 di Kapal VLGC Jenggala 21”.

Dengan ini saya menyatakan bahwa yang tertulis dalam skripsi ini benar-benar hasil karya (penulis dan tulisan) sendiri, bukan jiplakan dari karya tulis orang lain atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah. Atas pernyataan ini saya siap menanggung risiko/sanksi yang dijatuhkan apabila ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya ini.

Semarang, 2026
Yang membuat pernyataan

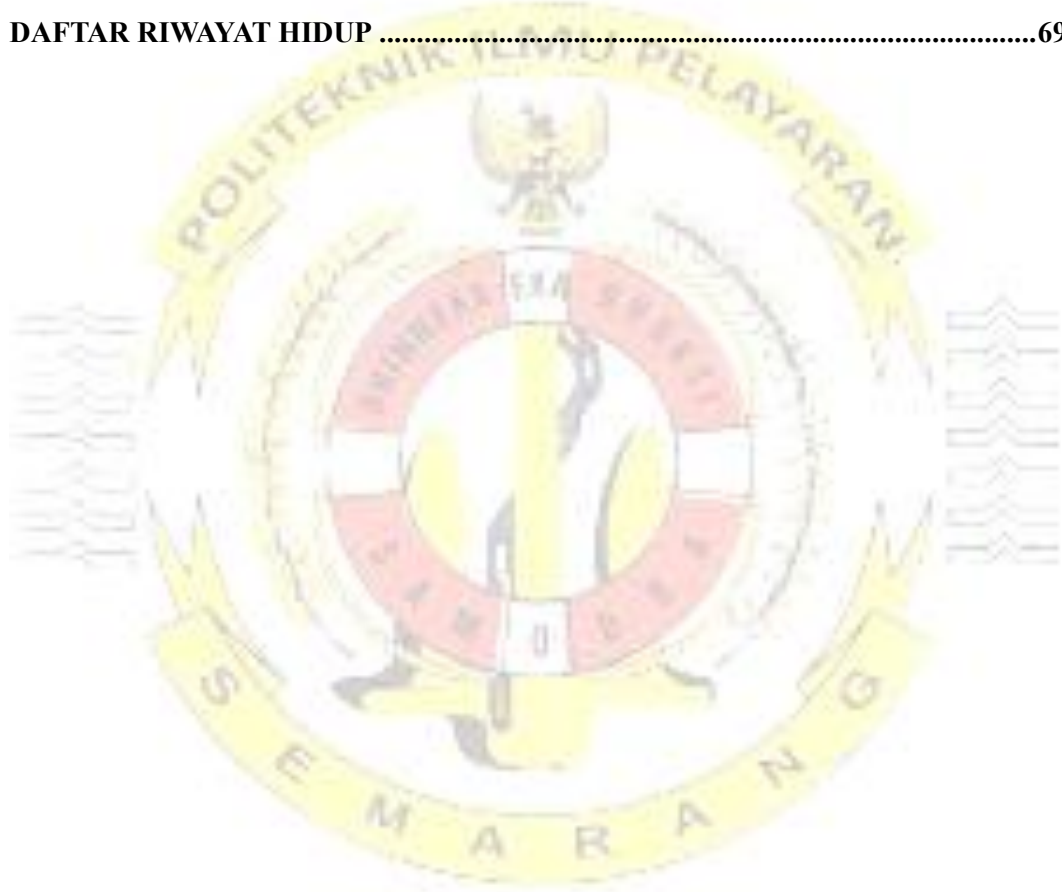
FAUZAN FADHLUR ROHMAN
NIT. 582111228061 T

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	xi
PRAKATA	xii
ABSTARKSI	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Fokus Penelitian.....	5
C. Rumusan Masalah.....	6
D. Tujuan Penelitian.....	6
E. Manfaat Hasil Penelitian.....	7
1. Manfaat Teoritis.....	7
2. Manfaat Praktis.....	8
BAB II	9
KAJIAN TEORI	9
A. Deskripsi Teori.....	9
1. Mesin diesel.....	9
2. Injektor.....	13
3. Ring piston.....	17
4. Katup hisap dan buang.....	24
B. Definisi Operasional.....	29
1. Injektor (X_1).....	29
2. Ring piston (X_2).....	30
3. Katup hisap dan buang (X_3).....	31
4. Mesin diesel (Y_1).....	32
5. Mesin induk (Y_2).....	33
6. Kinerja operasional kapal (Y_3).....	34

C.	Kerangka Berpikir.....	34
D.	Hipotesis	36
BAB III	.....	Error! Bookmark not defined.
PROSEDUR PENELITIAN	.....	Error! Bookmark not defined.
A.	Metode Penelitian	Error! Bookmark not defined.
B.	Populasi dan Sampel	Error! Bookmark not defined.
C.	Instrumen Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
D.	Variabel Bebas dan Variabel Terikat.....	Error! Bookmark not defined.
1.	Variabel Bebas (<i>Independent Variable</i>).....	Error! Bookmark not defined.
2.	Variabel Terikat (<i>Dependent Variable</i>).....	Error! Bookmark not defined.
E.	Teknik Pengolahan Data.....	Error! Bookmark not defined.
F.	Teknik Analisis Data	Error! Bookmark not defined.
1.	Evaluasi Model Pengukuran (<i>Outer model</i>).....	Error! Bookmark not defined.
2.	Evaluasi Model Struktural (<i>Inner model</i>).....	Error! Bookmark not defined.
3.	Pengaruh Tidak Langsung (<i>Indirect Effects</i>)	Error! Bookmark not defined.
4.	Pengaruh Total (<i>Total Effects</i>).....	Error! Bookmark not defined.
5.	Muatan Luar (<i>Outer Loadings</i>)	Error! Bookmark not defined.
6.	Bobot Luar (<i>Outer Weights</i>).....	Error! Bookmark not defined.
7.	<i>R Square</i> dan <i>R Square Adjusted</i>	Error! Bookmark not defined.
8.	Reliabilitas dan Validitas Konstruk	Error! Bookmark not defined.
9.	Validitas Diskriminan.....	Error! Bookmark not defined.
10.	Kolinearitas (<i>Collinearity Statistics</i>).....	Error! Bookmark not defined.
11.	Kecocokan Model (<i>Model Fit</i>).....	Error! Bookmark not defined.
BAB IV	.....	Error! Bookmark not defined.
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	.....	Error! Bookmark not defined.
A.	Deskripsi Hasil Penelitian	Error! Bookmark not defined.
1.	Analisis statistik deskriptif.....	Error! Bookmark not defined.
2.	Karakteristik Responden.....	Error! Bookmark not defined.
B.	Uji Persyaratan Analisis	Error! Bookmark not defined.
1.	Pengujian <i>outer model</i>	Error! Bookmark not defined.
2.	Pengujian <i>inner model</i>	Error! Bookmark not defined.
C.	Hasil Pengujian Hipotesis	Error! Bookmark not defined.
1.	Hasil uji hipotesis.....	Error! Bookmark not defined.
2.	Saran	Error! Bookmark not defined.
D.	Pembahasan Hasil Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
1.	Temuan	Error! Bookmark not defined.

2.	Pembahasan	Error! Bookmark not defined.
3.	Penelitian Terdahulu	Error! Bookmark not defined.
BAB V	.....	39
SIMPULAN DAN SARAN	.....	39
A.	Simpulan	39
B.	Keterbatasan Penelitian	44
C.	Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	.....	47
LAMPIRAN	.....	53
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	.....	69



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Instrumen angket SmartPLS.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.1 Hasil analisis deskriptif	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.2 Deskripsi Variabel Injektor (X_1)	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.3 Deskripsi Variabel Ring piston (X_2).....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.4 Deskripsi katup hisap dan buang (X_2).....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.5 Deskripsi Variabel Mesin diesel (Y_1).....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.6 Deskripsi Variabel Mesin induk (Y_2).....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.7 Deskripsi variabel operasional kapal (Y_2).....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.8 Loading Factor	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.9 Hasil AVE.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.10 Cross Loading.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.11 Composite Reliability	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.12 Cronbach's Alpha	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.13 R Square Operasional kapal.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.14 R Square Mesin induk	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.15 R Square Mesin diesel	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.16 f-square.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.17 Hasil pengukuran ketebalan ring piston 1, 2, 3, dan oil ring, satuan yang digunakan milimeter (mm).....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.18 Kesimpulan hasil uji variabel	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.19 Kesimpulan hasil uji variabel	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.20 Kesimpulan hasil uji variabel	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.21 Kesimpulan hasil uji variabel	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.22 Kesimpulan hasil uji variabel	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.23 Kesimpulan hasil uji variabel	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.24 Kesimpulan hasil uji variabel	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.25 Kesimpulan hasil uji variabel	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengoperasian elemen pompa yang dikendalikan oleh heliks.....	16
Gambar 2.2 Inlaid plain ring piston.....	19
Gambar 2.3 Plain standard ring piston	20
Gambar 2.4 Conformable oil scraper ring piston	21
Gambar 2.5 (a) Types of piston-ring joints, (b) Radial Thickness Yanmar 8N21L	23
Gambar 2.6 Clearances & Wear Limits of Major Parts Yanmar 8N21L	24
Gambar 2.7 Valves dan seat valves Yanmar 8N21L	26
Gambar 2.8 Diagram suhu pendingin cylinder head Yanmar 8N21L	29
Gambar 2.9 Kerangka Berpikir	36
Gambar 4. 1 Hasil Olah data outer model	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.2 Hasil olah data inner model	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.3 a.) Nozzle tip injektor sudah melebihi running hours sehingga perlu diganti, b.) Penggantian nozzle tip dengan spare part yang baru.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.4 a.) cylinder head, katup, dan sitting yang dipenuhi karbon b.) cylinder head, katup, dan sitting yang sudah dibersihkan, lapping, dan diganti spare part	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.5 a.) Kondisi piston yang terdapat banyak karbon dan kondisi ring piston yang sudah aus. b.) Piston yang sudah dibersihkan dan ring piston yang telah diganti setelah dilakukan pengukuran	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.6 Pengukuran piston groove	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Ship Particular	53
Lampiran 2: Crew List	54
Lampiran 3: Specifications for Diesel Generator	55
Lampiran 4: Tambahan Foto	57
Lampiran 5: Hasil Wawancara	58
Lampiran 6: Hasil Uji SmartPLS	61
Lampiran 7: Hasil Kuesioner	68



MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

1. “Dan bahwa manusia hanya memperoleh apa yang telah diusahakannya”
QS. An-Najm (53:39)
2. Jangan menyerah, coba lagi!.
3. Saya ingin menjadi lebih kuat, karena setiap proses adalah langkah menuju versi terbaik dari diri sendiri.
4. *Consistency is more powerful than perfection.*

Persembahan:

1. Kepada kedua orang tua, Bapak Susiyanto dan Ibu Efi Munawaroh senantiasa merawat, memberikan dukungan, mendoakan, memberi nasihat, serta mengupayakan dalam segala hal bagi peneliti.
2. Almamater Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.
3. Rekan seperjuangan Angkatan LVIII.

PRAKATA



Segala puji dan syukur kami haturkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan petunjuk-Nya, peneliti dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Kinerja *Diesel Generator* Nomor 2 di Kapal VLGC Jenggala 21”, Sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Terapan Pelayaran serta menyelesaikan program studi Diploma IV Teknika di Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, peneliti memperoleh berbagai bentuk bimbingan, arahan, serta dukungan dari sejumlah pihak yang telah memberikan kontribusi yang sangat berarti. Oleh karena itu, pada kesempatan ini peneliti ingin menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

1. Bapak Dr. Ir. Mafrisal, M.T.,M.Mar.E selaku Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.
2. Bapak Dr. Ir. Ali Muktar Sitompul, M.T, M.Mar.E selaku Ketua Program Studi Teknika Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang
3. Bapak Prof. Dr. Ir. A. Agus Tjahjono, M.M., M.Mar.E. selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing serta mendukung penulis selama proses penyusunan skripsi ini.

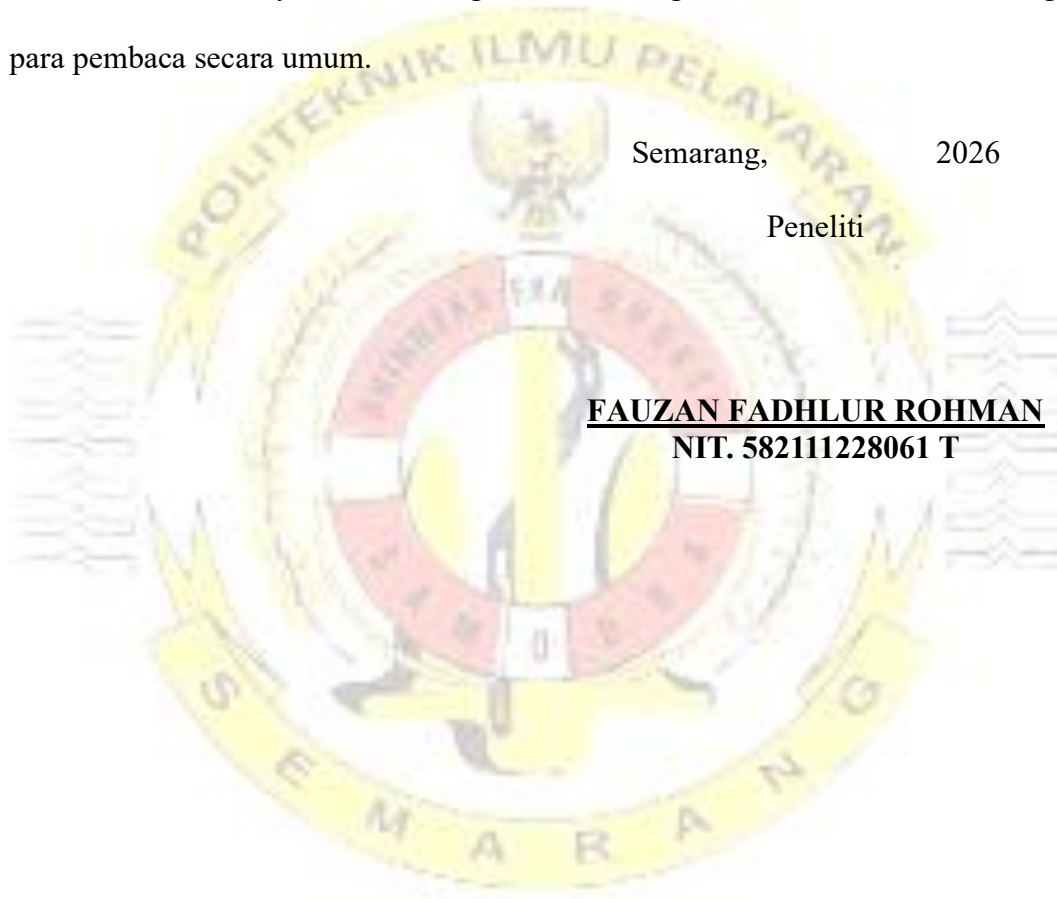
4. Ibu Indah Nurhidayati, M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing serta mendukung penulis selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Tim Penguji Skripsi yang telah memberikan masukan konstruktif dan berharga selama proses ujian.
6. Seluruh dosen PIP Semarang yang telah berkenan membagikan ilmu pengetahuan yang bernilai dan memberikan dukungan selama proses penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Susiyanto dan Ibu Efi Munawaroh selaku orang tua tercinta, yang senantiasa memberikan doa, dukungan moral maupun materil, serta menjadi sumber semangat utama dalam penyusunan skripsi ini.
8. Adik Safira Suci Athika dan adik Nakhla Fauzziyyah Paramita tersayang, yang selalu mendukung hal-hal baik untuk kakak tercintanya.
9. Perusahaan PT. Equinox Bahari Utama, PT. Jenggala Maritim Nusantara dan seluruh crew kapal VLGC Jenggala 21 yang telah memberikan kesempatan untuk tempat penelitian dan praktek laut serta membantu proses penelitian skripsi ini.
10. Pemilik NIT 582111118114, yang senantiasa menemani dan mendukung saya selama menempuh pendidikan di PIP Semarang hingga saat ini.
11. Seluruh teman-teman angkatan LVIII terutama teman-teman Prodi Teknika 102 dan rekan kelas Teknika *Delta* 58 yang telah memberikan dukungan.
12. Seluruh teman-teman dan adik-adik kasta Kedu yang telah memberikan dukungan.

Dengan penuh kerendahan hati, peneliti menyadari bahwa penelitian dalam skripsi ini masih memiliki berbagai kekurangan dan belum mencapai kesempurnaan. Oleh karena itu, peneliti sangat mengharapkan masukan serta kritik yang membangun guna penyempurnaan di masa mendatang. Besar harapan peneliti agar skripsi ini dapat memberikan manfaat, khususnya bagi civitas akademika Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, terutama Program Studi Teknika, serta bagi para pembaca secara umum.

Semarang, 2026

Peneliti

FAUZAN FADHLUR ROHMAN
NIT. 582111228061 T



ABSTARKSI

Fauzan Fadhlur Rohman. 2026. “*Pengaruh Kinerja Diesel generator Nomor 2 di VLGC Jenggala 21*” – Skripsi. Program Diploma IV, Program Studi Teknika, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang. Pembimbing I: Prof. Dr. Ir. A. Agus Tjahjono, M.M., M.Mar.E. Pembimbing II: Indah Nurhidayati, M.Si.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kondisi komponen sistem pembakaran, yaitu injektor, ring piston, serta katup hisap dan buang terhadap kinerja mesin diesel serta dampaknya terhadap operasional kapal VLGC Jenggala 21. Latar belakang penelitian ini didasarkan pada terjadinya penurunan kinerja *diesel generator* (DG) nomor 2 akibat jam kerja yang melebihi batas *major overhaul*, sehingga memengaruhi kestabilan suplai daya listrik kapal. Penelitian menggunakan metode campuran (*mixed methods*) dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif dilakukan menggunakan metode *Partial Least Squares–Structural Equation Modeling* (PLS-SEM) dengan bantuan aplikasi SmartPLS terhadap 46 responden yang ditentukan melalui teknik sensus.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi injektor berpengaruh signifikan terhadap kinerja mesin diesel karena berkaitan langsung dengan kualitas atomisasi dan proses pembakaran. Ring piston berpengaruh terhadap tekanan kompresi dan efisiensi pembakaran, sedangkan katup hisap dan buang memengaruhi kelancaran proses pemasukan udara dan pembuangan gas sisa pembakaran. Kinerja mesin diesel terbukti berperan sebagai variabel mediasi yang memengaruhi kelancaran operasional kapal. Setelah dilakukan *major overhaul* dan penggantian komponen yang mengalami keausan, hasil *running test* menunjukkan peningkatan performa dan kestabilan *diesel generator* dalam menunjang kebutuhan listrik kapal. Dengan demikian, perawatan berkala dan pengendalian kondisi komponen pembakaran menjadi faktor penting dalam menjaga keandalan sistem kelistrikan dan operasional kapal.

Kata Kunci: injektor, ring piston, katup hisap dan buang, *diesel generator*, operasional kapal, SmartPLS.

ABSTRACT

Fauzan Fadhlur Rohman. 2026. "The Impact of Diesel generator Nomor 2 Performance on the VLGC Jenggala 21" – Thesis. Diploma IV Program, Marine Engineering Study Program, Semarang Maritime Polytechnic. Supervisor I: Prof. Dr. Ir. A. Agus Tjahjono, M.M., M.Mar.E. Supervisor II: Indah Nurhidayati, M.Si.

This study aims to analyze the effect of combustion system components, namely injectors, piston rings, and intake and exhaust valves, on mesin diesel performance and its impact on the operation of the VLGC Jenggala 21. The background of this study is based on the decline in the performance of Diesel generator (DG) Nomor 2 due to operating hours exceeding the major overhaul limit, thereby affecting the stability of the ship's power supply. The research used a mixed method with quantitative and qualitative approaches. Quantitative analysis was performed using the Partial Least Squares–Structural Equation Modeling (PLS-SEM) method with the help of the SmartPLS application on 46 respondents through a census technique.

The results showed that the condition of the injector had a significant effect on diesel engine performance because it was directly related to atomization quality and the combustion process. The piston ring affected compression pressure and combustion efficiency, while the intake and exhaust valves affected the smoothness of the air intake and exhaust gas removal processes. Diesel engine performance was proven to act as a mediating variable that affected the smooth operation of the ship. After a major overhaul and replacement of worn components, the running test results showed an improvement in the performance and stability of the diesel generator in supporting the ship's electricity needs. Thus, periodic maintenance and control of combustion component conditions are important factors in maintaining the reliability of the ship's electrical and operational systems.

Keywords: injector, piston ring, intake and exhaust valves, diesel generator, ship operations, SmartPLS.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Diesel generator merupakan salah satu sistem pembangkit listrik yang paling banyak digunakan di kapal laut karena memiliki tingkat keandalan dan efisiensi yang tinggi dalam menyediakan pasokan energi listrik. Sistem ini berperan penting dalam menunjang operasional kapal, baik untuk kebutuhan navigasi, komunikasi, penerangan, maupun pengoperasian permesinan bantu lainnya. Keandalan *diesel generator* menjadi faktor krusial karena gangguan pada sistem kelistrikan kapal dapat berdampak langsung terhadap kelancaran operasional dan keselamatan pelayaran.

Secara umum, *diesel generator* terdiri dari dua bagian utama, yaitu mesin diesel sebagai penghasil tenaga mekanik dan generator listrik (*alternator*) sebagai pengubah tenaga mekanik menjadi energi listrik. Dari kedua bagian tersebut, mesin diesel memegang peranan utama karena kualitas dan kestabilan tenaga mekanik yang dihasilkan sangat menentukan kinerja keseluruhan *diesel generator*. Apabila mesin diesel tidak bekerja secara optimal, maka keluaran daya listrik yang dihasilkan generator juga akan mengalami penurunan, baik dari segi kapasitas maupun kestabilannya (Gunawan et al., 2025).

Mesin diesel termasuk jenis mesin pembakaran dalam yang menghasilkan tenaga mekanik melalui proses pembakaran bahan bakar yang berlangsung di dalam ruang silinder. Proses pembakaran tersebut terjadi akibat

kompresi udara yang tinggi sehingga suhu meningkat dan memicu penyalaan bahan bakar. Reaksi pembakaran kemudian mendorong piston sehingga poros engkol berputar dan menghasilkan tenaga (Naje, 2025).

Dalam pengoperasian *diesel generator*, khususnya di kapal, mesin diesel dituntut untuk bekerja secara kontinu dengan variasi beban listrik yang berubah-ubah. Kondisi tersebut menyebabkan proses pembakaran di dalam mesin tidak selalu berada pada kondisi ideal. Penelitian menunjukkan bahwa perubahan beban dan kondisi operasi mesin akan memengaruhi karakteristik pembakaran, seperti tekanan pembakaran maksimum, laju pelepasan panas, serta efisiensi termal mesin diesel (Kılıç & Arabacı, 2021). Apabila proses pembakaran tidak berlangsung secara sempurna, maka akan terjadi penurunan performa mesin yang berdampak pada berkurangnya daya keluaran *diesel generator*.

Selain itu, beberapa studi menyebutkan bahwa kualitas proses pembakaran pada mesin diesel memiliki pengaruh langsung terhadap keandalan dan umur pakai mesin. Pembakaran yang tidak optimal dapat menyebabkan peningkatan temperatur kerja, pembentukan residu pembakaran, serta meningkatnya beban kerja mesin, yang pada akhirnya dapat memicu gangguan operasional dan kerusakan dini pada mesin diesel (Wagiman, 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa mesin diesel sebagai inti dari *diesel generator* memiliki peran yang sangat penting, khususnya melalui proses pembakaran yang terjadi di dalamnya. Proses

pembakaran yang optimal akan mendukung kinerja mesin diesel dan secara langsung mempengaruhi performa *diesel generator* secara keseluruhan. Oleh karena itu, penelitian yang membahas *diesel generator* dengan penekanan pada mesin diesel dan proses pembakaran menjadi penting untuk dilakukan sebagai dasar evaluasi dan peningkatan keandalan sistem pembangkit listrik di kapal.

Untuk menunjang proses pembakaran mesin diesel pada kapal VLGC Jenggala 21 dengan tipe Yanmar 8N21L, kru mesin melaksanakan kegiatan perawatan rutin yang mengacu pada *manual book* pabrikan. Dalam penelitiannya, (Kirketerp-Møller et al., 2026) menyatakan bahwa pemantauan kondisi secara real-time dan penerapan *predictive maintenance* pada mesin adalah aspek krusial untuk menjamin keandalan operasi mesin dan memfasilitasi penjadwalan perawatan preventif sebelum kerusakan terjadi dalam praktik operasi kapal. Proses pembakaran yang optimal sangat berpengaruh terhadap kinerja mesin diesel, efisiensi bahan bakar, serta keandalan operasional *diesel generator* di atas kapal. Bagian-bagian utama yang menunjang proses pembakaran dan akan dibahas dalam skripsi ini meliputi injektor, ring piston, serta katup hisap dan buang. Ketiga komponen tersebut memiliki peran yang saling berkaitan dan tidak dapat dipisahkan dalam sistem pembakaran mesin diesel.

Selama peneliti melaksanakan praktik laut (Prala) di kapal VLGC Jenggala 21 kurang lebih satu tahun, ditemukan penurunan kinerja pada *diesel generator* (DG) nomor 2. Penurunan kinerja tersebut disebabkan oleh jam kerja (*running hours*) *diesel generator* yang telah melebihi batas toleransi *major*

overhaul, yaitu 10.000 jam kerja sesuai dengan *manual book* pabrikan. Mesin yang tidak menjalani perawatan sesuai jadwal memiliki risiko lebih tinggi mengalami penurunan kinerja dan kerusakan tak terduga, sehingga menunjukkan pentingnya pemeliharaan rutin untuk menjaga keandalan operasi (Okirie et al., 2025).

Berdasarkan kondisi tersebut, pada tanggal 25 April 2024 dilakukan *major overhaul* pada DG Nomor 2 untuk melakukan pemeriksaan dan perawatan menyeluruh. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa beberapa komponen utama penunjang proses pembakaran mengalami penurunan kondisi. Pada bagian injektor, ditemukan ketidakmampuan menghasilkan tekanan injeksi maksimal sehingga proses pengabutan bahan bakar menjadi tidak optimal. Pada ring piston, terjadi keausan yang menyebabkan ketebalan tidak lagi sesuai toleransi, sehingga nilai celah (*clearance*) antara ring piston dan *piston groove* menjadi lebih besar dan berdampak pada penurunan tekanan kompresi. Selain itu, pada katup hisap dan buang ditemukan penumpukan karbon pada katup dan *seat valve* yang menyebabkan proses hisap dan buang tidak lancar, sehingga diperlukan penggantian dengan *spare part* baru.

Setelah dilakukan perbaikan dan penggantian komponen yang diperlukan, dilaksanakan *running test* pada DG Nomor 2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kinerja *diesel generator* Nomor 2 kembali optimal dan mampu menunjang kebutuhan operasional kapal, baik selama pelayaran maupun pada saat kegiatan bongkar muat.

B. Fokus Penelitian

Berdasarkan landasan teori dan hasil pengamatan selama pelaksanaan praktik laut (Prala) di kapal VLGC Jenggala 21, penelitian ini difokuskan pada kajian kinerja *diesel generator* Nomor 2 dengan penekanan pada mesin diesel sebagai penggerak utama. Fokus penelitian diarahkan pada analisis pengaruh kondisi komponen utama penunjang proses pembakaran terhadap kinerja mesin diesel dan keluaran daya *diesel generator*.

Komponen yang menjadi fokus utama dalam penelitian ini meliputi injektor, ring piston, serta katup hisap dan buang, karena ketiga komponen tersebut memiliki peran yang saling berkaitan dalam menentukan kualitas proses pembakaran di dalam ruang bakar. Penelitian ini membatasi pembahasan pada kondisi komponen sebelum dan sesudah dilakukan *major overhaul* pada *diesel generator* Nomor 2, dengan mengacu pada standar dan toleransi yang tercantum dalam *manual book* Yanmar 8N21L.

Selain itu, fokus penelitian juga diarahkan pada evaluasi perubahan kinerja mesin diesel berdasarkan hasil *running test*, yang meliputi kestabilan operasi, kemampuan mesin dalam menunjang kebutuhan beban listrik kapal, serta performa operasional *diesel generator* setelah dilakukan perawatan dan penggantian komponen. Dengan adanya pembatasan fokus tersebut, diharapkan penelitian ini dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai hubungan antara kondisi komponen pembakaran dan kinerja mesin diesel pada *diesel generator* di kapal.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, terdapat beberapa permasalahan yang memerlukan jawaban melalui penelitian ini. Permasalahan tersebut selanjutnya dirumuskan dan dibahas secara sistematis pada bagian-bagian berikutnya. Perumusan masalah dilakukan dengan menitikberatkan pada faktor-faktor teknis yang memengaruhi kinerja *diesel generator* serta implikasinya terhadap operasional kapal. Dengan adanya rumusan masalah yang jelas, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan analisis yang terarah dan sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apa penyebab penurunan kinerja *diesel generator* Nomor 2 di kapal VLGC Jenggala 21?
2. Bagaimana dampak penurunan kinerja *diesel generator* Nomor 2 di kapal VLGC Jenggala 21?
3. Bagaimana upaya mitigasi terhadap penurunan kinerja *diesel generator* Nomor 2 di kapal VLGC Jenggala 21?
4. Bagaimana pengaruh variabel independen yang dimediasi oleh kinerja *diesel generator* terhadap operasional kapal VLGC Jenggala 21?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah untuk memberikan jawaban atas pertanyaan-pertanyaan yang telah dirumuskan dalam rumusan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui faktor-faktor penyebab terjadinya penurunan kinerja *diesel generator* Nomor 2 di kapal VLGC Jenggala 21.
2. Untuk menganalisis dampak yang ditimbulkan akibat penurunan kinerja *diesel generator* Nomor 2 terhadap sistem kelistrikan dan operasional kapal VLGC Jenggala 21.
3. Untuk mengkaji upaya mitigasi yang dilakukan dalam mengatasi penurunan kinerja *diesel generator* Nomor 2, khususnya melalui pelaksanaan perawatan dan *major overhaul* di kapal VLGC Jenggala 21.
4. Untuk menganalisis pengaruh kinerja *diesel generator* sebagai variabel mediasi terhadap kelancaran operasional kapal.

E. Manfaat Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara teoritis maupun praktis, yang diuraikan sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis
 - a. Penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai faktor-faktor penyebab penurunan kinerja *diesel generator*, khususnya yang berkaitan dengan kondisi mesin diesel dan komponen-komponen penunjang proses pembakaran, seperti injektor, ring piston, serta katup hisap dan buang.
 - b. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya keterkaitan antara penurunan kinerja mesin diesel akibat keausan dan penurunan fungsi komponen pembakaran dengan menurunnya kinerja *diesel generator* dalam menghasilkan daya listrik yang stabil dan optimal di atas kapal.

- c. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi penelitian selanjutnya serta dapat digunakan sebagai bahan acuan teoritis apabila terjadi permasalahan serupa terkait kinerja *diesel generator* dan proses pembakaran mesin diesel pada kapal lain. Selain itu, penelitian ini diharapkan bermanfaat secara praktis.

2. Manfaat Praktis

a. Bagi Penulis

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman dan kemampuan penulis dalam menganalisis permasalahan pada *diesel generator*, khususnya yang berkaitan dengan kinerja mesin diesel dan proses pembakaran. Selain itu, penelitian ini menjadi sarana penerapan ilmu teori ke dalam kondisi operasional nyata di atas kapal.

b. Bagi Institusi

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan referensi dan masukan bagi institusi pendidikan pelayaran dalam pengembangan materi pembelajaran, khususnya pada mata kuliah yang berkaitan dengan mesin diesel, *diesel generator*, dan perawatan mesin kapal.

c. Bagi Pembaca

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan tambahan wawasan dan pemahaman kepada pembaca mengenai pentingnya menjaga kinerja *diesel generator* melalui perawatan mesin diesel yang optimal, serta dapat dijadikan sebagai referensi bagi penelitian selanjutnya.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Deskripsi Teori

Bab ini menguraikan landasan teori yang menjadi dasar konseptual dalam pelaksanaan penelitian. Landasan teori bertujuan untuk memberikan pemahaman fundamental tentang konsep, prinsip, dan variabel yang terkait dengan permasalahan penelitian. Melalui uraian teori yang relevan dan sistematis, kerangka analisis dapat dibangun untuk menginterpretasikan hasil penelitian secara komprehensif. Seluruh teori yang disajikan bersumber dari literatur ilmiah yang terpercaya, meliputi buku teks, jurnal ilmiah bereputasi, dan sumber referensi teknis lainnya, sehingga mampu menopang analisis terhadap permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini.

1. Mesin diesel

Menurut Taylor (1996), mesin diesel adalah salah satu jenis mesin pembakaran dalam yang menyalakan bahan bakarnya dengan cara menyuntikkan solar ke dalam udara panas bertekanan tinggi di ruang bakar. Proses pembakaran ini terjadi tanpa bantuan busi, karena udara yang dikompresi menghasilkan suhu yang cukup tinggi untuk memicu penyalaan bahan bakar. Cara kerja ini membuat mesin diesel dikenal kuat, efisien, dan mampu menghasilkan torsi besar.

Sama seperti mesin pembakaran dalam pada umumnya, mesin diesel beroperasi melalui rangkaian langkah kerja yang tetap. Urutan ini dapat berlangsung dalam sistem empat langkah atau dua langkah, di mana

satu langkah merupakan gerakan piston dari satu posisi paling jauh ke posisi paling jauh lainnya. Setiap langkah tersebut berlangsung selama setengah putaran poros engkol, sehingga keseluruhan proses menghasilkan siklus kerja yang teratur dan berulang.

a. Sejarah mesin diesel

Sejarah mesin diesel dimulai pada akhir abad ke-19 ketika Dr. Rudolf Diesel mengembangkan mesin stasioner dengan sistem injeksi udara bertekanan. Pada masa awal sebelum 1914, mesin diesel terutama digunakan untuk aplikasi stasioner dan kapal, umumnya berupa mesin empat langkah berkecepatan rendah. Perang Dunia I (1914–1918) kemudian mendorong pengembangan mesin diesel berkecepatan tinggi yang lebih bertenaga, sehingga penggunaannya mulai meluas ke kendaraan. Pada 1930-an, mesin diesel *normally aspirated* mulai menjadi pilihan utama untuk truk dan bus karena efisiensinya, sementara teknologi *turbocharging* berkembang pesat dan perlahan menggantikan mesin uap di lokomotif. Menjelang Perang Dunia II, pengembangan mesin diesel *supercharged* untuk pesawat, terutama di Jerman, semakin mempercepat kemajuan teknologi ini.

Setelah Perang Dunia II (1939–1945), setiap negara industri mulai mengembangkan versi mesin diesel mereka sendiri, dengan pertumbuhan terbesar terjadi pada kendaraan berat, khususnya di Eropa. Penelitian dan inovasi terus berfokus pada peningkatan performa, efisiensi, dan teknologi *turbocharging* yang berkembang sangat cepat

dalam dua dekade terakhir. Mesin diesel kini digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari mesin kapal besar dua langkah hingga mesin kecil satu silinder untuk area terpencil. Dengan efisiensinya yang tinggi dan kompatibilitas dengan berbagai jenis bahan bakar, mesin diesel diperkirakan akan tetap menjadi penggerak utama selama bahan bakar fosil atau bahan bakar sintetis masih tersedia (Lilly, 1984).

b. 4 tak (*four stroke engine*)

Siklus empat langkah pada mesin diesel diselesaikan melalui empat gerakan piston, yang setara dengan dua putaran penuh poros engkol. Untuk menjalankan proses ini, mesin memerlukan sistem penggerak katup yang bertugas membuka dan menutup katup masuk serta katup buang pada waktu yang tepat. Ketika piston berada pada posisi tertinggi, yaitu *top dead centre (TDC)*, katup masuk terbuka, sehingga udara segar masuk ke dalam silinder seiring piston bergerak turun menuju *bottom dead centre (BDC)*. Setelah mencapai BDC, katup masuk menutup, dan udara di dalam silinder dikompresi saat piston bergerak kembali ke atas, yang menyebabkan peningkatan tekanan dan suhu udara.

Pada saat piston mendekati TDC, bahan bakar disuntikkan ke dalam udara panas tersebut dan langsung terbakar. Pembakaran ini menghasilkan tekanan gas yang tinggi, mendorong piston turun kembali dalam langkah usaha. Ketika piston mencapai BDC, katup buang terbuka untuk memulai pembuangan. Gas hasil pembakaran kemudian

dikeluarkan dari silinder saat piston bergerak naik menuju TDC, yang menandai akhir dari satu siklus empat langkah. Keempat langkah ini dikenal sebagai langkah isap, kompresi, tenaga, dan buang. Seluruh rangkaian proses ini biasanya diilustrasikan dalam diagram timing yang menampilkan sudut poros engkol pada setiap tahap operasi serta durasi masing-masing proses dalam satuan derajat (Taylor, 1996).

c. 2 tak (*two stroke engine*)

Mesin dua langkah menyelesaikan satu siklus kerja lengkap hanya dengan dua gerakan piston atau satu kali putaran poros engkol. Mengingat setiap tahapan prosesnya berlangsung sangat cepat, mesin jenis ini membutuhkan pengaturan khusus agar dapat beroperasi secara optimal. Salah satu kebutuhan penting adalah sistem pemasukan udara baru yang bertekanan, yang berperan dalam proses *scavenging* untuk membersihkan gas sisa pembakaran dari ruang silinder.

Pada mesin diesel dua langkah, proses pembakaran di dalam silinder menghasilkan gas dengan tekanan tinggi yang mendorong piston menjauhi titik pusat. Saat piston hampir mencapai ujung langkahnya, lubang pembuangan akan terbuka dan memungkinkan gas hasil pembakaran keluar. Kemudian, lubang pemasukan udara bertekanan juga terbuka, sehingga udara segar dapat mengalir masuk untuk mengisi ruang silinder sambil membantu mendorong keluar sisa-sisa gas pembakaran yang masih ada.

Setelah piston mencapai posisi terjauhnya, piston kemudian bergerak kembali menuju titik mati atas sambil menutup lubang pemasukan udara dan lubang pembuangan. Pada tahap ini, udara yang terperangkap di dalam silinder mengalami kompresi sebelum bahan bakar disuntikkan dan terjadi proses pembakaran. Siklus kerja tersebut berlangsung secara berulang, sehingga mesin dua langkah mampu menghasilkan tenaga dalam interval waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan mesin empat langkah (Taylor, 1996).

2. Injektor

Sistem injeksi bahan bakar berperan penting dalam memasok bahan bakar ke mesin dalam jumlah dan waktu yang tepat sesuai kebutuhan daya. Ketepatan injeksi ini dibutuhkan agar mesin dapat beroperasi sesuai batas yang ditetapkan terkait konsumsi bahan bakar, emisi, kebisingan, dan kualitas pembakaran. Bahan bakar harus disemprotkan melalui nozzle pada tekanan tinggi untuk menghasilkan atomisasi yang baik sehingga dapat bercampur secara optimal dengan udara di ruang bakar (Lilly, 1984).

Pada mesin diesel Yanmar 8N21L empat langkah, proses injeksi bahan bakar diatur dengan presisi untuk menjaga keseragaman kerja antar silinder. Sistem injeksi pada mesin ini memiliki tekanan pengabutan injektor sebesar 342 bar, dengan *fuel injection timing* berada pada kisaran $6,5^{\circ}$ – $7,0^{\circ}$ sebelum TDC. Tekanan yang dihasilkan oleh *fuel injection pump* mencapai sekitar 1.470 bar untuk memastikan bahan bakar teratomisasi dengan baik sesuai karakteristik viskositas bahan bakar yang digunakan, yakni HFO

dengan kekentalan 11–14 cSt dan MDO 3–8 cSt. Perawatan injektor dilakukan secara berkala setiap mencapai 2.500 jam operasi.

Keberhasilan proses pembakaran sangat dipengaruhi oleh tingkat atomisasi bahan bakar dan kualitas pencampurannya dengan udara. Laju pencampuran menentukan pola pelepasan panas, efisiensi, daya, serta pembentukan emisi seperti jelaga. Faktor seperti kecepatan semprotan, diameter lubang nozzle, dan pergerakan udara dalam ruang bakar memengaruhi jumlah udara yang berinteraksi dengan semprotan bahan bakar. Pada mesin turbocharged, perubahan beban dan kecepatan juga mengubah karakteristik aliran udara, sehingga sistem injeksi harus mampu menyesuaikan suplai bahan bakar di seluruh rentang operasi mesin (Lilly, 1984)

a. Sejarah injektor

Dikutip dari Lilly, (1984) pada awal perkembangan teknologi mesin diesel, sebagian besar pompa injeksi bahan bakar menggunakan tipe *jerk*. Sistem awal berbasis *spill valve* kemudian digantikan pada tahun 1930-an oleh desain *helix-controlled* yang dikembangkan oleh Bosch. Memasuki periode awal pascaperang, perusahaan-perusahaan yang sebelumnya terikat perjanjian lisensi mulai merancang pompa mereka sendiri. Meskipun mengikuti prinsip dasar yang serupa, rancangan tersebut diarahkan untuk menghasilkan kinerja yang lebih tinggi dari ukuran pompa yang sama, namun dengan biaya produksi yang lebih rendah.

Memasuki tahun 1950-an, jenis pompa distributor diperkenalkan terutama sebagai upaya menekan biaya produksi. Meskipun demikian, pada pembahasan berikutnya akan dijelaskan bahwa pompa distributor juga menawarkan keunggulan teknis pada aplikasi tertentu. Efisiensi biaya yang diperoleh dari penggunaan jenis pompa ini berkontribusi signifikan terhadap meningkatnya pemanfaatan mesin diesel pada kendaraan komersial ringan dan traktor sepanjang dekade 1950-an.

b. Jenis peralatan dasar

Pada perkembangan awalnya, sistem injeksi bahan bakar memiliki beragam bentuk dasar. Walaupun beberapa jenis lama masih digunakan oleh produsen mesin tertentu, pompa yang diproduksi secara massal kini umumnya merupakan pompa tipe *jerk*, baik model *inline* maupun *rotary*. Pompa *inline* menggunakan metode pengendalian melalui *spill control*, sedangkan pompa *rotary* dapat memanfaatkan pengukuran *spill* maupun *inlet* sebagai mekanisme pengaturannya

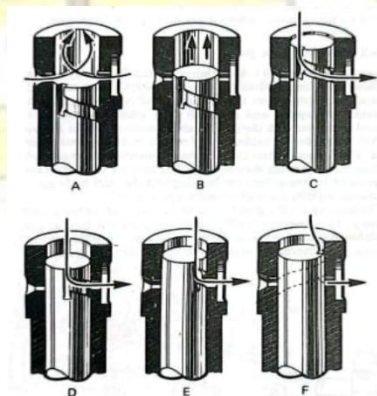
1) *Spill metering*

Pada masa sekarang, pengaturan tersebut dilakukan melalui mekanisme kontrol heliks yang umum diterapkan pada pompa *inline*, atau melalui kontrol selongsong yang digunakan pada pompa *rotary* serta beberapa unit *inline* tertentu.

2) *Helix control*

Sistem pengendalian heliks bekerja dengan mengatur aliran bahan bakar melalui posisi plunger di dalam silinder pompa. Saat plunger berada pada titik mati bawah, bahan bakar masuk ke *port*. Ketika plunger naik dan menutup *port*, bahan bakar terjebak dan dialirkan melalui katup pengiriman ke injektor. Injeksi berakhir ketika tepi heliks plunger membuka *port* pembuangan sehingga bahan bakar kembali ke galeri *inlet* yang bertekanan lebih rendah.

Jumlah bahan bakar yang diinjeksikan ditentukan oleh sudut putar plunger yang mengatur waktu buka-tutup *port*, bukan oleh panjang langkahnya. Sudut putar tersebut dikendalikan oleh batang pengatur. Gambar 2.1 menunjukkan dua mekanisme penghubung, yaitu desain heliks yang peka terhadap toleransi produksi dan desain alur lurus yang lebih stabil. Pada pompa multi-silinder, tersedia penyetelan tambahan untuk menyamakan debit antar plunger.



Gambar 2.1 Pengoperasian elemen pompa yang dikendalikan oleh heliks

Sumber: Lilly, 1984

3) *Sleeve control*

Kontrol selongsong pada pompa jenis tumpahan bekerja dengan memanfaatkan piston yang memiliki saluran internal untuk masuk dan keluarnya bahan bakar. Saat piston turun, bahan bakar mengisi silinder melalui *port* dan saluran pusat. Ketika piston naik, bahan bakar masih tumpah kembali melalui *port* pengisian hingga *port* tersebut tertutup. Setelah itu, tekanan piston memaksa bahan bakar mengalir menuju injektor melalui katup pengiriman. Pemompaan berakhir ketika *port* tumpahan kembali terbuka, sehingga bahan bakar mengalir keluar hingga piston mencapai posisi puncak.

Jumlah bahan bakar yang diinjeksikan dapat ditingkatkan dengan menaikkan posisi selongsong agar *port* tumpahan tertutup lebih lama. Karena proses pengiriman tidak dipengaruhi oleh rotasi piston, mekanisme ini sangat sesuai untuk pompa *distributor* dengan sistem pengukuran tumpahan.

3. Ring piston

Menurut Lilly (1984), ring piston merupakan komponen yang secara fisik terlihat sederhana, namun memiliki peran yang sangat penting dalam memastikan kinerja mesin secara keseluruhan. Setiap piston dilengkapi dengan satu set *ring* yang dikenal sebagai *ring pack*, yang memiliki dua fungsi utama. Pertama, *ring pack* berfungsi sebagai penyegel antara piston dan dinding silinder untuk membatasi aliran gas hasil pembakaran maupun gas kompresi menuju ruang engkol, sehingga dapat

mengendalikan terjadinya *blow-by*. Kedua, *ring pack* berperan dalam mengatur jumlah oli yang naik dari ruang engkol ke ruang bakar hingga pada tingkat yang diperbolehkan, sambil tetap memastikan proses pelumasan yang memadai pada permukaan ring dan silinder. Kinerja *ring pack* ini harus mampu dipertahankan dalam jangka waktu operasi yang panjang tanpa mengalami penurunan fungsi yang berarti.

a. Jenis *ring*

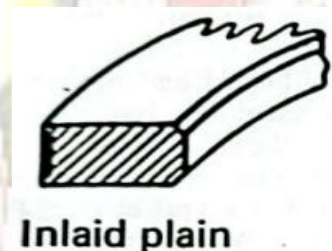
Saat ini terdapat lebih dari 75 jenis ring piston yang digunakan pada mesin diesel, meskipun sebagian hanya memiliki variasi desain bersifat minor dan konfigurasi *ring pack* antar mesin umumnya tidak seragam. Keragaman tersebut disebabkan oleh keterbatasan pemahaman mendasar mengenai mekanisme kerja serta pengendalian perilaku *ring*, dan juga oleh karakteristik khusus pada setiap mesin yang memerlukan penyesuaian komponen secara spesifik (Lilly, 1984).

Seiring berkembangnya pengetahuan mengenai perilaku *ring* dalam beberapa tahun terakhir, perancangan *ring* kini dapat dilakukan dalam rentang jenis yang lebih terarah. *Ring* dikelompokkan berdasarkan fungsi, yaitu *compression ring* dan *oil control ring*, dengan kemungkinan penggabungan beberapa fitur desain dalam satu tipe *ring* sesuai kebutuhan aplikasi mesin. Penerapan dan pengoperasian cincin yang ditunjukkan adalah sebagai berikut:

1) *Compression rings*

a) *Inlaid plain*

Cincin ini dibuat dengan menanamkan bahan tahan aus, seperti krom atau material semprot lain, ke dalam alur tunggal atau ganda pada tepi *ring*. Proses penanaman material tersebut bertujuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap gesekan dan memperpanjang umur komponen selama operasi. Material dasar di bagian luar tetap melindungi tepi *ring* sambil memberikan kontrol oli yang baik. Varian semi-inlaid kini banyak digunakan pada mesin berkecepatan tinggi karena dapat mengurangi kecenderungan pengikisan dan meningkatkan kinerja pada suhu tinggi.

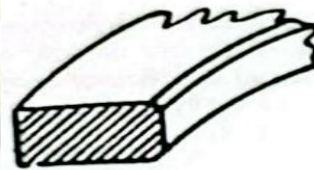


Gambar 2.2 *Inlaid plain* ring piston
Sumber: Lilly, 1984

b) *Plain standard*

Plain standard ring merupakan tipe paling sederhana dan digunakan ketika kebutuhan kinerja tidak menuntut desain yang lebih kompleks. Penggunaannya pada mesin berkecepatan tinggi kini menurun, kecuali pada silinder berlapis krom. Namun, pada mesin berkecepatan sedang penurunannya tidak sebesar itu, dan pada mesin

berkecepatan rendah cincin ini masih banyak digunakan. *Plain standard ring* memiliki konstruksi yang sederhana sehingga pemasangan dan perawatannya relatif mudah dilakukan. Namun, tipe ini memiliki keterbatasan dalam menjaga kestabilan tekanan kompresi, terutama pada kondisi keausan yang tinggi.



Plain standard

Gambar 2.3 Plain standard ring piston

Sumber: Lilly, 1984

2) *Oil control rings (Conformable oil scraper)*

Conformable oil scraper banyak digunakan pada mesin berkecepatan tinggi karena mampu memberikan pengendalian oli yang stabil serta umur pakai yang panjang, dan kini juga diterapkan pada mesin berukuran besar dengan tipe piston *trunk*. Cincin ini dapat bersifat pasif maupun bermuatan sendiri, dengan tambahan beban dinding yang diberikan melalui pegas heliks di bagian dalam *ring*. Pegas ekspander tersebut dapat dibuat dari kawat berpenampang bulat atau persegi, di mana tipe persegi lebih disukai pada mesin berkecepatan tinggi karena mampu menyebarkan beban dengan lebih merata dan mengurangi keausan akibat gerakan relatif. Selain itu, tersedia pula pegas ekspander berlipat yang meskipun

jarang digunakan, dapat memberikan kapasitas drainase oli yang maksimal dengan beban dinding yang tinggi. Desain ini membantu mengoptimalkan pengendalian oli dan mengurangi konsumsi pelumas berlebih. Penggunaan *conformable oil scraper* yang tepat dapat meningkatkan efisiensi pelumasan sekaligus menjaga kestabilan kinerja mesin dalam jangka waktu yang lebih lama.



Gambar 2.4 Conformable oil scraper ring piston

Sumber: Lilly, 1984

b. Bahan *ring*

Besi cor tetap menjadi bahan utama pembuatan ring piston karena menawarkan kombinasi kekuatan, ketahanan aus, dan ketahanan gores yang baik, sedangkan baja hanya digunakan pada aplikasi tertentu dan umumnya memerlukan pelapisan seperti kromium atau molibdenum untuk meningkatkan daya tahan permukaannya.

Seiring meningkatnya kekuatan besi cor, ketahanan gores biasanya menurun, sehingga material berkekuatan tinggi sering dilapisi untuk mencegah keausan, khususnya pada alur cincin bagian atas yang menerima beban pembakaran tinggi. Pada mesin diesel Yanmar 8N21L, material cincin piston terdiri atas *alloy cast iron* untuk ring piston nomor 1 hingga 3, sedangkan oil ring menggunakan *alloy steel* atau *phosphated*

cast iron sesuai kebutuhan pengendalian oli dan ketahanan aus pada bagian bawah piston (Lilly, 1984).

c. Pelapisan *ring*

Pelapisan kromium yang diterapkan melalui proses elektroplating masih menjadi jenis pelapisan yang paling banyak digunakan pada cincin piston. Lapisan ini dinilai mampu memberikan keseimbangan optimal antara ketahanan aus pada cincin dan tingkat keausan pada dinding silinder. Karena sifatnya yang stabil dan tahan abrasi, pelapisan kromium tetap menjadi pilihan utama dalam berbagai aplikasi mesin diesel *modern*.

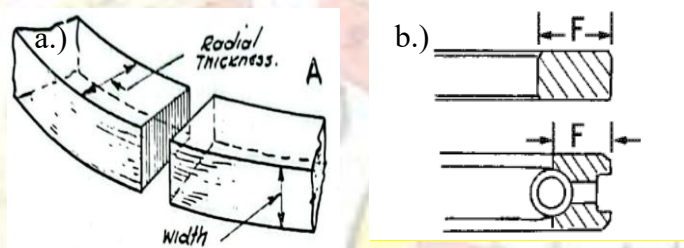
d. *Radial Thickness Piston Ring*

Ketebalan radial (*radial thickness*) ring piston merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan kinerja dan keandalan *ring* selama operasi mesin. Menurut Lamb (1961), menjelaskan bahwa hasil pengalaman dan pengujian menunjukkan proporsi terbaik diperoleh ketika ketebalan radial *ring* sekitar satu setengah kali lebar *ring*, karena ukuran ini mampu memberikan keseimbangan antara kekuatan *ring*, kemampuan menutup kebocoran gas pembakaran, serta mengurangi laju keausan pada alur piston. Ketebalan radial yang sesuai juga memungkinkan ring menyesuaikan diri dengan kelengkungan silinder secara lebih cepat tanpa meningkatkan keausan secara berlebihan.

Selain itu, ketebalan radial berpengaruh langsung terhadap celah radial dan kontak *ring* dengan alur piston. Ring piston harus dapat

bersentuhan dengan dasar dan sisi alur piston, khususnya sisi bawah, agar tidak mengalami tegangan lentur berlebih akibat tekanan gas pembakaran. Apabila ketebalan radial berkurang karena keausan hingga celah ujung *ring* mendekati nilai lebar *ring*, maka *ring* tersebut tidak lagi bekerja secara optimal dan berisiko mengalami kerusakan, sehingga disarankan untuk dipindahkan ke alur piston bagian bawah atau diganti.

Oleh karena itu, pemeriksaan ketebalan radial dan celah ring piston secara berkala sangat penting untuk mencegah terjadinya kerusakan yang dapat memengaruhi kinerja mesin.



Gambar 2.5 (a) Types of piston-ring joints, (b) Radial Thickness Yanmar 8N21L

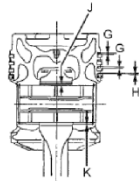
Sumber: a.) Lamb, 1981, b.) Shikano, 2010

e. *Piston Grooves*

Dalam buku yang ditulis Lamb, (1961) menjelaskan *groove* piston melalui fungsi kerjanya terhadap ring piston. *Groove* berfungsi sebagai tempat kedudukan ring piston agar *ring* dapat bekerja dengan benar selama mesin beroperasi. Ring piston harus dapat melakukan kontak dengan dasar *groove* serta dengan sisi *groove*, khususnya sisi bawah, ketika berada pada posisi kerja. Kontak ini penting karena tekanan gas pembakaran akan mendorong *ring* ke arah sisi bawah

groove, sehingga *groove* berperan langsung dalam menahan gaya tersebut.

Lebih lanjut dijelaskan bahwa kondisi *groove* sangat memengaruhi keandalan ring piston. Keausan *groove* atau terbentuknya tonjolan (*ridge*) pada sisi *groove* akibat pemakaian *ring* lama dapat mengganggu posisi ring baru, mengurangi celah radial, dan menyebabkan *ring* tidak duduk dengan baik. Apabila *ring* tidak dapat berkontak secara sempurna dengan sisi dan dasar *groove*, maka *ring* akan mengalami tegangan lentur akibat tekanan gas pembakaran, yang dalam jangka waktu tertentu dapat menyebabkan kerusakan atau patahnya ring piston. Oleh karena itu, *groove* harus memiliki bentuk dan kondisi yang memungkinkan ring piston bekerja dengan kontak yang baik dan stabil.

Width of piston ring, No.1		4.5	-0.040 -0.055	No.1 G=0.110 ~ 0.150	No.1 G=0.4	-0.2
Width of piston ring groove, No.1			+0.095 +0.075			+0.3
Width of piston ring, No.2		4.5	-0.010 -0.025	No.2 G=0.065 ~ 0.095	No.2 G=0.4	-0.2
Width of piston ring Groove, No.2			+0.070 +0.045			+0.3
Width of piston ring, No.3		4.5	-0.010 -0.025	No.3 G=0.065 ~ 0.095	No.3 G=0.4	-0.2
Width of piston ring groove No.3			+0.070 +0.055			+0.3
Width of oil ring	8.0	-0.010 -0.030	H=0.030 ~ 0.065	H=0.4	-0.2	
Width of oil ring groove		+0.035 +0.020			+0.3	

Gambar 2.6 Clearances & Wear Limits of Major Parts Yanmar 8N21L

Sumber: Shikano, 2010

4. Katup hisap dan buang

Karena daya keluaran mesin berbanding lurus dengan massa udara yang dapat dibakar per satuan waktu, sistem pemasukan dan pembuangan udara harus dirancang secara cermat. Hal ini mencakup optimalisasi saluran udara masuk, sistem buang, serta karakteristik pembukaan katup. Pada

mesin injeksi langsung, aliran udara masuk harus mampu membentuk pusaran yang memadai di dalam silinder pada akhir langkah isap agar proses pembakaran berlangsung efisien, tanpa menyebabkan penurunan signifikan pada efisiensi volumetrik.

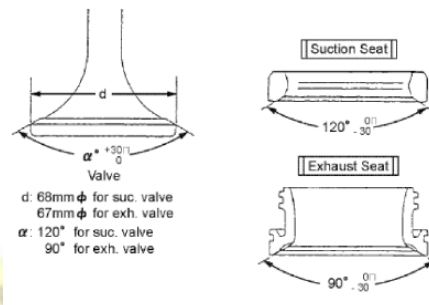
Pada mesin empat langkah, berbagai jenis mekanisme katup seperti katup selongsong, katup putar, dan katup poppet pernah digunakan. Namun, dalam perkembangan teknologi modern, katup poppet menjadi tipe yang paling banyak diterapkan dan digunakan secara hampir universal.

Sementara itu, pada mesin dua langkah, port pembuangan umumnya diatur oleh gerakan piston yang melintas di atasnya. Pada mesin dua langkah uniflow berdaya tinggi, katup poppet digunakan sebagai katup buang. Adapun pada mesin dua langkah dengan sistem pembilasan loop, baik port pemasukan maupun port pembuangan dikendalikan sepenuhnya oleh pergerakan piston (Lilly, 1984).

a. Katup dan dudukan katup (*valves and seat valve*)

Menurut Lamb (1961), katup dan dudukan katup merupakan pasangan komponen yang bekerja secara langsung dalam mengatur aliran gas masuk dan gas buang serta menjaga kerapatan ruang bakar pada *diesel generator* Yanmar 8N21L. Hubungan kerja antara katup dan dudukan katup sangat dipengaruhi oleh kesesuaian dimensi dan sudut kontak, karena kedua komponen ini harus membentuk permukaan penutup yang rapat saat katup berada pada posisi tertutup. Ketepatan

hubungan ini menentukan kemampuan penyekatan gas, perpindahan panas, serta keandalan operasi mesin.



Gambar 2.7 Valves dan seat valves Yanmar 8N21L

Sumber: Shikano, 2010

Berdasarkan data pada gambar, diameter kepala katup hisap pada mesin Yanmar 8N21L adalah sekitar 68 mm, sedangkan diameter kepala katup buang sekitar 67 mm. Perbedaan diameter ini menunjukkan bahwa katup hisap dirancang lebih besar untuk meningkatkan kapasitas aliran udara masuk ke dalam silinder. Hubungan antara katup dan dudukan katup hisap diperkuat dengan sudut dudukan sebesar 120° , yang bertujuan untuk memperhalus aliran udara serta mengurangi hambatan saat proses pengisian silinder berlangsung.

Sebaliknya, hubungan antara katup buang dan dudukan katup buang dirancang dengan sudut yang lebih kecil, yaitu sekitar 90° . Sudut dudukan yang lebih kecil ini menghasilkan bidang kontak yang lebih stabil antara katup dan dudukannya. Kondisi tersebut sangat penting karena katup buang bekerja pada temperatur dan tekanan yang lebih tinggi akibat gas sisa pembakaran. Dengan sudut dudukan yang lebih kecil, katup buang mampu mentransfer panas secara lebih efektif ke

dudukan katup dan kepala silinder, sekaligus menjaga kerapatan penutupan.

Dengan demikian, hubungan antara katup dan dudukan katup pada *diesel generator* Yanmar 8N21L dirancang secara berbeda antara sisi hisap dan buang sesuai dengan fungsi dan kondisi kerjanya. Perbedaan tersebut mempertimbangkan variasi temperatur, tekanan, dan aliran gas pada masing-masing sisi. Kesesuaian diameter katup dan sudut dudukan katup memastikan terjadinya kontak yang optimal, mencegah kebocoran gas, meningkatkan efisiensi pembakaran, serta memperpanjang umur pakai katup dan dudukan katup itu sendiri.

b. Waktu buka dan tutup katup (*valve timings*)

Pemilihan waktu kerja katup ditentukan oleh keterbatasan ruang pada mekanisme cam serta kebutuhan periode bukaan katup untuk mendukung proses pemasukan dan pembuangan gas. Berdasarkan data pada manual book *diesel generator* Yanmar 8N21L, pengaturan *valve timing* dirancang untuk memenuhi kebutuhan tersebut, yaitu katup masuk membuka pada 60° sebelum TDC dan menutup pada 35° sesudah BDC, sedangkan katup buang membuka pada 68° sebelum BDC dan menutup pada 34° sesudah TDC. Karakteristik ini disesuaikan dengan desain ruang bakar dan kondisi operasi mesin agar proses pembilasan dan pengisian udara berlangsung optimal.

Desain komponen katup juga berpengaruh terhadap kinerja aliran gas. Pada mesin Yanmar 8N21L, *clearance* antara rocker arm dan

head valve ditetapkan sebesar 0,4 mm untuk katup masuk dan 0,6 mm untuk katup buang untuk memastikan pengangkatan katup terjadi dengan tepat tanpa risiko interferensi. Pengaturan celah tersebut juga berfungsi untuk mengakomodasi pemuaian material akibat temperatur tinggi selama proses pembakaran. Material katup masuk dan buang menggunakan *heat resistance steel* untuk menahan temperatur tinggi selama pembakaran. Selain itu, katup masuk berdiameter 68 mm dengan sudut seat 120°, sedangkan katup buang berdiameter 67 mm dengan sudut seat 90°, konfigurasi yang memungkinkan aliran udara lebih stabil dan pembuangan gas lebih efektif.

c. Sistem pendingin

Sistem pendinginan pada katup, khususnya katup buang, berfungsi untuk menjaga stabilitas temperatur komponen agar tidak mengalami distorsi, keausan, maupun pembakaran berlebih. Pada desain katup buang, *water jacket* diterapkan di sekitar *housing* karena gas buang yang melewati katup dapat mencapai suhu sekitar 900°F (\approx 483°C). Bila panas tidak dibuang secara efektif, *housing* dapat melengkung, seat terbakar, dan *spindle* menjadi sulit bergerak. Pada beberapa desain, air pendingin juga dialirkan ke bagian lid dan *spindle* untuk mengurangi akumulasi panas. Dalam pengoperasian mesin Yanmar 8N21L, suhu air pendingin *inlet* ke *cylinder head* dijaga $\leq 38^{\circ}\text{C}$, sedangkan suhu *outlet* dikontrol pada $85 \pm 4^{\circ}\text{C}$ untuk memastikan

pembuangan panas berlangsung optimal dan mencegah kerusakan termal pada komponen katup.

Cooling water engine outlet temperature		358 ± 4 (85 ± 4)
Cooling water air cooler inlet temperature		Below 311 (below 38)

Gambar 2.8 Diagram suhu pendingin cylinder head Yanmar 8N21L

Sumber: Shikano, 2010

B. Definisi Operasional

1. Injektor (X_1)

Injector nozzle adalah sebuah alat dalam kendaraan mesin diesel yang berfungsi dalam mengontrol proses penginjeksian bahan bakar berdasarkan bentuk dari jarum pintel dan tekanan pompa injeksi bahan bakar (Mulyo et al., 2025). Tekanan injeksi yang lebih tinggi dapat memperbaiki pola penyemprotan bahan bakar dan menjaga kestabilan proses pembakaran, sehingga efisiensi pembakaran dapat meningkat. Namun, jika tekanan injeksi terlalu tinggi, hal tersebut justru dapat menimbulkan ketidakstabilan pembakaran dan meningkatkan kadar emisi gas buang (Meenakshi et al., 2024).

Menurut Mulyo et al., (2025) penurunan performa mesin diesel umumnya disebabkan oleh berbagai faktor teknis, salah satunya adalah sistem bahan bakar yang mengalami penyumbatan atau kerusakan, serta *injector nozzle* yang kotor akibat endapan karbon atau kualitas bahan bakar yang kurang baik. Keadaan tersebut mengakibatkan tekanan semprotan bahan bakar menurun sehingga proses pembakaran di ruang mesin tidak

sempurna. Dampaknya, konsumsi bahan bakar menjadi lebih boros dan tenaga mesin yang dihasilkan pun tidak optimal.

Tekanan injeksi yang tinggi dapat memperkecil sudut kerucut semprotan pada campuran bahan bakar solar, namun pada saat yang sama mampu meningkatkan proses penyebaran bahan bakar di dalam ruang bakar. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan injeksi memiliki peran penting dalam menentukan karakteristik pembentukan campuran udara dan bahan bakar. Kecepatan semprotan dipengaruhi oleh densitas bahan bakar semakin tinggi densitasnya, semakin besar momentum semprotan yang dihasilkan. Selain itu, ketika viskositas bahan bakar menurun, sudut kerucut semprotan akan semakin melebar, yang berarti atomisasi bahan bakar menjadi lebih baik dan pembakaran dapat berlangsung lebih efisien (Meenakshi et al., 2024).

2. Ring piston (X_2)

Ring atas piston pada mesin pembakaran dalam memainkan peran krusial dalam kinerja hidrodinamik keseluruhan mesin, seperti kerugian daya, ketebalan film minimum, dan gaya gesek, dengan memastikan penyegelan dan meminimalkan kebocoran gas terbakar (Menacer et al., 2024). Pada mesin diesel, terdapat komponen penting yang disebut *cylinder liner* (liner silinder). Komponen ini berfungsi menahan tekanan dan suhu tinggi hasil pembakaran sekaligus menjadi permukaan gesek bagi piston dan ring piston.

Hubungan antara ring piston dan *cylinder liner* sangat penting dalam menjaga efisiensi proses kompresi. Kerja sama keduanya

menciptakan ruang tertutup yang rapat (*sealing chamber*) sehingga udara terkompresi tidak bocor. Kesesuaian celah dan tekanan kontak ring piston menentukan efektivitas penyekatan. Kualitas minyak pelumas serta karakteristik permukaan liner silinder memiliki pengaruh besar terhadap kinerja ring piston. Kedua faktor ini mampu menurunkan koefisien gesekan yang terjadi antara ring piston dan dinding silinder, sehingga pergerakan ring piston menjadi lebih stabil dan efisien. Dengan berkurangnya gesekan, kehilangan energi mekanis dapat diminimalkan, suhu kerja mesin menjadi lebih terkontrol, serta umur pakai komponen meningkat. Selain itu, pelumasan yang optimal juga membantu ring piston menjaga lapisan film oli tetap stabil, yang berfungsi mencegah kebocoran kompresi dan meningkatkan efisiensi pembakaran di dalam ruang silinder (H. Zhang et al., 2024).

3. Katup hisap dan buang (X_3)

Katup (*valve*) adalah komponen mekanis dalam sistem distribusi gas yang berfungsi untuk mengendalikan dan mengarahkan aliran fluida melalui mekanisme buka-tutup. Dalam operasionalnya, katup sering mengalami masalah teknis, seperti penumpukan kerak karbon dan kerusakan struktural yang mengakibatkan katup bengkok atau deformasi (Maulana et al., 2023).

Menurut Yang et al., (2024) waktu pembukaan katup hisap (*intake valve timing*) sangat memengaruhi aliran udara di dalam silinder. Pembukaan katup yang terlalu awal (*advanced timing*) menyebabkan aliran

udara masuk terganggu dan melemah selama langkah kompresi. Sebaliknya, pembukaan katup yang terlalu terlambat (*retarded timing*) juga menurunkan kecepatan aliran udara di silinder, meskipun dorongan udara masuk lebih kuat. Dengan demikian, pengaturan timing katup yang tepat penting untuk menjaga aliran udara yang optimal dan efisiensi proses pembakaran.

4. Mesin diesel (Y₁)

Mesin diesel merupakan mesin yang mengubah energi panas langsung menjadi energi mekanik. Pada mesin diesel empat langkah, prinsip kerjanya untuk menyelesaikan satu siklus atau satu rangkaian proses kerja hingga menghasilkan pembakaran dan satu kali langkah usaha diperlukan empat langkah piston. Keempat langkah tersebut terdiri atas langkah hisap, kompresi, usaha, dan buang yang berlangsung secara berurutan. Prinsip kerja mesin diesel adalah mengubah energi kimia menjadi energi mekanis. Energi kimia didapatkan melalui proses reaksi kimia (pembakaran) dari bahan bakar (solar) dan oksidiser (udara) di dalam silinder (ruang bakar) (Yani, 2022).

Udara dikompresi dalam mesin diesel hingga tekanan dan suhunya melampaui ambang nyala bahan bakar, sehingga pada akhir langkah kompresi, bahan bakar menyala secara spontan. Energi dari pembakaran tersebut kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan piston, yang selanjutnya dikonversi menjadi tenaga rotasi di poros engkol. Siklus kerja motor diesel terdiri dari empat langkah piston, yakni hisap, kompresi, usaha, dan buang. Tenaga besar yang dihasilkan memerlukan sistem pengisian

bahan bakar dan udara yang baik, serta pembakaran yang optimal untuk memastikan kinerja mesin yang andal (Solihat et al., 2023).

5. Mesin induk (Y_2)

Mesin induk adalah tenaga penggerak utama yang berfungsi untuk menggerakkan kapal dengan mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga pendorong bagi baling-baling (*propeller*) kapal. Tenaga tersebut dihasilkan melalui proses pembakaran bahan bakar di dalam silinder mesin yang kemudian diteruskan ke poros baling-baling, yang dalam pengoperasiannya mesin induk selalu beroperasi secara terus-menerus (Ardhiyansah et al., 2025).

Dalam mesin dua tak, tahap *scavenging* berperan signifikan dan tidak dapat diabaikan. Hal ini karena proses tersebut memiliki dampak langsung pada kemampuan mesin untuk menciptakan tenaga, meminimalkan konsumsi bahan bakar, serta mengatur pelepasan gas buang secara efektif. Dengan demikian, *scavenging* menjadi faktor penentu efisiensi dan keberlanjutan sistem mesin tersebut (Senčić et al., 2022).

Proses operasi kapal melibatkan berbagai kondisi teknis dan energetik dari tenaga penggerak yang perlu dikelola dengan baik. Kondisi teknis mencakup pemantauan komponen seperti propeller dan mesin utama untuk memastikan fungsi optimal. Di sisi lain, kondisi energetik fokus pada aspek seperti distribusi daya dan konsumsi energi, yang berkontribusi terhadap efisiensi ekonomi dan lingkungan kapal (Adamkiewicz et al., 2022).

6. Kinerja operasional kapal (Y_3)

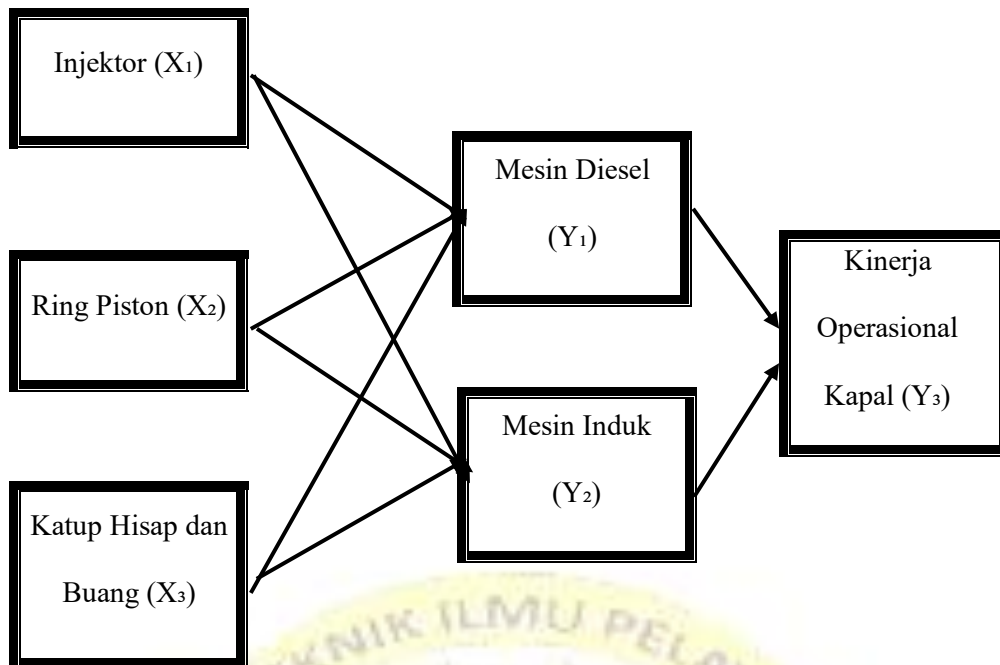
Kinerja operasional merupakan dimensi strategis yang menjadi fokus perusahaan dalam bersaing. Dimensi-dimensi ini meliputi biaya, kualitas, fleksibilitas, dan kecepatan. Kinerja operasional bertujuan untuk mengurangi biaya, mencapai peningkatan signifikan dalam produktivitas, dan memastikan kepuasan pelanggan, yang pada akhirnya meningkatkan keuntungan organisasi. Kinerja operasional juga bertujuan untuk mengurangi biaya operasional dan meningkatkan pemanfaatan aset melalui pemeliharaan yang lebih baik, praktik operasional yang efisien, dan pengurangan hambatan proses (*bottleneck*) (Musau & Rucha, 2021).

C. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir merupakan struktur konseptual yang dihasilkan dari proses sintesis antara fakta-fakta yang ada, hasil observasi empiris, serta kajian literatur yang mendalam. Di dalam struktur ini terkandung berbagai teori, prinsip-prinsip ilmiah, dan konsep-konsep yang berfungsi sebagai landasan teoretis bagi pelaksanaan penelitian. Variabel-variabel penelitian yang terlibat dalam kajian harus dideskripsikan secara rinci dan menyeluruh di dalam kerangka pemikiran ini. Deskripsi yang diberikan harus memperlihatkan keterkaitan yang logis dan relevan dengan isu atau permasalahan yang menjadi objek penelitian. Dengan keberadaan kerangka pemikiran yang komprehensif, peneliti dapat memiliki pedoman yang kokoh dalam upaya menemukan solusi atau jawaban atas permasalahan yang diteliti (Syahputri et al., 2023).

Variabel adalah unsur atau ciri yang merepresentasikan aspek-aspek tertentu dari sampel penelitian, di mana nilainya dapat bervariasi antara satu individu dengan individu lainnya. Secara umum, variabel dibedakan menjadi dua jenis, yaitu variabel independen dan variabel dependen. Variabel independen berfungsi sebagai faktor yang memberikan pengaruh, sedangkan variabel dependen merupakan faktor yang mengalami perubahan akibat pengaruh tersebut (Andrade, 2021).

Penelitian ini menggunakan dua kelompok variabel, yaitu variabel independen (independen) dan variabel terikat (dependen), yang masing-masing diukur menggunakan lima indikator terpilih. Pemilihan variabel tersebut didasarkan pada relevansinya terhadap sistem pembakaran dan pengaruhnya terhadap kinerja mesin. Variabel independen mencakup kondisi dan kinerja injektor (X_1), ring piston (X_2), serta katup hisap dan buang (X_3) sebagai komponen utama sistem pembakaran. Adapun variabel terikat meliputi kinerja mesin diesel (Y_1), keandalan mesin induk (Y_2), serta dampaknya terhadap kinerja operasional kapal (Y_3). Hubungan antarvariabel tersebut disusun dalam suatu kerangka berpikir yang menggambarkan pengaruh komponen mesin terhadap performa mesin dan operasional kapal secara keseluruhan. Berikut adalah kerangka berpikir yang digunakan dalam penelitian saya:



Gambar 2.9 Kerangka Berpikir

Sumber: Dokumentasi pribadi (2025)

D. Hipotesis

Dalam suatu penelitian, hipotesis memiliki peranan yang krusial sebagai pedoman dalam menentukan arah dan fokus kajian yang akan dilakukan. Perumusan hipotesis perlu dilakukan secara cermat sejak tahap awal penelitian agar dapat memberikan perkiraan sementara terhadap jawaban atas permasalahan yang dikaji. Secara konseptual, hipotesis merupakan pernyataan dugaan yang kebenarannya masih harus dibuktikan melalui proses pengumpulan serta analisis data. Oleh karena itu, peneliti perlu memahami secara mendalam konsep serta perbedaan antara hipotesis berarah dan tidak berarah. Pemahaman tersebut akan membantu dalam penyusunan desain penelitian yang lebih terarah sehingga hasil yang diperoleh bersifat valid, akurat, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah (Yam & Taufik, 2021).

Berikut adalah hipotesis yang diajukan dalam penelitian ini:

1. X_1 (Injektor) dan Y_1 (Mesin diesel)

- a. $H_0 \rightarrow X_1$ tidak berpengaruh terhadap Y_1
(Injektor tidak berpengaruh terhadap mesin diesel)
 - b. $H_1 \rightarrow X_1$ berpengaruh terhadap Y_1
(Injektor berpengaruh terhadap mesin diesel)
2. X_2 (Ring piston) dan Y_1 (Mesin diesel)
- a. $H_0 \rightarrow X_2$ tidak berpengaruh terhadap Y_1
(Ring piston tidak berpengaruh terhadap mesin diesel)
 - b. $H_1 \rightarrow X_2$ berpengaruh terhadap Y_1
(Ring piston berpengaruh terhadap mesin diesel)
3. X_3 (Katup hisap dan buang) dan Y_1 (Mesin diesel)
- a. $H_0 \rightarrow X_3$ tidak berpengaruh terhadap Y_1
(Katup hisap dan buang tidak berpengaruh terhadap mesin diesel)
 - b. $H_1 \rightarrow X_3$ berpengaruh terhadap Y_1
(Katup hisap dan buang berpengaruh terhadap mesin diesel)
4. X_1 (Injektor) dan Y_2 (Mesin induk)
- a. $H_0 \rightarrow X_1$ tidak berpengaruh terhadap Y_2
(Injektor tidak berpengaruh terhadap mesin induk)
 - b. $H_1 \rightarrow X_1$ berpengaruh terhadap Y_2
(Injektor berpengaruh terhadap mesin induk)
5. X_2 (Ring piston) dan Y_2 (Mesin induk)
- a. $H_0 \rightarrow X_2$ tidak berpengaruh terhadap Y_2
(Ring piston tidak berpengaruh terhadap mesin induk)
 - b. $H_1 \rightarrow X_2$ berpengaruh terhadap Y_2

(Ring piston berpengaruh terhadap mesin induk)

6. X_3 (Katup hisap dan buang) dan Y_2 (Mesin induk)

a. $H_0 \rightarrow X_3$ tidak berpengaruh terhadap Y_2

(Katup hisap dan buang tidak berpengaruh terhadap mesin induk)

b. $H_1 \rightarrow X_3$ berpengaruh terhadap Y_2

(Katup hisap dan buang berpengaruh terhadap mesin induk)

7. Y_1 (Mesin diesel) dan Y_3 (Kinerja operasional kapal)

a. $H_0 \rightarrow Y_1$ tidak berpengaruh terhadap Y_3

(Mesin diesel tidak berpengaruh terhadap kinerja operasional kapal)

b. $H_1 \rightarrow Y_1$ berpengaruh terhadap Y_3

(Mesin diesel berpengaruh terhadap kinerja operasional kapal)

8. Y_2 (Mesin induk) dan Y_3 (Kinerja operasional kapal)

a. $H_0 \rightarrow Y_2$ tidak berpengaruh terhadap Y_3

(Mesin induk tidak berpengaruh terhadap kinerja operasional kapal)

b. $H_1 \rightarrow Y_2$ berpengaruh terhadap Y_3

(Mesin induk berpengaruh terhadap kinerja operasional kapal)

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data, serta pembahasan pada Bab I hingga Bab IV mengenai pengaruh kondisi komponen sistem pembakaran terhadap kinerja *diesel generator* dan operasional kapal VLGC Jenggala 21 dengan menggunakan metode *Partial Least Squares–Structural Equation Modeling* (PLS-SEM), maka dapat disimpulkan penurunan kinerja *diesel generator* nomor 2 disebabkan oleh menurunnya performa komponen utama sistem pembakaran, yaitu injektor, ring piston, serta katup hisap dan buang. Kondisi tersebut ditandai dengan penurunan tekanan injektor, keausan ring piston yang melebihi batas toleransi, serta kerusakan pada katup dan dudukan katup akibat pembakaran yang tidak sempurna. Faktor utama penyebab kondisi ini adalah keterlambatan pelaksanaan perawatan dan *major overhaul* yang tidak sepenuhnya mengikuti ketentuan *running hours* sesuai *manual book*.

1. Penyebab penurunan kinerja *diesel generator* terhadap sistem mesin

Berdasarkan hasil penelitian dan kegiatan *overhaul* pada *diesel generator* kapal VLGC Jenggala 21 dengan mesin Yanmar tipe 8N21L-GL, dapat disimpulkan bahwa penurunan kinerja *diesel generator* disebabkan oleh menurunnya efektivitas sistem pembakaran akibat keausan dan kerusakan pada komponen utama, yaitu injektor, ring piston, serta katup hisap dan buang. Injektor yang telah melewati batas *running hours* mengalami penurunan tekanan injeksi sehingga proses pengabutan bahan

bakar tidak optimal dan pembakaran menjadi tidak sempurna. Ring piston yang melebihi batas toleransi menyebabkan kebocoran kompresi, meningkatnya konsumsi oli pelumas, serta menurunnya efisiensi pembakaran di dalam silinder. Selain itu, katup hisap dan buang yang mengalami keropos, permukaan terkikis, dan penumpukan karbon mengakibatkan gangguan aliran udara masuk dan gas buang serta peningkatan temperatur kerja mesin. Secara keseluruhan, gangguan pada sistem injeksi, sistem kompresi, dan sistem sirkulasi udara tersebut berdampak langsung terhadap penurunan daya mesin, peningkatan konsumsi bahan bakar, serta menurunnya kinerja operasional diesel generator.

2. Dampak penurunan kinerja *diesel generator* terhadap operasional kapal

Penurunan kinerja *diesel generator* nomor 2 di kapal VLGC Jenggala 21 berdampak signifikan terhadap operasional kapal, baik dari aspek teknis maupun operasional. Penurunan daya keluaran dari 960 kW menjadi 820 kW atau sekitar 14–15% menunjukkan bahwa generator tidak lagi bekerja sesuai kapasitas nominal, yang disertai peningkatan konsumsi bahan bakar sekitar $\pm 6,2\%$, kenaikan temperatur gas buang, serta penurunan tekanan kompresi akibat pembakaran yang tidak optimal. Kondisi tersebut menyebabkan beban kerja mesin meningkat, mempercepat keausan komponen, dan memperbesar risiko gangguan teknis dalam jangka panjang. Dari sisi operasional, berkurangnya kapasitas daya mengakibatkan pasokan listrik menjadi kurang stabil sehingga berpotensi mengganggu sistem

navigasi, permesinan bantu, peralatan keselamatan, serta kegiatan bongkar muat, bahkan memaksa generator lain bekerja lebih berat untuk menutupi kekurangan daya. Dengan demikian, penurunan kinerja diesel generator tidak hanya menurunkan efisiensi mesin, tetapi juga berdampak langsung terhadap keandalan, keselamatan, dan kelancaran operasional kapal secara keseluruhan.

3. Upaya mitigasi terhadap penurunan kinerja *diesel generator* diatas kapal

Upaya mitigasi penurunan kinerja diesel generator di atas kapal dilakukan melalui *major overhaul* sesuai jadwal *running hours* pabrikan serta pemeriksaan menyeluruh pada sistem pembakaran. Tindakan yang dilakukan meliputi penggantian injektor yang tidak memenuhi standar tekanan kerja hingga mencapai 342 bar, penggantian ring piston yang melebihi batas toleransi guna memulihkan tekanan kompresi dan kekedapan ruang bakar, serta perbaikan atau penggantian katup hisap dan buang beserta dudukannya melalui proses lapping untuk memastikan bidang kontak rapat dan mencegah kebocoran kompresi. Selain itu, diterapkan *Planned Maintenance System* (PMS) melalui pencatatan jam operasi, inspeksi rutin, serta monitoring berkelanjutan terhadap parameter penting seperti tekanan injektor, tekanan oli pelumas, temperatur kerja, dan kestabilan putaran mesin. Langkah tersebut bertujuan untuk mengembalikan efisiensi pembakaran, menekan konsumsi bahan bakar dan oli pelumas, menjaga stabilitas daya listrik, serta meningkatkan keandalan diesel generator dalam mendukung operasional kapal secara aman dan efisien.

4. Pengaruh variabel bebas yang di mediasi oleh kinerja *diesel generator* terhadap operasional kapal.

Pengaruh variabel bebas yang dimediasi oleh kinerja diesel generator menunjukkan bahwa injektor (X_1), ring piston (X_2), serta katup hisap dan buang (X_3) berpengaruh positif dan signifikan terhadap kinerja mesin diesel (Y_1) dan mesin induk (Y_2), yang selanjutnya berdampak pada kinerja operasional kapal (Y_3). Hasil PLS-SEM membuktikan bahwa kinerja mesin diesel (koefisien 0,424; P-value 0,002) dan mesin induk (koefisien 0,364; P-value 0,009) berpengaruh signifikan terhadap operasional kapal. Hal ini menunjukkan bahwa semakin baik kondisi komponen sistem pembakaran, semakin optimal kinerja diesel generator dan semakin terjamin stabilitas serta keandalan operasional kapal. Berikut adalah pengaruh variabel bebas yang di mediasi:

- a. X_1 Injektor terhadap Y_1 Mesin diesel, hasilnya positif dan signifikan hal ini dibuktikan dengan nilai *original sample*=0,309, *T-statistics*=2,672, *P-value*=0,004, sehingga hipotesis pertama dinyatakan diterima.
- b. X_1 Injektor terhadap Y_2 Mesin induk, hasilnya positif dan signifikan hal ini dibuktikan dengan nilai *original sample*=0,265, *T-statistics*=1,896, *P-value*=0,029, sehingga hipotesis pertama dinyatakan diterima
- c. X_2 Ring piston terhadap Y_1 Mesin diesel, hasilnya positif dan signifikan hal ini dibuktikan dengan nilai *original sample*=0,321, *T-statistics*=2,508, *P-value*=0,006, sehingga hipotesis pertama dinyatakan diterima.

- d. X_2 Ring piston terhadap Y_2 Mesin induk, hasilnya positif dan signifikan hal ini dibuktikan dengan nilai *original sample*=0,351, *T-statistics*=2,340, *P-value*=0,010, sehingga hipotesis pertama dinyatakan diterima.
- e. X_3 Katup hisap dan buang terhadap Y_1 Mesin diesel, hasilnya positif dan signifikan hal ini dibuktikan dengan nilai *original sample*=0,306, *T-statistics*=2,211, *P-value*=0,014, sehingga hipotesis pertama dinyatakan diterima.
- f. X_3 Katup hisap dan Buang terhadap Y_2 Mesin induk, hasilnya positif dan signifikan hal ini dibuktikan dengan nilai *original sample*=0,278, *T-statistics*=1,953, *P-value*=0,026, sehingga hipotesis pertama dinyatakan diterima.
- g. X_1 Mesin diesel terhadap Y_3 Kinerja operasional kapal, hasilnya positif dan signifikan hal ini dibuktikan dengan nilai *original sample*=0,424, *T-statistics*=2,949, *P-value*=0,002, sehingga hipotesis pertama dinyatakan diterima.
- h. Y_2 Mesin induk terhadap Y_3 Kinerja operasional kapal, hasilnya positif dan signifikan hal ini dibuktikan dengan nilai *original sample*=0,364, *T-statistics*=2,364, *P-value*=0,009, sehingga hipotesis pertama dinyatakan diterima.

B. Keterbatasan Penelitian

Berdasarkan pelaksanaan penelitian dan hasil yang diperoleh, terdapat beberapa keterbatasan yang dapat memengaruhi hasil penelitian dan dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada satu unit *diesel generator*, yaitu *diesel generator* nomor 2, sehingga hasil penelitian belum sepenuhnya mencerminkan kondisi keseluruhan sistem pembangkit listrik di atas kapal VLGC Jenggala 21.
2. Keterbatasan waktu penelitian selama masa praktik laut menyebabkan pengumpulan data hanya dilakukan pada periode tertentu, sehingga analisis tren penurunan kinerja mesin belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi jangka panjang.
3. Variabel penelitian dibatasi pada komponen injektor, ring piston, serta katup hisap dan buang, tanpa melibatkan sistem pendukung lainnya seperti sistem pendinginan, sistem pelumasan, dan kualitas bahan bakar secara lebih mendalam.

C. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan simpulan yang telah diperoleh, peneliti memberikan beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam upaya peningkatan kinerja mesin dan operasional kapal di masa mendatang, yaitu sebagai berikut:

1. Disarankan agar pihak kapal melaksanakan perawatan dan *major overhaul diesel generator* secara disiplin sesuai dengan ketentuan *running hours* yang

tercantum dalam *manual book*, khususnya pada komponen injektor, ring piston, serta katup hisap dan buang guna mencegah terjadinya penurunan kinerja mesin.

2. Untuk mengurangi dampak penurunan kinerja *diesel generator* terhadap operasional kapal, perlu dilakukan perawatan dan *major overhaul* secara tepat waktu sesuai *running hours* yang direkomendasikan pabrikan. Selain itu, pemantauan rutin terhadap daya keluaran, tekanan kompresi, temperatur, dan konsumsi bahan bakar harus dilaksanakan secara konsisten melalui *Planned Maintenance System* (PMS) agar gangguan dapat dideteksi lebih awal. Dengan perawatan *preventif* yang teratur, stabilitas pasokan listrik dan kelancaran operasional kapal dapat tetap terjaga.
3. Upaya mitigasi terhadap penurunan kinerja *diesel generator* di atas kapal perlu dilakukan melalui pelaksanaan *major overhaul* sesuai jadwal *running hours*, pemeriksaan dan penggantian komponen sistem pembakaran yang telah melewati batas toleransi, serta penerapan perawatan, dan perbaikan secara konsisten. *Monitoring* rutin terhadap tekanan injektor, tekanan kompresi, temperatur kerja, dan konsumsi bahan bakar juga harus dilakukan untuk mendeteksi penyimpangan sejak dini. Dengan langkah tersebut, efisiensi pembakaran, keandalan mesin, dan stabilitas pasokan listrik kapal dapat tetap terjaga.
4. Untuk memperkuat pengaruh variabel bebas yang dimediasi oleh kinerja *diesel generator* terhadap operasional kapal, disarankan agar perawatan komponen utama sistem pembakaran, seperti injektor, ring piston, serta

katup hisap dan buang, dilakukan secara berkala dan sesuai dengan jadwal *running hours*. Pengawasan terhadap parameter kinerja mesin diesel perlu ditingkatkan agar penurunan performa dapat segera terdeteksi sebelum berdampak pada mesin induk dan operasional kapal. Selain itu, evaluasi berkala terhadap hasil *monitoring*, perawatan, dan perbaikan secara konsisten perlu dilaksanakan guna memastikan kinerja *diesel generator* tetap optimal sehingga stabilitas, efisiensi, dan keselamatan operasional kapal dapat terjaga.



DAFTAR PUSTAKA

- Adamkiewicz, A., Fydrych, J., Berederung, B., & Drzewieniecki, J. (2022). Studies On The Effects Of Cold Starts. *Polish Maritime Research*, 29(3), 109–118.
- Ahmad Yani. (2022). Analisis Putaran Mesin diesel 16 Silinder Menggunakan Alat Dynamometer Terhadap Torsi Mesin, Daya Mesin Dan Komsumsi Bahan Bakar. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri*, 2(10.46306/tgc.v2i2), 162–174.
- Amiruddien, M., Puji, A., & Isnanto, R. R. (2021). Evaluasi Tingkat Penerimaan Sistem Manajemen Aset. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis*, 02, 87–96. <https://doi.org/10.21456/vol11iss2pp87-96>
- Andrade, C. (2021). a Student ' s Guide to the Classification and Operationalization of Variables in the Conceptualization and Design of a Clinical. *Indian Journal of Psychological Medicine*, 43(2), 177–179. <https://doi.org/10.1177/0253717621994334>
- Ardhiyansah, R. D., Wanto, K., Frastika, Y., Saifudin, I., & BTR, T. (2025). Pengaruh Menurunnya Kinerja Injector terhadap Performa Mesin induk di Kapal MV . Saviour. *Journal of Marine Engineering Research*, 1(1), 11–23.
- Aritonang, J. L. (2023). Peran Sensus Dalam Pembangunan Bangsa Indonesia. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3) 26087–26090.
- Asrulla, Risnita, Jailani, M. S., & Jeka, F. (2023). Populasi dan Sampling (Kuantitatif), Serta Pemilihan Informan Kunci (Kualitatif) dalam Pendekatan Praktis. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3), 26320–26332.
- Bugheanu, A., Pricopoaia, O., Madalina, C., & Popa, I. (2026). The implications of innovation in traditional industries : Revitalizing mature economic sectors. *Journal of Innovation & Knowledge*, 14(July 2025), 100959. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2026.100959>
- Chen, J., Shi, G., Wu, J., Cao, C., Zhou, L., Xu, W., Wang, S., & Li, X. (2024). *applied sciences Combustion and Emission Characteristics of a Diesel Engine with a Variable Injection Rate*. *Applied Sciences*, 14(issue number).
- Fahmi, A., Dirhamsyah, Gupron, A. K., Robbi, S. D., & Gunarti, M. R. (2025). Analisis Optimalisasi Kinerja Injector Pada Mesin Induk Type 6UEC52LA di MT *Ginga Bobcat*. *Impression : Jurnal Teknologi dan Informasi*, 4(3).
- Fatimah, Rosyidah, & Sulistyawati. (2024). Evaluasi Kepuasan Pasien pada Pelayanan Keperawatan Ruang Rawat Jalan di RSUD Ranai Kabupaten Natuna. *Jurnal Keperawatan Indonesia*, 4(2), 537–557.
- Ferrari, A., & Vassallo, A. (2025). *The impact of the common rail fuel injection system on performance and emissions of modern and future compression ignition engines*. Springer, Cham, Switzerland.

- Fijar, A. H., Irfan, S., Herlambang, S. M., Nugroho, A., & Gunarti, M. R. (2025). Analisis penyebab ketidaksempurnaan proses pengabutan pada injector mesin induk tipe Zichai-Yanmar 6N330-EW. *Impression: Jurnal Teknologi dan Informasi*, 4(1).
- Gao, B., Xu, J., Zhang, Z., Liu, Y., & Chang, X. (2024). Marine Mesin diesel piston ring fault diagnosis based on LSTM and improved beluga whale optimization. *Alexandria Engineering Journal*, 109(April), 213–228. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.08.075>
- Gunawan, S., Mulia, Doni, R., Gulo, Y., Pratama, M. R., Sitohang, Y., Zan'nah, S. V., & Affandi, D. (2025). Pengaruh penggunaan variasi bahan bakar dan beban kelistrikan terhadap kinerja engine diesel (The effect of using fuel and electrical load variations on diesel engine performance). *Impression: Jurnal Teknologi dan Informasi*, 4(1), 147–154.
- Haji-othman, Y., Sholeh, M., & Yusuff, S. (2024). Data analysis using partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) in conducting quantitative research. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 14(10), 2380–2388. <https://doi.org/10.6007/IJARBS/v14-i10/23364>
- Harahap, R. P. M. (2025). Konsep Dasar Metode Penelitian Pendidikan. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 9, 21590–21596.
- Hutasuhut, N., & Albina, M. (2025). Instrumen penelitian pendidikan. *BLAZE: Jurnal Bahasa dan Sastra dalam Pendidikan Linguistik dan Pengembangan*, 3(3), 177–190. <https://doi.org/10.59841/blaze.v3i3.2976>
- Jefrianto, M., Irwan, Kurniawan, E., & Kurniawan, M. (2024). Karya Ilmiah Terapan Optimalisasi Kinerja Injector Auxilery Engine di Kapal Mv Lintas Lorentz. *Jurnal Karya Bahari*, 7(1), 9–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.70031/jkb.v7i1.59>
- Khaddafi, M., Dewi, D., Juliyandan, R., Sahara, R., & Arami, M. (2025). Pentingnya pemahaman metode penelitian dalam dunia akademik (The importance of understanding research methods in the academic world). *JICN: Jurnal Intelek dan Cendekiawan Nusantara*, 2(3), 3852–3859.
- Kirketerp-møller, T., Hyldgaard, M. W., Cai, J., Dodis, A., Gorm, N., & Rytter, M. (2026). Journal of Ocean Engineering and Science Data-driven *predictive maintenance* for two-stroke marine Mesin diesels using machine learning and MLOps. *Journal of Ocean Engineering and Science*, June 2025. <https://doi.org/10.1016/j.joes.2025.11.011>
- Kılıç, B., & Arabacı, E. (2021). Effects of design and operating parameters on the performance of a quasi-realistic Diesel cycle engine. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 10. <https://doi.org/10.18245/ijaet.816130>

- Lamani, V. T., Shivaprasad, K. V., Roy, D., Yadav, A. K., & Kumar, G. N. (2024). Computational fluid dynamic analysis of the effect of inlet valve closing timing on common rail diesel engines fueled with butanol–diesel blends. *Frontiers in Energy Research*, 12, Article 1447307. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1447307>
- Lamb, J. (1961). *The Running And Maintenance Of The Marine Diesel Engine*. London: Butterworths.
- Lilly, L. (1984). *Mesin diesel Refrence Book*. London: Butterworths.
- Lv, Y., Yang, X., Li, Y., Liu, J., & Li, S. (2024). Fault Detection and Diagnosis Of Marine Diesels Engine: A Systematic Review. *Ocean Engineering*, 294 (November 2023), 116798. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.116798>
- Maulana, R., Nugroho, S., & Ismail, R. (2023). Analysis of Exhaust Valve Failure on a 155 cc 4 Stroke Motorcycle. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 11(2), 163.
- Meenakshi, V., Devi, P. B., Al, S., & Kunchi, K. (2024). Exploring the relationship between fuel injection pressure and nanoparticle additives on the combustion, performance, and emission characteristics of diesel engines fueled with animal waste-based blends. *Fuel*, 372, Article 131432.
- Menacer, B., Narayan, S., Tuninetti, V., Khatir, T., Oñate, A., Osorio, L., Abubakar, S., Samuel, J., Grujic, I., Stojanovic, N., & Kaisan, M. U. (2024). Impact of Influence of Piston Design Parameters on the Hydrodynamic Characteristics of Internal Combustion Engines—A Numerical Study. *Lubricants*, 12(12). <https://doi.org/10.3390/lubricants12120427>
- Mermertaş, F. (2024). Investigating the effect of service quality on customer satisfaction: The case of Mersin International Port. *Pamukkale University Journal of Social Sciences Institute*, (64), 199–213. <https://doi.org/10.30794/pausbed.1445607>
- Mulyo, C. E., Mahendra, S., & Fatra, F. (2025). Analisis Pengaruh Ketebalan Shim Injektor Nozzel Terhadap Waktu Konsumsi Bahan Bakar Dan Emisi Gas Buang Pada Mitsubishi Canter. *Journal of Vocational Education and Automotive Technology*, 7(1), 69–86.
- Musau, E. M., & Rucha, K. (2021). Effect of Green Manufacturing on Operational Performance of Manufacturing Firms in Mombasa County, Kenya. *European Scientific Journal ESJ*, 17(23), 323–347. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n23p323>
- Muthahharah, I., Juhari, A., & Habibah, S. (2025). Pendampingan Pengisian Kuesioner Penelitian Bagi Guru SDN 30 Panaikang Kabupaten Pangkep. *JHP2M: Jurnal Hasil-Hasil Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*, 4(1), 118–123. <https://doi.org/10.35880/jhp2m.v4i1.8491>
- Naje, W. A. (2025). A Review Paper on Internal Combustion Engine Diesel Fuel. *TPM – Testing, Psychometrics, Methodology in Applied Psychology*, 32(1),

1342–1350.

- Nur, A. (2025). Kelemahan Sistem Hukum Dalam Memberantas Korupsi di Indonesia. *Jurnal Ekonomika dan Bisnis (JEBS)*, 5(1), 325–344. <https://doi.org/10.47233/jebs.v5i1.2634>
- Okirie, A. J., Saturday, E. G., & Gift, M. I. (2025). Impact Analysis of Field Maintenance Practices on Reliability Metrics. *Maintenance and Reliability Conference (MARC) Proceedings*, 2025, 1–24. <https://doi.org/10.21595/marc.2024.24585>
- Patel, S., Torgal, S., Purohit, T., Kumar, R., Singh, D. V., & Kanchan, S. (2025). Impact of Variable Exhaust Valve Timing on Diesel Engine Characteristics Fueled With Waste Cooking Oil Biofuel Blends: A Numerical Analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 239(3), 1329–1352. <https://doi.org/10.1177/09544089231190221>
- Peng, B. (2024). A Review of Research on Marine Main Propulsion Systems. *Journal of Education and Educational Research*, 9(1), 189–192.
- Pereira, L. M., Rodrigues, V. S., Gaud, F., & Freires, M. (2024). Use of Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) to Improve Plastic Waste Management. *Applied Sciences*, 14, Article number.
- R, R. E. B., Camargo, M. I. B., & Vitery, F. C. (2021). Emerging Economies ' Institutional Quality and International Competitiveness: A PLS-SEM Approach. *Mathematics*, 9, Article 1234.
- Rahman, K. M., & Ahmed, Z. (2020). Combustion and Emission Characteristics of a Mesin diesel Operating with Varying Equivalence Ratio and Compression Ratio - A CFD Simulation. *Journal of Engineering Advancements*, 01(03), 101–110. <https://doi.org/10.38032/jea.2020.03.005>
- Rasoolimanesh, S. M. (2022). Discriminant Validity Assessment in PLS-SEM: A Comprehensive Composite-Based Approach. *Data Analysis Perspectives Journal*, 3, 1–8.
- Senčić, T., Mrzljak, V., Medica-Viola, V., & Wolf, I. (2022). CFD Analysis of a Large Marine Engine Scavenging Process. *Processes*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/pr10010141>
- Setiawan, A., Jailani, S., & Risnita. (2025). Penelitian Metode Campuran (*Mixed method*). *Arus Jurnal Sosial dan Humaniora (AJSH)*, 5(2).
- Solihat, I., Mahendrawan, E., & Sukandar. (2023). Analisis Pengukuran Efisiensi Volumetrik Mesin Diesel Alat Uji Prestasi. *Jurnal Inovasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (JIPTEK)*, 5(1), 42–47.
- Sugiyono. (2020). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

- Syahputri, A. Z., Fallenia, F. Della, & Syafitri, R. (2023). Kerangka Berfikir Penelitian Kuantitatif. *Tarbiyah: Jurnal Ilmu Pendidikan dan Pengajaran*.
- Tama, R. A. Z., Hoque, M. M., Liu, Y., Alam, M. J., & Yu, M. (2023). An Application of Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) to Examining Farmers ' Behavioral Attitude and Intention towards Conservation Agriculture in Bangladesh. *MDPI, Vol. 13, N, 1–22*. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020503>
- Taylor, D. A. (1996). *Introduction to Marine Engineering*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Wagiman, A. (2024). The Performance Improvement of The Combustion Process in Diesel Engines With Fuel Heater. *JEMMME: Journal of Energy, Mechanical, Material and Manufacturing Engineering, 9(2)*. <https://doi.org/10.22219/jemmme.v9i2.36203>
- Wilarso, Noor, C. W. M. N., Ayob, A. F., Mansor, W. N. W., & Pahmi, M. A. (2024). Failure Analysis of Valve Unit for MAN 9L21/31 Diesel Engine Generator. *ARASET: Advances in Research in Applied Science and Engineering Technology, 3(3), 185–193*. <https://doi.org/10.37934/araset.33.3.185193>
- Yam, J. H., & Taufik, R. (2021). Hipotesis Penelitian Kuantitatif. *PERSPEKTIF: Jurnal Ilmu Administrasi, 3(2), 96–102*.
- Yang, Y., Kim, J., Kim, N., & Park, S. (2024). Effects of Continuous Variable Valve Timing and Duration on Fuel/Air Mixture Formation. *Energy, 306, 132509*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132509>
- Yuan, Q. (2024). The Evolution and Future Trajectory of Diesel Engine Technology: Applications, Environmental Challenges, and Innovative Solutions for Sustainability. *Highlights in Science, Engineering and Technology, 119, 829–834*.
- Yuhana, Setiawan, D., Eko, P., & Utomo, P. (2024). Analisis Sistem E-Dimas Universitas Jambi dengan Pendekatan HOT-FIT Model. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis, 14(1), 77–87*. <https://doi.org/10.21456/vol14iss1pp77-87>
- Zhang, H., Gong, J., Ma, Y., Sun, W., Sun, K., & Bai, S. (2024). Investigation of the Influence of Lubricating Oil Viscosity on the Wear-Reducing Characteristics of Cylinder Liner Surface Texture. *Applied Sciences, 14(23), 10943*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app142310943>
- Zhang, X., Gao, J., Fan, D., Yang, Q., Han, F., & Yu, H. (2024). Impact of pilot diesel injection timing on performance and emission characteristics of marine natural gas/diesel dual-fuel engine. *Scientific Reports, 14(1), 1–12*. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61672-5>
- Zhou, L., & Suh, W. (2025). A Study on Port Service Quality, Customer Satisfaction, Customer Loyalty, and Referral Intention: Focusing on Korean

Container Terminals Amid Smart Port Development. *Systems*, 13, Article 486.
<https://doi.org/10.3390/systems13060486>



Lampiran 2: Crew List

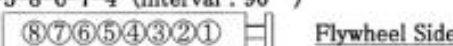
IMO CREW LIST											
(Name of shipping line)			2. Nationality of Ship				4. Date of Departure		03-Sep-24		
THOME SHIP MANAGEMENT Pte., Ltd			INDONESIA								
1. Name of Ship			3. Port of Departure				5. Number of Persons On Board				
JENGGALA 21			CAPE TOWN OPL		SOUTH OF AFRICA		27				
No	Nama	Rank	Nationality	Tanggal Lahir	Passport No	Expiry Passport	CDC No	Expiry CDC	Date of Joining	Seafarer Code	
1	Nur Achmad Yani	MASTER	INDONESIAN	25-May-66	C7791580	10-Feb-26	G 108883	07-May-26	23-May-24	6200027825	
2	Mulyo Aris Wibowo	CH OFF	INDONESIAN	17-Dec-88	C8676406	24-Mar-27	G 139317	01-Mar-25	01-Jun-24	6200257247	
3	Fernandez	2ND OFF	INDONESIAN	16-Mar-89	C6684379	02-Jun-25	J 098782	18-Oct-26	01-Jun-24	6200390830	
4	Adhitho Ridho Ramadhan	3RD OFF	INDONESIAN	03-Feb-96	E7209487	31-May-34	J 038916	20-May-27	02-Jun-24	6211579594	
5	Rosyid Febriansyah	DECK CADET	INDONESIAN	27-Feb-02	E2860689	29-Mar-33	I 008365	28-Feb-26	01-Jun-24	6212251256	
6	Daniel Sarbianto	CH ENG	INDONESIAN	24-Apr-77	X2437896	01-Nov-33	G 081743	30-Aug-26	02-Sep-24	6201016549	
7	Frans Leonardus	2ND ENG	INDONESIAN	20-May-94	E2447061	28-Jul-33	G 079150	16-Aug-26	02-Sep-24	6200060348	
8	Arfi Irham Mustaqim	3RD ENG	INDONESIAN	10-Feb-88	E4754492	20-Sep-33	F 343320	24-Apr-25	02-Jun-24	6200268118	
9	Muhammad Furqan	4TH ENG	INDONESIAN	27-Jan-97	C8103454	24-Nov-26	H 000398	25-Mar-25	01-Jun-24	6211579342	
10	Asep Rachmat	GASENG	INDONESIAN	21-Sep-80	E4816112	03-Aug-33	I 076669	16-Aug-26	01-Jun-24	6200120039	
11	Laba Hasiholan Sirait	ETO	INDONESIAN	18-Mar-75	C6735597	03-Sep-26	G 008928	29-Sep-25	01-Jun-24	6200252014	
12	Fauzan Fadhlur Rohman	ENGINE CADET	INDONESIAN	20-Mar-03	E2860594	28-Mar-33	I 031005	06-Mar-26	14-Feb-24	6212250919	
13	Julius Jee Compex	BOSUN	INDONESIAN	03-Jul-77	X3413020	20-Aug-34	F 240997	31-May-26	02-Sep-24	6201014890	
14	Donnie Fadjar	AB-1	INDONESIAN	12-Jun-80	C7932205	18-May-26	H 067171	15-Sep-25	02-Sep-24	6201317360	
15	Hidayat Mardjan	AB-2	INDONESIAN	08-Oct-93	C4937399	03-Nov-25	G 011392	03-Nov-25	01-Jun-24	6200557719	
16	Heri Nurdi	AB-3	INDONESIAN	15-Jun-74	E0790163	02-Nov-32	G 065441	09-Apr-26	01-Jun-24	6201022829	
17	Yodi Yohanes	OS-1	INDONESIAN	08-Mar-88	E4321074	13-Sep-33	F 306465	30-Dec-24	01-Jun-24	6202015521	
18	Jaka Bagus Sinaga	OS-2	INDONESIAN	06-Jun-92	C9665926	01-Sep-27	G 082658	16-Jun-26	02-Jun-24	6201070481	
19	Hasyim	FITTER	INDONESIAN	14-Nov-69	C6584020	21-Oct-26	F 244806	29-Jul-26	01-Jun-24	6201114629	
20	Jajang Wahyudin	OILER-1	INDONESIAN	25-Jul-86	E4597083	04-Aug-33	I 059460	14-Jul-26	01-Jun-24	6200385362	
21	Jufri	OILER-2	INDONESIAN	18-Aug-73	C6381337	07-Sep-25	H 033704	05-Jul-25	01-Jun-24	6201003139	
22	Iman Herliman	OILER-3	INDONESIAN	23-Mar-72	C9662221	21-Jul-27	I 058917	07-Jul-26	02-Jun-24	6211444456	
23	Davit Ashary	WIPER	INDONESIAN	29-Apr-93	X2575881	07-Nov-33	G 076622	25-May-26	01-Jun-24	6200147816	
24	Abdul Azis	CH.COOK	INDONESIAN	27-Jun-75	C7160755	09-Aug-26	I 003416	18-Jan-26	11-Jun-24	6200266773	
25	Syahrudin	MESSMAN	INDONESIAN	15-Dec-70	E0120228	21-Sep-27	I 057637	09-Jun-26	01-Jun-24	6201589599	
26	Derma Yoga	DECK FITTER	INDONESIAN	13-Feb-84	C9990526	01-Sep-27	F 240820	11-Jun-26	02-Sep-24	0	
27	Sugiarto	ADD 2ND ENG	INDONESIAN	10-Oct-72	C7590371	22-Oct-26	H 051377	20-Mar-26	02-Jun-24	0	

Lampiran 3: Specifications for Diesel Generator

SPECIFICATIONS FOR DIESEL GENERATOR ENGINE W. No. B7-0082101 (1/7)

SHIP OWNER	
SHIP YARD	KAWASAKI SHIPBUILDING CORPORATION
SHIP NUMBER	22N1636/ 1643 / 1666
A KIND OF SHIP	LPG
NAVIGATION OF AREA	OCEAN GOING
USE	MAIN GENERATOR DIESEL ENGINE
RULE	NK-M0
QUANTITY	3 SETS / VESSEL

1. PRINCIPAL DATA OF DIESEL ENGINE

Type	Vertical, Single Action, 4-Cycle, Direct Injection, Water Cooled Diesel Engine with Turbo-charger and Air Cooler
Model	8N21L-GV
Rated Output/Revolution	1065 kW (1448 PS) / 720 min ⁻¹ (rpm)
No. of Cylinder	8 (In-Line)
Cylinder Bore / Stroke	210 mm / 290 mm
Mean Effective Press.	2.209 MPa (22.53 kgf/cm ²)
Mean Piston Speed	6.96 m/s
Max. Combustion Press.	18.14 MPa (185 kgf/cm ²)
Over Load	10% Over Load : 60min. (Every 12 hours)
Direction of Rotation	Counter clock wise (as viewed from Flywheel Side)
Firing Order	1-3-2-5-8-6-7-4 (Interval : 90°)  Flywheel Side
Starting & Stopping System	<ul style="list-style-type: none"> • Remote(Auto)Starting/Stopping with Manual Starting/Stopping • Start. Method : Air Motor Starting with Press. Reducing Valve at Inlet Port of Air Motor Max. Start. Press. 2.94 MPa(30kgf/cm²) • Stop. Method : Control Air of 0.69~0.98MPa(7~10 kgf/cm²) and Electric (DC24V)Operation
Fuel Oil	<ul style="list-style-type: none"> • Heavy Fuel Oil (380 cSt at 50°C) The Viscosity must be kept in range 11~14 cSt at Eng. inlet continuous running with Gen.load < 20% is to be within 3 hours • Marine Diesel Oil at Starting , Stopping & Low load
Lubricating Oil System	<ul style="list-style-type: none"> • System Oil <ul style="list-style-type: none"> • Oil Sump : Built in Common Bed of D/G set • Forced Lubrication by the Engine driven Gear Pump • Kind of Lub. oil : A.P.I. Service Grade CD Viscosity : SAE No. 30 or 40 T.B.N. : 30~42 • Turbo-Charger Oil : Branch Supply from System Oil • Rocker Arm Oil : Branch Supply from System Oil • Governor Hydraulic Oil : Same to System Oil (To be below 70°C of governor temperature)
Cooling System	<ul style="list-style-type: none"> • Forced Cooling <ul style="list-style-type: none"> Cylinder & Cylinder head : Fresh Water(High Temp.) Lub.Oil Cooler & Air Cooler : Fresh Water(Low Temp.) Piston : Lub. Oil
Turning System	Ratchet type

W. No. 87-0082101 (2/7)

Specific Fuel Oil consumption	193 +3%/kW·h(142 +3% g/PS·h) with Eng. driven LO Pump and C.W. Pump 2 sets) 188 +3%/kW·h(138 +3%/PS·h) without Engine driven Pump. •At Eng. Rated Output 1065 kW (1448 PS)/ 720 min ⁻¹ Marine Diesel Oil used and Low Calorific Value of 42.7 MJ/kg (10,200 kcal/kg). •Based on the Standard Reference Conditions of ISO 3046/1. •NOx Level to meet IMO Exhaust Gas Regulation Tier I (D2 Mode) (Max 12.1 g/kW·h)
Specific Lub. Oil consumption	0.3~1.1 g/kW·h At eng. full load (0.2~0.8 g/PS·h)
Governor Characteristics At Load Variation of 100%→0%→36%→70%→100%	Speed Variation: Momentary ≤ 10% ,Permanent ≤ 5% Time of Stability within 1% of Final steady speed ≤ 5 sec.
Usage Condition Note:In case engine room temp. is lower than 5°C, the preheating system etc. before starting the engine is necessary to raise jacket water temp. higher than 5°C.	•Ambient Temperature ; 0~45°C •Relative Humidity ; ~85% •LT F.W. Temp. at cooler inlet ; ~38°C (Low Temp.) •HT F.W. Temp. at Eng. jacket outlet ; 85°C (High Temp.) •HT F.W. Press. at Eng. jacket inlet ; 0.15~0.40MPa (at HT F.W. Pump outlet) (1.5~4.0kgf/cm ²) •Exh. Gas Back Press. at Full Load ; below 3.43 kPa (below 350mmH ₂ O) Exhaust Gas Volume ; 6110 Nm ³ /h at Full Load Exhaust Gas Temp. of T/C Outlet ; 385 °C at Full Load •Combustion Air Volume(25°C) ; 6450 m ³ /h at Full Load •Eng. Room Ventilation Air Volume ; 0.27~0.41m ³ /min.·kW
Capacity of Lub. oil & Water	Fresh Water(Eng.jacket & piping) : 140 liters System Oil (Common bed tank) : 1200 liters Governor Hydraulic Oil : 1.3 liters

2. PRINCIPAL DATA OF A. C. GENERATOR

Rated Output / Revolution	960kW / 720 min ⁻¹
Rated Voltage / Current	AC450V / 1540A
No. of Phase / Frequency	3 φ / 60Hz
Power Factor	0.8
Insulation	Class F
Enclosure / Cooling	Drip-Proof / Self-ventilating
Type of Bearing / Lubrication	Double / Self-Lubrication
Coupling of Eng. and Gen.	Rigit
Manufacture	TAIYO ELECTRIC CO., LTD.
Remark : 1. This AC Generator is supplied by shipyard. 2. Please refer to document of gen. maker.	

3. MATERIAL & STRUCTURE OF ENGINE

Parts Name	Material	Structure
Cylinder Block	Cast iron	Monoblock casting and having underslung main bearing cap. The air duct, cooling water and lub. oil passages are integrated in block.
Cylinder Liner	Special cast iron	Wet type
Cylinder Head	Cast iron	Fuel injection valve in center, indicator valve on head cover. 4-valve type consisting of 2 suction valves and 2 exh.valves Exh. valve seat rings and nozzle sleeve are cooled by F.W. Exhaust valves are made of Nimonic
Piston	Special cast iron	Monoblock casting and forced oil cooling. Top and second ring grooves are treated with laser hardening. Ring's arrangement is three compression rings and one oil ring.
Piston Pin	Special steel	Floating type

Lampiran 4: Tambahan Foto



Lampiran 5: Hasil Wawancara

Berikut ini adalah catatan hasil wawancara Penulis dengan *Chief Engineer* di kapal VLGC Jenggala 21 yang dilaksanakan selama masa praktik laut:

Penulis/*Engine Cadet* : Fauzan Fadhlur Rohman

Chief Engineer : Daniel Sarbianto

Tempat, Tanggal : *Engine Control Room*, 25 April 2024

Penulis : Izin *Chief*, menurut *Chief* seberapa besar pengaruh kondisi injektor terhadap kinerja *diesel generator*?

Chief Engineer : Sangat besar. Kalau injektor tidak normal, pengabutan bahan bakar terganggu. Akibatnya pembakaran tidak sempurna dan *output generator* bisa tidak stabil.

Penulis : Biasanya tandanya apa?

Chief Engineer : Asap lebih pekat, getaran meningkat, dan beban listrik kadang tidak stabil.

Penulis : Kalau ring piston bagaimana pengaruhnya ke *diesel generator*?

Chief Engineer : Ring piston menjaga kompresi. Kalau sudah aus, tenaga mesin turun sehingga putaran mesin tidak optimal dan bisa memengaruhi suplai listrik.

Penulis : Untuk katup hisap dan buang sendiri, *Chief*?

Chief Engineer : Kalau katup bocor atau tidak rapat, pembakaran terganggu. Efeknya performa *generator* menurun dan konsumsi bahan bakar meningkat.

Penulis : Jadi ketiga komponen ini berpengaruh langsung terhadap operasional kapal?

Chief Engineer : Betul. *Diesel generator* itu penunjang utama listrik kapal. Kalau performanya turun, sistem di kapal juga bisa terganggu.

Penulis : Baik *Chief*, dari penjelasan tadi bisa saya simpulkan bahwa kondisi injektor, ring piston, serta katup hisap dan buang sangat berpengaruh terhadap kinerja *diesel generator* dan operasional kapal. Terima kasih banyak atas waktunya dan penjelasannya, *Chief*.

Chief Engineer : Iya, betul. Sama-sama. Semoga penelitianmu lancar dan bisa bermanfaat.

Berikut ini adalah catatan hasil wawancara Penulis dengan *3rd Engineer* di kapal VLGC Jenggala 21 yang dilaksanakan selama masa praktik laut.

Penulis/*Engine Cadet* : Fauzan Fadhlur Rohman

3rd Engineer : Arfi Irham Mustaqim

Tempat, Tanggal : *Engine Control Room*, 25 April 2024

Penulis : Izin, bas. Saya mau tanya soal kondisi injektor di *diesel generator*. Menurut bas, pengaruhnya bagaimana ke kinerja mesin?

3rd Engineer : Pengaruhnya cukup besar. Kalau injektor mulai kotor atau semprotannya tidak bagus, pembakaran jadi kurang maksimal. Biasanya tenaga turun dan konsumsi bahan bakar lebih boros.

- Penulis : Kalau ring piston, biasanya dampaknya apa bas?
- 3rd Engineer : Kalau ring piston aus, kompresi berkurang. Putaran mesin bisa kurang stabil, apalagi saat *generator* menerima beban tinggi.
- Penulis : Untuk katup hisap dan buang?
- 3rd Engineer : Kalau katup tidak rapat, bisa terjadi kebocoran kompresi. Mesin jadi kurang efisien dan suhu gas buang bisa naik.
- Penulis : Berarti ketiga komponen itu memang berpengaruh langsung terhadap performa *diesel generator* ya, bas?
- 3rd Engineer : Iya, benar. Kalau salah satu bermasalah, performa *generator* pasti ikut terganggu.
- Penulis : Baik bas, terima kasih atas penjelasannya
- 3rd Engineer : Sama-sama, semoga lancar skripsinya.



Lampiran 6: Hasil Uji SmartPLS

Outer loading

	X₁ Injektor	X₂ Ring piston	X₃ Katup hisap dan buang	Y₁ Mesin diesel	Y₂ Mesin Induk	Y₃ Kinerja operasional kapal
X_{1.1}	0,883					
X_{1.2}	0,707					
X_{1.3}	0,804					
X_{1.4}	0,809					
X_{1.5}	0,806					
X_{2.1}		0,951				
X_{2.2}		0,802				
X_{2.3}		0,728				
X_{2.4}		0,774				
X_{2.5}		0,811				
X_{3.1}			0,955			
X_{3.2}			0,776			
X_{3.3}			0,726			
X_{3.4}			0,767			
X_{3.5}			0,737			
Y_{1.1}				0,945		
Y_{1.2}				0,781		
Y_{1.3}				0,756		
Y_{1.4}				0,805		
Y_{1.5}				0,727		
Y_{2.1}					0,903	
Y_{2.2}					0,871	
Y_{2.3}					0,858	
Y_{2.4}					0,761	
Y_{2.5}					0,835	
Y_{3.1}						0,942
Y_{3.2}						0,792
Y_{3.3}						0,812
Y_{3.4}						0,817
Y_{3.5}						0,862

Uji reabilitas dan AVE

	Cronbach's Alpha	rho_A	Composite Reliability	Average Variance Extracted (AVE)
X ₁ Injektor	0,863	0,893	0,901	0,646
X ₂ Ring piston	0,872	0,891	0,908	0,667
X ₃ Katup hisap dan buang	0,852	0,883	0,896	0,634
Y ₁ Mesin diesel	0,863	0,885	0,902	0,651
Y ₂ Mesin Induk	0,901	0,918	0,927	0,717
Y ₃ Kinerja operasional kapal	0,900	0,927	0,927	0,717

Cross loading

	X ₁ Injektor	X ₂ Ring piston	X ₃ Katup hisap dan buang	Y ₁ Mesin diesel	Y ₂ Mesin Induk	Y ₃ Kinerja operasional kapal
X _{1.1}	0,883	0,476	0,340	0,599	0,618	0,468
X _{1.2}	0,707	0,381	0,346	0,418	0,261	0,149
X _{1.3}	0,804	0,356	0,299	0,400	0,355	0,203
X _{1.4}	0,809	0,557	0,356	0,523	0,496	0,304
X _{1.5}	0,806	0,343	0,307	0,444	0,442	0,171
X _{2.1}	0,573	0,951	0,517	0,656	0,638	0,505
X _{2.2}	0,262	0,802	0,399	0,505	0,437	0,500
X _{2.3}	0,485	0,728	0,330	0,454	0,429	0,205
X _{2.4}	0,298	0,774	0,500	0,485	0,554	0,474
X _{2.5}	0,535	0,811	0,441	0,537	0,535	0,469
X _{3.1}	0,419	0,591	0,955	0,624	0,604	0,544
X _{3.2}	0,351	0,434	0,776	0,451	0,440	0,419
X _{3.3}	0,319	0,347	0,726	0,523	0,340	0,435
X _{3.4}	0,223	0,397	0,767	0,482	0,358	0,313
X _{3.5}	0,288	0,337	0,737	0,289	0,522	0,273
Y _{1.1}	0,560	0,683	0,585	0,945	0,645	0,690
Y _{1.2}	0,589	0,413	0,521	0,781	0,642	0,535
Y _{1.3}	0,403	0,447	0,448	0,756	0,374	0,414
Y _{1.4}	0,436	0,629	0,484	0,805	0,498	0,486
Y _{1.5}	0,435	0,417	0,381	0,727	0,472	0,517
Y _{2.1}	0,541	0,559	0,579	0,667	0,903	0,753
Y _{2.2}	0,531	0,569	0,429	0,526	0,871	0,428

	X ₁ Injektor	X ₂ Ring piston	X ₃ Katup hisap dan buang	Y ₁ Mesin diesel	Y ₂ Mesin Induk	Y ₃ Kinerja operasional kapal
Y _{2.3}	0,375	0,484	0,427	0,488	0,858	0,507
Y _{2.4}	0,445	0,584	0,346	0,430	0,761	0,382
Y _{2.5}	0,485	0,536	0,603	0,643	0,835	0,581
Y _{3.1}	0,393	0,648	0,608	0,719	0,671	0,942
Y _{3.2}	0,250	0,428	0,260	0,386	0,434	0,792
Y _{3.3}	0,207	0,272	0,506	0,495	0,494	0,812
Y _{3.4}	0,220	0,430	0,304	0,508	0,509	0,817
Y _{3.5}	0,354	0,429	0,408	0,629	0,574	0,862

VIF

	Y ₁ Mesin diesel	Y ₂ Mesin Induk	Y ₃ Kinerja operasional kapal
X ₁ Injektor	1,440	1,440	
X ₂ Ring piston	1,697	1,697	
X ₃ Katup hisap dan buang	1,455	1,455	
Y ₁ Mesin diesel			1,782
Y ₂ Mesin Induk			1,782
Y ₃ Kinerja operasional kapal			

Outer weight

	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistics (|O/STDEV|)	P Values
X1.1 <- X1 Injektor	0,883	0,882	0,031	28,642	0,000
X1.2 <- X1 Injektor	0,707	0,705	0,076	9,310	0,000
X1.3 <- X1 Injektor	0,804	0,795	0,068	11,818	0,000
X1.4 <- X1 Injektor	0,809	0,806	0,051	15,739	0,000

	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistics (|O/STDEV|)	P Values
X1.5 <- X1 Injektor	0,806	0,799	0,060	13,355	0,000
X2.1 <- X2 Ring piston	0,951	0,950	0,011	82,893	0,000
X2.2 <- X2 Ring piston	0,802	0,799	0,049	16,468	0,000
X2.3 <- X2 Ring piston	0,728	0,721	0,066	10,996	0,000
X2.4 <- X2 Ring piston	0,774	0,767	0,061	12,675	0,000
X2.5 <- X2 Ring piston	0,811	0,813	0,037	22,139	0,000
X3.1 <- X3 Katup hisap dan buang	0,955	0,955	0,012	81,054	0,000
X3.2 <- X3 Katup hisap dan buang	0,776	0,769	0,067	11,545	0,000
X3.3 <- X3 Katup hisap dan buang	0,726	0,725	0,069	10,534	0,000
X3.4 <- X3 Katup hisap dan buang	0,767	0,766	0,058	13,236	0,000
X3.5 <- X3 Katup hisap dan buang	0,737	0,731	0,065	11,284	0,000
Y1.1 <- Y1 Mesin diesel	0,945	0,945	0,013	70,275	0,000
Y1.2 <- Y1 Mesin diesel	0,781	0,782	0,045	17,465	0,000
Y1.3 <- Y1 Mesin diesel	0,756	0,757	0,057	13,273	0,000
Y1.4 <- Y1 Mesin diesel	0,805	0,804	0,044	18,457	0,000
Y1.5 <- Y1 Mesin diesel	0,727	0,729	0,074	9,818	0,000
Y2.1 <- Y2 Mesin Induk	0,903	0,903	0,022	41,505	0,000
Y2.2 <- Y2 Mesin Induk	0,871	0,871	0,028	30,975	0,000
Y2.3 <- Y2 Mesin Induk	0,858	0,858	0,040	21,275	0,000
Y2.4 <- Y2 Mesin Induk	0,761	0,759	0,059	12,930	0,000
Y2.5 <- Y2 Mesin Induk	0,835	0,827	0,043	19,437	0,000

	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistics (|O/STDEV|)	P Values
Y3.1 <- Y3 Kinerja operasional kapal	0,942	0,942	0,015	63,834	0,000
Y3.2 <- Y3 Kinerja operasional kapal	0,792	0,785	0,062	12,778	0,000
Y3.3 <- Y3 Kinerja operasional kapal	0,812	0,808	0,051	16,038	0,000
Y3.4 <- Y3 Kinerja operasional kapal	0,817	0,816	0,047	17,559	0,000
Y3.5 <- Y3 Kinerja operasional kapal	0,862	0,861	0,029	29,866	0,000

R-square

	R Square	R Square Adjusted
Y₁ Mesin diesel	0,582	0,552
Y₂ Mesin Induk	0,535	0,502
Y₃ Kinerja operasional kapal	0,517	0,494

f-square

	Y ₁ Mesin diesel	Y ₂ Mesin Induk	Y ₃ Kinerja operasional kapal
X₁ Injektor	0,159	0,105	
X₂ Ring piston	0,145	0,156	
X₃ Katup hisap dan Buang	0,153	0,115	
Y₁ Mesin diesel			0,208
Y₂ Mesin Induk			0,154
Y₃ Kinerja operasional kapal			

Q-square

	SSO	SSE	Q ² (=1-SSE/SSO)
X ₁ Injektor	230,000	230,000	
X ₂ Ring piston	230,000	230,000	
X ₃ Katup hisap dan buang	230,000	230,000	
Y ₁ Mesin diesel	230,000	150,601	0,345
Y ₂ Mesin Induk	230,000	146,503	0,363
Y ₃ Kinerja operasional kapal	230,000	150,519	0,346

Uji hipotesis

	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistics ((O/STDEV))	P Values
X ₁ Injektor -> Y ₁ Mesin diesel	0,309	0,316	0,116	2,672	0,004
X ₁ Injektor -> Y ₂ Mesin Induk	0,265	0,265	0,140	1,896	0,029
X ₂ Ring piston -> Y ₁ Mesin diesel	0,321	0,313	0,128	2,508	0,006
X ₂ Ring piston -> Y ₂ Mesin Induk	0,351	0,350	0,150	2,340	0,010
X ₃ Katup hisap dan buang -> Y ₁ Mesin diesel	0,306	0,313	0,138	2,211	0,014
X ₃ Katup hisap dan buang -> Y ₂ Mesin Induk	0,278	0,280	0,142	1,953	0,026
Y ₁ Mesin diesel -> Y ₃ Kinerja operasional kapal	0,424	0,428	0,144	2,949	0,002

	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistics (O/STDEV)	P Values
Y2 Mesin Induk -> Y3 Kinerja operasional kapal	0,364	0,374	0,154	2,364	0,009



Lampiran 7: Hasil Kuesioner

HASIL KUESIONER PENGARUH INJEKTOR, RING PISTON, DAN KATUP HISAP BUANG DALAM PROSES PEMBAKARAN MESIN DIESEL PISIS ATT I DAN PISIS ATT II																																			
NO	NAMA	TINGKAT	X1.1	X1.2	X1.3	X1.4	X1.5	X2.1	X2.2	X2.3	X2.4	X2.5	X3.1	X3.2	X3.3	X3.4	X3.5	Y1.1	Y1.2	Y1.3	Y1.4	Y1.5	Y2.1	Y2.2	Y2.3	Y2.4	Y2.5	Y3.1	Y3.2	Y3.3	Y3.4	Y3.5			
1	KHOIRUL ANAM	PISIS ATT II	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	3	4	3	4			
2	ACHMAD FAJAR RABBUL	PISIS ATT I	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4			
3	ARDHY SETIAWAN	PISIS ATT I	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3			
4	AGUS SANTOSO	PISIS ATT I	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4			
5	ANGGARIDUWAN	PISIS ATT I	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4		
6	AHMAD SHOLIQUN	PISIS ATT I	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4		
7	PRANOWO	PISIS ATT I	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
8	NOVI WIDIARTO	PISIS ATT I	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4		
9	DEDE SUHERMAN	PISIS ATT I	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3		
10	ARYA PUTRA HADINATA	PISIS ATT I	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
11	ARWIN APRIADI	PISIS ATT I	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4		
12	FAHRI RAMADHAN	PISIS ATT I	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
13	MUHAMAD WAHADIAH	PISIS ATT I	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	3	4	3	4	4	3	3	4	4		
14	MULYADI	PISIS ATT I	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3		
15	SAMSUDIN NUR HIDAYAT	PISIS ATT I	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
16	SAMBANG PRAKOSO	PISIS ATT I	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4		
17	SANI FITRA AKHMADI	PISIS ATT I	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3		
18	SUGIK WIDODO	PISIS ATT I	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
19	SURYA ADI KHARISMA	PISIS ATT I	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	
20	TIMOTIUS DIAN KARTIKO	PISIS ATT I	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
21	TRİYONO	PISIS ATT I	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
22	YOGATAMA ARYO BIMO	PISIS ATT I	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3		
23	UNTUNG MUGI LAKSONO	PISIS ATT I	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4		
24	PUGUH ESTU WICAKSONO	PISIS ATT II	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4		
25	REGAN PRIANGGO DIQDO	PISIS ATT II	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4		
26	TIO ABDI NUGROHO	PISIS ATT II	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4		
27	KHOIRUL ANAM	PISIS ATT II	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3		
28	REVA YAYAN ARDIANTA	PISIS ATT II	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
29	RIO YUSUF LATIF	PISIS ATT II	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	3		
30	KOKOK DIANTORO	PISIS ATT II	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
31	ROISUL FATA	PISIS ATT II	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	
32	TRI KUSYANTO	PISIS ATT II	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
33	KURNAWAN CANDRA SAPUTRA	PISIS ATT II	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	
34	SARIF HENDY SETIAWAN	PISIS ATT II	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	
35	LAODE MARDIANSYAH	PISIS ATT II	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	
36	SHOLIKIN YUNIARTO	PISIS ATT II	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
37	NORMAN DEWANTO WARKAM	PISIS ATT II	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	
38	OKY SEIYO BUDIUTOMO	PISIS ATT II	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
39	PRILO AGUNG PRIBADI	PISIS ATT II	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
40	VINSENIUS YOGA ADIWIYANA	PISIS ATT II	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	
41	WAHYU SANTOSO	PISIS ATT II	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	
42	WANDAINAS AULLIA RAMADANI	PISIS ATT II	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	
43	ULUL ADKHA FELANI	PISIS ATT II	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	
44	YOGA DWILESMANA	PISIS ATT II	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	
45	SAPRUDIN	PISIS ATT I	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	
46	YOGA DWILESMANA	PISIS ATT I	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4
JUMLAH			166	180	182	182	178	164	181	176	182	179	180	183	179	183	183	179	177	178	177	176	175	175	178	181	178	176	175	177	178	178	175		
RATA-RATA			3,608696	3,913043	3,956522	3,956522	3,869565	3,565217	3,934783	3,826087	3,956522	3,891304	3,913043	3,978261	3,891304	3,978261	3,978261	3,891304	3,847826	3,869565	3,847826	3,826087	3,804348	3,804348	3,869565	3,934783	3,869565	3,826087	3,804348	3,847826	3,869565	3,804348	3,804348		

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



1. Nama : Fauzan fadhlor rohman
2. Tempat, Tanggal Lahir : Magelang, 20 Maret 2003
3. NIT : 582111228061T
4. Agama : Islam
5. Jenis Kelamin : Laki-Laki
6. Golongan Darah : B
7. Alamat : Dusun Telukan, RT 02, RW 05, Danurejo,
Mertoyudan, Kabupaten Magelang
8. Nama Orang Tua
 - Ayah : Susiyanto
 - Ibu : Efi Munawaroh
9. Praktek Laut
 - Perusahaan Pelayaran : PT. Equinox Bahari Utama
 - Divisi / Bagian : Engine Cadet
 - Masa Praktek : 27 Oktober 2023 – 18 Januari 2025
10. Riwayat Pendidikan
 - SD : SD Muhammadiyah 1 Alternatif Kota
Magelang
 - SMP : SMP N 7 Kota Magelang
 - SMA : SMK N 1 Kota Magelang
 - Perguruan Tinggi : Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang