



**OPTIMALISASI KINERJA *EXHAUST GAS CLEANING SYSTEM* DALAM
UPAYA IMPLEMENTASI MARPOL ANNEX VI DI MV. HL VISION :
SEBUAH PENDEKATAN CAMPURAN**

SKRIPSI

**Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Terapan Pelayaran
pada Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang**

Oleh

**MUHAMMAD DRIYA SATRIATAMA
NIT 582111228069 T**

**PROGRAM STUDI TEKNIKA DIPLOMA IV
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN SEMARANG
TAHUN 2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

OPTIMALISASI KINERJA *EXHAUST GAS CLEANING SYSTEM*

DALAM UPAYA IMPLEMENTASI MARPOL ANNEX VI

DI MV. HL VISION : SEBUAH PENDEKATAN CAMPURAN

Disusun Oleh:

MUHAMMAD DRIYA SATRIATAMA

NIT. 582111228069 T

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

Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang

Semarang, 2025

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. A. Agus Tjahjono, M.M., M. Mar.E.
NIP. 197106201999031001

Ir. Fitri Kensiwi, M.Pd.
NIP. 196607021992032009

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknika

Dr. Ali Muktar Sitompul, M.T, M.Mar.E
NIP.197303312006041001

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Optimalisasi Kinerja *Exhaust Gas Cleaning System* dalam Upaya Implementasi MARPOL Annex VI di MV. HL Vision : Sebuah Pendekatan Campuran” karya,

Nama : Muhammad Driya Satriatama

NIT : 582111228069 T

Program Studi : Teknika

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

Semarang, 2025

PENGUJI

Penguji I : Dr. Amad Narto, M.Pd., M.Mar.E.
NIP. 19641212 199808 1 001

Penguji II : Prof. Dr. A. Agus Tjahjono, M.M., M. Mar.E.
NIP. 19710620 199903 1 001

Penguji III : Irma Shinta Dewi, S.S., M.Pd.
NIP. 19730713 199803 2 003

Mengetahui :

Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang

Dr. Ir. Mafrisal, M.T., M.Mar.E.
NIP. 19730205 199903 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Driya Satriatama

NIT : 582111228069 T

Program Studi : D.IV Teknika

Skripsi dengan judul “Optimalisasi Kinerja *Exhaust Gas Cleaning System* dalam Upaya Implementasi MARPOL Annex VI di MV. HL Vision : Sebuah Pendekatan Campuran”.

Dengan ini saya menyatakan bahwa yang tertulis dalam skripsi ini benar-benar hasil karya (penelitian 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 resiko/sanksi yang di jatuhkan apabila ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya ini.

Semarang, 2025

Yang membuat pernyataan,

MUHAMMAD DRIYA SATRIATAMA
NIT. 582111228069 T

MOTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

"Kesuksesan bukanlah tujuan akhir, melainkan perjalanan yang ditempuh dengan ketekunan, keberanian, dan kerja keras."

Persembahan:

1. Untuk keluarga terutama kedua orang tua saya yang senantiasa memberikan dukungan dan do'a kepada saya.
2. Almamater Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang serta seluruh dosen di lingkungan Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.
3. PT. Jasindo duta segara serta H Line *company* yang telah memberikan saya kesempatan untuk mengawali karir saya.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “Optimalisasi Kinerja *Exhaust Gas Cleaning System* dalam Upaya Implementasi MARPOL Annex VI di MV. HL Vision : Sebuah Pendekatan Campuran” ini dengan baik. Penelitian ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan di Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Semarang.

Dalam proses penyusunan penelitian ini, penulis mendapatkan banyak dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Mafrisal, MT., M.Mar.E. selaku Direktur PIP Semarang, yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas bagi penulis dalam menempuh pendidikan di PIP Semarang.
2. Bapak Dr. Ali Muktar Sitompul, M.T., M.Mar.E. selaku Kepala Program Studi Teknika PIP Semarang, yang telah memberikan arahan dan dukungan akademik selama masa perkuliahan dan penyusunan penelitian ini.
3. Bapak Prof. Dr. A. Agus Tjahjono, M.M., M. Mar.E. selaku dosen pembimbing materi, yang dengan sabar memberikan bimbingan, ilmu, serta wawasan dalam proses penyusunan penelitian ini.
4. Ibu Ir. Fitri Kensiwi, M.Pd. selaku Dosen Pembimbing Penulisan, yang telah membantu dalam penyusunan naskah penelitian ini dengan masukan dan koreksi yang sangat berharga.

5. Seluruh Dosen dan Pegawai PIP Semarang, yang telah memberikan ilmu dan pengalaman berharga selama masa studi di kampus ini.
6. PT. Jasindo Duta Segara dan H Line *shipping company* serta *Engineer* kapal HL Vision, tempat penulis mendapatkan pengalaman kerja berharga yang sangat membantu dalam pemahaman dunia maritim dan penelitian ini.
7. Kedua orang tua tercinta saya, Bapak Tri Hanyono dan Ibu Haryanti serta adik saya Alfian Fathurrisqi Satria Aji dan Zahidah Satrianing Tyas yang selalu memberikan doa, dukungan, kasih sayang, serta semangat tanpa henti dalam setiap langkah perjalanan akademik dan kehidupan penulis.
8. Teman-teman taruna PIP Semarang Angkatan 58 khususnya kasta Boyolali.
9. Kepada pemilik NIM 23020321120006 Antariesta Sierra Elhusna yang telah memberikan kebersamaan, dukungan moral, serta motivasi selama penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan penelitian ini di masa mendatang. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan serta industri maritim.

Semarang,

2025

Peneliti

MUHAMMAD DRIYA SATRIATAMA
NIT. 582111228069 T

ABSTRAKSI

Satriatama, Muhammad Driya. 2025, “Optimalisasi Kinerja Exhaust Gas Cleaning System dalam Upaya Implementasi MARPOL Annex VI di MV. HL Vision : Sebuah Pendekatan Campuran”. Skripsi. Program Diploma IV, Program Studi Teknika, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, Pembimbing I: Prof. Dr. A. Agus Tjahjono, M.M., M. Mar.E., Pembimbing II : Ir. Fitri Kensiwi, M.Pd.

Kapal MV. HL Vision merupakan kapal niaga yang telah mengimplementasikan sistem *Exhaust Gas Cleaning System* (EGCS) open loop sebagai bentuk kepatuhan terhadap regulasi MARPOL Annex VI dalam mengurangi emisi gas buang berbahaya dari mesin utama. Dalam praktik operasional di atas kapal, ditemukan penurunan efektivitas kinerja EGCS yang mengakibatkan proses penghilangan polutan, khususnya sulfur oksida (SO_x), menjadi tidak optimal. Kondisi ini berpotensi menyebabkan pelanggaran terhadap regulasi internasional serta menurunkan efisiensi operasional mesin induk. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab ketidakefektifan EGCS, dampaknya terhadap kinerja mesin induk, serta merumuskan upaya perbaikan sistem yang sesuai.

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan campuran (*mixed methods*) dengan desain *sequential explanatory*, yaitu pengumpulan data dilakukan terlebih dahulu secara kuantitatif melalui penyebaran kuesioner kepada taruna yang telah melaksanakan praktik laut di MV. HL Vision, kemudian dilanjutkan dengan pendekatan kualitatif melalui observasi dan wawancara mendalam. Data kuantitatif dianalisis menggunakan teknik *Structural Equation Modeling* (SEM) berbasis *Partial Least Squares* (PLS) melalui aplikasi SmartPLS. Sementara itu, data kualitatif dianalisis secara tematik dan dikuatkan dengan metode triangulasi berupa observasi, wawancara dan dokumentasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variabel kualitas bahan bakar, kualitas air EGCS, dan pemeliharaan sistem EGCS berpengaruh signifikan terhadap kinerja EGCS, yang kemudian berdampak langsung terhadap kinerja mesin induk. Penyebab utama ketidakefektifan EGCS berasal dari kurangnya frekuensi perawatan komponen dan fluktuasi kualitas air buangan. Rekomendasi dari penelitian ini adalah penjadwalan ulang inspeksi dan perawatan komponen sistem, serta peningkatan monitoring terhadap parameter air cucian gas buang guna memastikan sistem berjalan sesuai regulasi.

Kata kunci: EGCS, MARPOL Annex VI, mesin induk, kualitas bahan bakar, mixed method

ABSTRACT

Satriatama, Muhammad Driya. 2025, " Optimization of Exhaust Gas Cleaning System Performance in Supporting the Implementation of MARPOL Annex VI on MV. HL Vision: A Mixed-Methods Approach ." Thesis. Diploma IV Program, Engineering Study Program, Semarang Shipping Science Polytechnic, Supervisor I: Prof. Dr. A. Agus Tjahjono, M.M., M. Mar.E., Supervisor II: Ir. Fitri Kensiwi, M.Pd.

MV. HL Vision is a commercial vessel that has implemented an open-loop Exhaust Gas Cleaning System (EGCS) as part of its compliance with MARPOL Annex VI regulations to reduce harmful exhaust gas emissions from the main engine. However, during ship operations, a decline in EGCS performance was observed, leading to suboptimal removal of pollutants, particularly sulfur oxides (SO_x), which may result in international regulatory violations and decreased operational efficiency of the main engine. This study aims to analyze the causes of EGCS underperformance, its impact on main engine performance, and formulate appropriate system improvement efforts.

This research uses a mixed-methods approach with a sequential explanatory design, beginning with quantitative data collection through questionnaires distributed to *Cadets* who completed sea projects on MV. HL Vision, followed by qualitative methods through observations and in-depth interviews. Quantitative data were analyzed using Structural Equation Modeling (SEM) with the Partial Least Squares (PLS) technique via SmartPLS software. Qualitative data were analyzed thematically and validated through triangulation.

The results reveal that fuel quality, EGCS wash water quality, and EGCS maintenance significantly influence EGCS performance, which in turn directly affects the performance of the main engine. The main causes of EGCS inefficiency were found to be inadequate maintenance frequency and inconsistent wash water quality. This study recommends rescheduling of component inspection and maintenance, and enhancing monitoring of wash water parameters to ensure compliance with environmental regulations.

Keywords: EGCS, MARPOL Annex VI, main engine, fuel quality, mixed method

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAKSI.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah.....	4
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Hasil Penelitian.....	5
BAB II LANDASAN TEORI DAN PENGAJUAN HIPOTESIS	7
A. Deskripsi Teori.....	7
B. Definisi Operasional.....	27
C. Kerangka Berpikir.....	31
D. Hipotesis.....	32

BAB III PROSEDUR PENELITIAN.....	35
A. Metode Penelitian.....	35
B. Populasi dan Sampel	36
C. Instrumen Penelitian.....	38
D. Teknik Pengolahan Data	41
E. Teknik Analisis Data.....	42
BAB IV HASIL PENELITIAN, PENGUJIAN HIPOTESIS DAN PEMBAHASAN	47
A. Deskripsi Hasil Penelitian	47
B. Uji Persyaratan Analisis.....	52
C. Hasil Pengujian Hipotesis	65
D. Pembahasan Hasil Penelitian	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	97
A. Kesimpulan	97
B. Keterbatasan Penelitian.....	99
C. Saran.....	100
DAFTAR PUSTAKA.....	102
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	125

DAFTAR TABEL

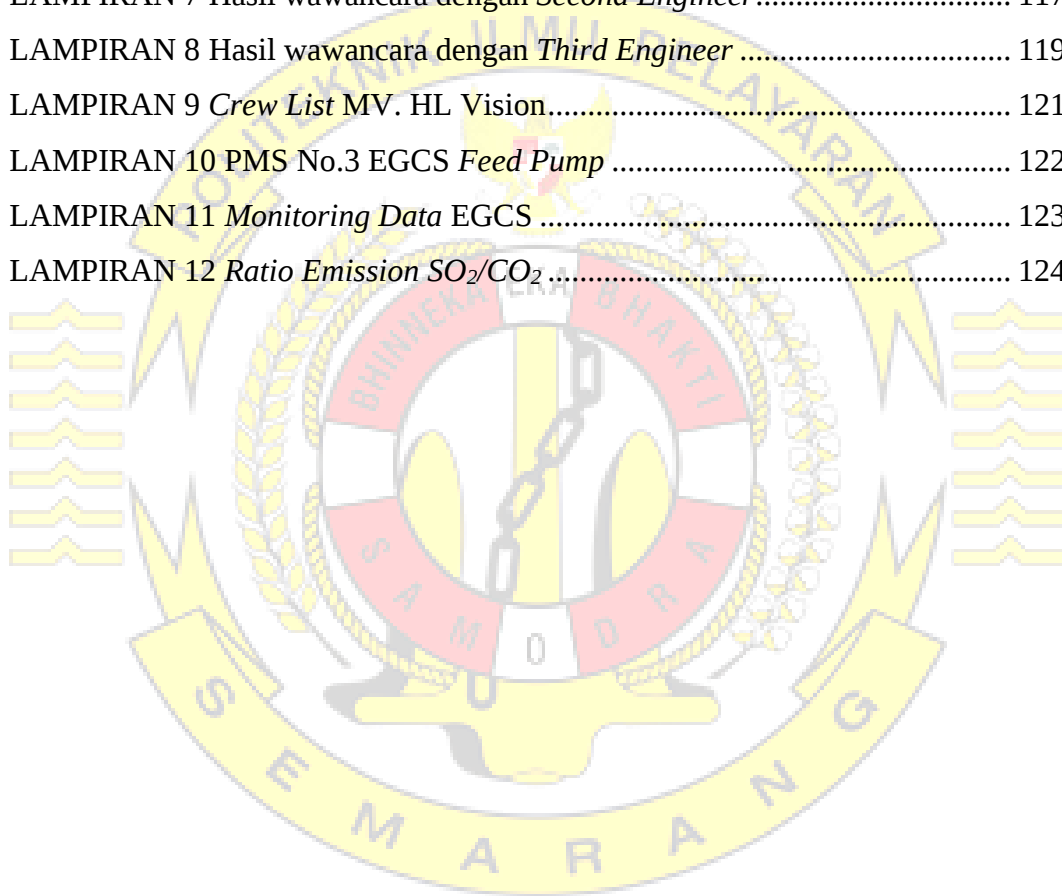
Tabel 2.1 Keterangan <i>analyzer</i>	12
Tabel 3.1 Instrumen Kuesioner Smart PLS	39
Tabel 4.1 Hasil analisis statistik deskriptif	49
Tabel 4.2 Deskripsi variabel Kualitas Bahan Bakar (X_1)	50
Tabel 4.3 Deskripsi variabel Kualitas Air EGCS (X_2).....	51
Tabel 4.4 Deskripsi variabel Pemeliharaan Sistem EGCS (X_3).....	51
Tabel 4.5 Deskripsi variabel kinerja EGCS (Y_1)	52
Tabel 4.6 Deskripsi variabel Kinerja Mesin Induk (Y_2)	52
Tabel 4.7 Data hasil pengujian <i>convergent validity</i> menggunakan <i>outer loading</i>	54
Tabel 4.8 Nilai AVE	55
Tabel 4.9 Data hasil pengujian <i>discriminant validity</i> berdasarkan <i>cross loading</i>	56
Tabel 4.10 Data hasil pengujian <i>composite reliability</i>	57
Tabel 4.11 Ringkasan data hasil pengujian <i>outer model</i>	58
Tabel 4.12 Hasil pengujian <i>Collinear Assessment</i> VIF	60
Tabel 4.13 Data hasil pengujian <i>inner model</i> berdasarkan <i>R-square</i>	61
Tabel 4.14 Data hasil pengujian <i>predictive relevance</i> (Q^2).....	62
Tabel 4.15 Data hasil pengujian <i>Effect Size</i> (F^2)	63
Tabel 4.16 <i>Direct Effect</i>	65
Tabel 4.17 <i>Indirect Effect</i>	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambaran Skema Sisem EGCS	9
Gambar 2.2 <i>Uptake damper</i> terbuka : gas buang mengalir melalui <i>scrubber</i>	11
Gambar 2.3 Bypass damper terbuka : gas buang mengalir langsung ke cerobong	11
Gambar 2.4 <i>Water analysis and gas analysis review</i>	12
Gambar 2.5 Saluran masuk gas buang, <i>bypass / uptake</i> , dan <i>sealing / purge air</i> .	15
Gambar 2.6 <i>Jet section</i>	18
Gambar 2.7 <i>Absorber, water discharge, and gas analysis</i>	19
Gambar 2.8 <i>Feed Pumps, and Inlet water analysis</i>	21
Gambar 2.9 Kerangka Berpikir	32
Gambar 4.1 Hasil pengujian <i>Outer Model</i>	53
Gambar 4.2 Hasil pengujian <i>Inner Model</i>	59
Gambar 4.3 Skema dari <i>open loop system</i> EGCS	70
Gambar 4.4a) <i>Impeller</i> yang keropos 4.4b) <i>Bearing housing</i>	75
Gambar 4.5a) <i>sprayer</i> yang berkarat 4.5b) <i>sprayer</i> berkarat dan keropos 4.5c) <i>sprayer</i> yang keropos saat <i>inspection</i>	76

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 <i>Ship Particulars</i> MV. HL Vision	107
LAMPIRAN 2 <i>Bunker Delivery Note</i> HFO	108
LAMPIRAN 3 <i>Bunker Delivery Note</i> MGO.....	109
LAMPIRAN 4 Kuesioner dalam google form	110
LAMPIRAN 5 Rekapitulasi kuesioner	113
LAMPIRAN 6 Hasil wawancara dengan <i>First Engineer</i>	115
LAMPIRAN 7 Hasil wawancara dengan <i>Second Engineer</i>	117
LAMPIRAN 8 Hasil wawancara dengan <i>Third Engineer</i>	119
LAMPIRAN 9 <i>Crew List</i> MV. HL Vision.....	121
LAMPIRAN 10 PMS No.3 EGCS <i>Feed Pump</i>	122
LAMPIRAN 11 <i>Monitoring Data</i> EGCS	123
LAMPIRAN 12 <i>Ratio Emission</i> SO ₂ /CO ₂	124



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Perdagangan dunia lebih dari 80% dilakukan melalui jalur laut menggunakan transportasi laut. Perdagangan maritim global tumbuh sebesar 2,4 % menjadi 12,3 miliar ton pada tahun 2023, bangkit kembali dari kontraksi tahun 2022. Sektor ini diproyeksikan tumbuh sebesar 2% pada tahun 2024 dan rata-rata 2,4% per tahun hingga 2029 (UNCTAD, 2024). Pertumbuhan ini berdampak terhadap berbagai aspek terutama lingkungan. Karena mayoritas kapal yang sedang beroperasi sekarang masih menggunakan bahan bakar fosil seperti *Heavy Fuel Oil* (HFO). Dalam proses pembakaran bahan bakar HFO pada mesin utama menghasilkan gas buang yang mengandung emisi polutan udara seperti karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), partikulat (PM), dan sulfur oksida (SO_x) ke atmosfer, yang berdampak serius terhadap ekosistem laut (Xu et al., 2024).

International Maritime Organization (IMO) menaruh perhatian penuh terhadap masalah ini. IMO mengeluarkan peraturan yang ketat untuk mengurangi dan mengendalikan emisi dibawah Annex VI dari Konvensi Internasional untuk Pencegahan Pencemaran Laut dari Kapal (MARPOL) dengan menerapkan *Emission Control Area* (ECA). Dalam ECA emisi SO_x dikontrol secara lebih ketat dengan mengatur batas sulfur yang dihasilkan dari operasional kapal. Untuk kapal yang berlayar di luar ECA atau secara global batas sulfur yang diizinkan turun menjadi 0,5% dari 3,5% sejak 1 Januari 2020. Sedangkan kapal yang berlayar di dalam ECA batas sulfur turun menjadi 0,1% dari batas 1,0% dan sudah berlaku sejak 1 Januari 2015 (Yang et al., 2021).

Regulasi tentang pembatasan emisi yang ditetapkan oleh IMO harus dipatuhi bagi semua kapal. Para ahli telah mengusulkan beberapa solusi untuk memenuhi regulasi tersebut. Solusi tersebut antara lain desulfurasi menggunakan *Low Sulfur Fuel Oil* (LSFO), *Liquid Natural Gas* (LNG), dan *Exhaust Gas Cleaning System* (EGCS). Penggunaan *Low Sulfur Fuel Oil* (LSFO) efektif menghilangkan sulfur oksida (SO_x) pada gas buang sebesar 89% karena kandungan sulfur pada bahan bakar yang tidak melebihi 0,5%(m/m). Namun, bahan bakar LSFO memiliki biaya yang lebih mahal daripada bahan bakar HFO. *Liquid Natural Gas* (LNG) merupakan energi bersih dan dapat menjadi solusi yang paling tepat karena dalam pembakarannya hampir dapat mencapai nol emisi SO_x atau dengan kata lain LNG dapat mengurangi SO_x sebesar 100%. Namun, biaya instalasinya yang cukup mahal dan ruang penyimpanan yang cukup besar pengaplikasian dari bahan bakar ini belum dapat digunakan secara luas (Yang et al., 2023).

Exhaust Gas Cleaning System (EGCS) yang lebih dikenal dengan *scrubber* juga merupakan salah satu solusi dalam mengurangi emisi dari gas buang. *Scrubber* bekerja dengan menyeprai air ke gas buang yang dihasilkan dari main engine dan auxiliary engine. *Scrubber* dibedakan menjadi tiga jenis yaitu *close loop*, *open loop*, dan *hibrida loop*. *Scrubber close loop* menggunakan air tawar yang telah ditambahkan chemical untuk medianya. Air tersebut akan diolah dan disirkulasi ulang kedalam sistem. Di sisi lain, pada *scrubber open loop* menggunakan air laut sebagai medianya. Air laut dipompa ke dalam sistem kemudian dibuang kembali ke laut tanpa pengolahan lebih lanjut. *Scrubber hibrida loop* adalah gabungan dari *open loop* dan *close loop* sehingga dapat

memilih sistem yang tepat ketika dibutuhkan. *Scrubber open loop* merupakan solusi yang paling banyak dipilih karena biaya yang lebih murah dan lebih mudah dalam perawatan (Picone et al., 2023).

MV HL Vision merupakan kapal tempat Penulis melakukan Praktek Laut yang menggunakan *scrubber open loop* sebagai upaya dalam mengurangi emisi gas buang. Berdasarkan hasil observasi, permasalahan yang terjadi pada EGCS MV HL Vision adalah menurunnya efektivitas sistem tersebut. Hal tersebut sangat merugikan bagi kapal karena emisi yang keluar dari *funnel* masih mengandung polutan yang berbahaya.

Dari permasalahan tersebut penulis melakukan sebuah penelitian dengan judul "Optimalisasi kinerja *Exhaust Gas Cleaning System* dalam upaya implementasi MARPOL Annex VI di MV. HL Vision : Sebuah Pendekatan Campuran"

B. Identifikasi Masalah

Gas buang merupakan salah satu polusi yang dihasilkan dari operasional kapal terutama mesin induk. Di dalam gas buang terdapat polutan yang berbahaya bagi lingkungan seperti CO₂ dan SO_x. Polutan tersebut sudah diatur berapa batas wajarnya oleh IMO dalam regulasi MARPOL Annex VI. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mematuhi regulasi tersebut adalah menggunakan teknologi EGCS seperti yang digunakan kapal peneliti saat melaksanakan praktek laut.

Sistem EGCS ini terdiri dari berbagai komponen yang saling terkait, sehingga ketika salah satu komponen mengalami kerusakan maka dapat menurunkan efektivitas sistem EGCS dalam menurunkan kadar polutan yang

terdapat dalam gas buang. Berdasarkan hal tersebut, maka dianggap penting bagi peneliti untuk melakukan analisis terhadap permasalahan yang terjadi saat EGCS beroperasi di MV. HL Vision, dengan judul "Optimalisasi kinerja *Exhaust Gas Cleaning System* dalam upaya implementasi MARPOL Annex VI di MV. HL VISION : Sebuah Pendekatan Campuran". Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab terjadinya penurunan efektivitas pada EGCS di MV HL Vision serta merumuskan solusi yang tepat untuk mengatasinya, sehingga sistem tersebut dapat kembali berfungsi secara optimal.

C. Batasan Masalah

aktor-faktor yang dapat menyebabkan penurunan efektivitas sistem EGCS sangat beragam. Oleh karena itu, peneliti menetapkan batasan masalah guna mencegah meluasnya pokok pembahasan, yaitu fokus pada penurunan efektivitas sistem EGCS yang disebabkan oleh tidak berfungsinya komponen-komponen mekanik dalam sistem secara normal.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, peneliti merumuskan beberapa pertanyaan utama yang akan menjadi fokus dalam penelitian ini, antara lain :

1. Apa penyebab ketidakefektifan pada EGCS?
2. Apa dampak ketidakefektifan pada EGCS?
3. Bagaimana upaya mengatasi ketidakefektifan pada EGCS?
4. Bagaimanakah pengaruh variabel bebas yang dimediasi oleh variabel terikat terhadap kinerja Mesin Induk?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, peneliti merumuskan tujuan penelitian sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis penyebab ketidakefektifan pada EGCS
2. Untuk menganalisis dampak ketidakefektifan pada EGCS
3. Untuk menganalisis upaya mengatasi ketidakefektifan pada EGCS
4. Untuk menganalisis pengaruh variabel bebas yang dimediasi oleh variabel terikat terhadap kinerja Mesin Induk

F. Manfaat Hasil Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan manfaat diantaranya sebagai berikut :

1. Manfaat Teoritis
 - a. Sebagai kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan EGCS.
 - b. Memberikan tambahan wawasan dan pengetahuan bagi taruna atau *Cadet* akademi pelayaran di Indonesia, khususnya dalam hal perawatan dan pengoperasian EGCS.
 - c. Menjadi referensi ilmiah dalam pengkajian lebih lanjut mengenai implementasi MARPOL Annex VI di kapal niaga.
 - d. Mendorong penelitian-penelitian lanjutan dalam bidang teknologi ramah lingkungan di sektor maritim.

2. Manfaat Secara Praktis

Secara praktis, penelitian ini dimaksudkan dapat memberi manfaat bagi berbagai pihak yaitu:

a. Bagi Crew

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi tambahan informasi bagi *crew* kapal serta memberikan kontribusi yang bermanfaat dalam upaya mengoptimalkan kinerja EGCS.

b. Bagi Perusahaan

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan yang berguna bagi perusahaan pelayaran dalam pengambilan keputusan terkait pengoperasian dan perawatan EGCS.

c. Bagi Kampus PIP Semarang

Penelitian ini dapat menjadi sumber referensi akademik yang memperkaya khasanah keilmuan di bidang teknologi maritim, khususnya dalam penerapan sistem EGCS sebagai wujud implementasi MARPOL Annex VI.

d. Bagi Taruna

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pembelajaran dan inspirasi bagi para taruna dalam memahami secara lebih mendalam mengenai sistem pengendalian emisi di kapal, serta mendorong peningkatan kesadaran terhadap pentingnya aspek lingkungan dalam dunia pelayaran.

BAB II

LANDASAN TEORI DAN PENGAJUAN HIPOTESIS

A. Deskripsi Teori

Penelitian ini dianalisis secara teoritis dengan mendasarkan pembahasan pada pendekatan deskriptif. Data yang akurat dan relevan sangat dibutuhkan guna mendukung tercapainya tujuan dari skripsi ini. Oleh karena itu, peneliti telah menghimpun berbagai informasi dari jurnal internasional, buku, ebook, serta sumber daya daring yang berkaitan dengan topik penelitian. Dalam kajian ini, peneliti akan menguraikan landasan teori yang mendukung skripsi berjudul "*Optimalisasi Kinerja Exhaust Gas Cleaning System dalam Upaya Implementasi MARPOL Annex VI di MV. HL Vision : Sebuah Pendekatan Campuran.*"

1. Exhaust Gas Cleaning System (EGCS)

a. Definisi

Menurut Confuorto et al. (2012) dalam *Handbook Exhaust Gas Cleaning System Assosiation* (EGCSA), EGCS atau yang lebih dikenal dengan sebutan *scrubber* merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk membersihkan gas buang dengan metode basah atau menggunakan media berupa air. Terdapat beberapa jenis desain yang berbeda pada sistem pembersih gas buang di kapal, yang bertujuan untuk menghilangkan sulfur oksida dari gas buang mesin kapal maupun *boiler*. Sistem basah ini terdiri atas tiga komponen utama :

- 1) Sebuah bejana yang berfungsi untuk mencampurkan aliran gas buang dari mesin atau *boiler* dengan air, baik itu air laut, air tawar,

atau kombinasi keduanya. Karena keterbatasan tempat dan akses, sebuah *scrubber* biasanya dipasang di bagian atas kapal, tepatnya di dalam atau sekitar area cerobong (corong).

- 2) Sebuah instalasi pemrosesan yang berfungsi untuk menghilangkan zat pencemar dari air hasil pencucian (*wash water*) setelah melalui proses *scrubbing*.
- 3) Fasilitas untuk menangani lumpur yang dihasilkan dari instalasi pengolahan air cucian, di mana lumpur tersebut wajib disimpan di atas kapal sebelum dibuang di darat, karena dilarang untuk dibakar di *incinerator* kapal.

b. Prinsip Kerja

EGCS atau yang dapat di sebut juga dengan *scrubber* ini merupakan contoh inovasi yang diterapkan oleh perusahaan pelayaran dalam mematuhi regulasi dari IMO tentang batas emisi sulfur yang terdapat dalam gas buang.

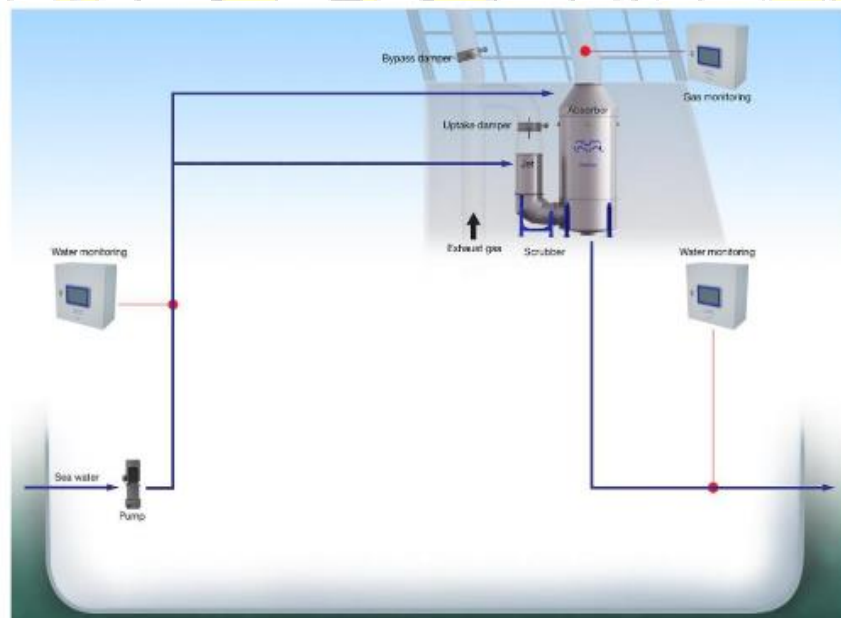
Menurut Picone et al. (2023) sistem ini diklasifikasikan menjadi 3 jenis yang terdiri dari *open loop*, *closed loop*, dan *hybrida loop*. *Open loop system* ialah sistem pembersihan gas buang yang menggunakan media air laut. Air laut tersebut di pompa dengan EGCS *feed pump* kedalam sistem dan kemudian di semprokan pada gas buang. Air yang telah melewati sistem di buang kembali kelaut tanpa adanya *treatment* namun masih dalam monitoring sehingga aman untuk lingkungan.

Closed loop system ialah sistem pembersihan gas buang yang menggunakan media air tawar. Air tawar ini sebelumnya telah diolah

terlebih dahulu dengan *natrium hidroksida* yang kemudian di semprotkan pada gas buang. Pada sistem *closed loop* air tawar disirkulasi ulang kedalam sistem setelah dimurnikan. Kemudian lumpur dan partikel kontaminan yang terdapat dalam air cucian ini di tampung dalam tangki sebelum dapat dibuang ke fasilitas pelabuhan.

Hybrida loop system adalah sistem pembersihan gas buang yang menggabungkan antara *open loop* dan *closed loop* sehingga dapat digunakan sesuai kebutuhan. Kapal dapat menggunakan mode *open loop* ketika melewati perairan terbuka atau di luar wilayah *Emission Control Area* (ECA) dan dapat menggunakan mode *closed loop* ketika melewati perairan yang termasuk kedalam ECA.

c. Proses Kerja



Gambar 2.1 Gambaran Skema Sisem EGCS

Sumber : *operations manual book scrubber*

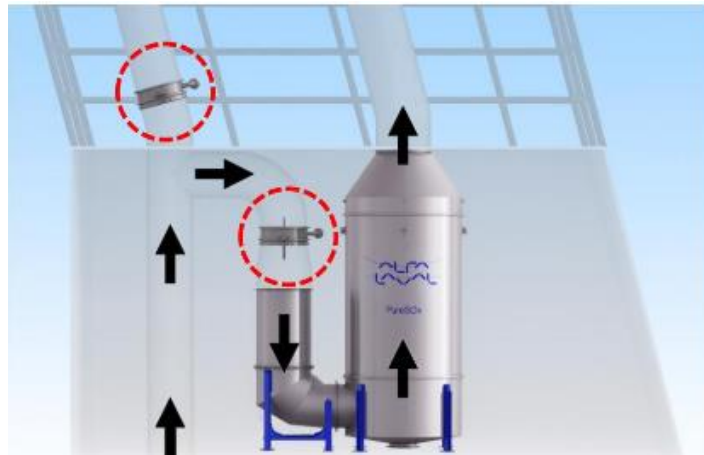
Untuk menghilangkan kandungan polutan dalam gas buang, EGCS mencampurkan gas tersebut secara menyeluruh dengan air. Gambar diatas menyajikan ilustrasi skematis dari komponen utama sistem beserta aliran air dan gas buang. Ketika *scrubber* beroperasi:

- 1) Air laut dimanfaatkan dalam proses untuk membersihkan gas buang.
- 2) *Feed pump* mengalirkan air menuju *sprayer* di dalam *jet* dan *absorber*.
- 3) Volume air disesuaikan guna menjamin penghilangan SO_x dari gas buang secara optimal.
- 4) Air hasil pencucian yang keluar dari *jet* dan *absorber* (effluent) dialirkan ke saluran pembuangan. Di dalam saluran ini, air tersebut tertahan pada elemen penghilang gas selama beberapa waktu, memungkinkan gas dalam air cucian untuk dilepaskan.
- 5) Air cucian dari sistem dibuang ke laut. Kualitas dari air yang dibuang juga tetap dipantau.

d. Aliran gas buang

Setiap unit pembakaran yang terhubung dengan *scrubber* memiliki pengaturan *bypass* dan *uptake* masing-masing. Pengaturan *bypass* dan *uptake* terdiri atas katup *bypass* (*bypass damper*) dan katup *uptake* (*uptake damper*). Salah satu dari katup ini selalu berada dalam kondisi terbuka untuk memastikan perlindungan terhadap unit pembakaran.

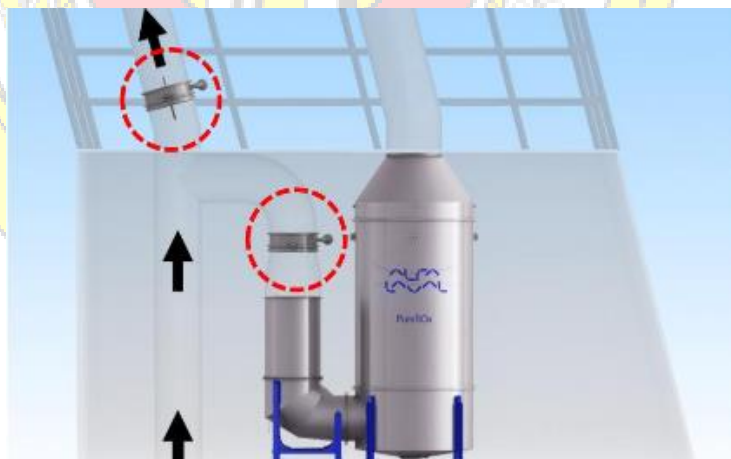
- 1) Ketika katup *uptake* (*uptake damper*) dalam posisi terbuka, gas buang akan mengalir melewati *scrubber* dan menjalani proses pembersihan. Proses ini ditampilkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Uptake damper terbuka : gas buang mengalir melalui scrubber.

Sumber : *operations manual book scrubber*

- 2) Ketika katup *bypass* (*bypass damper*) dibuka, gas buang tidak melalui proses pembersihan, melainkan langsung dialirkan ke luar melalui cerobong tanpa melewati *scrubber*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bypass damper terbuka : gas buang mengalir langsung ke cerobong

Sumber : *operations manual book scrubber*

f. *Mode Manouver*

EGCS merespons sinyal operasi dan sinyal beban dari unit pembakaran yang terhubung. Bergantung pada tipe mesin utama, berikut ini adalah kondisi yang terjadi dalam EGCS saat kapal melakukan *manouver* :

- 1) Mesin 2-tak : Mesin dinyalakan dan dimatikan secara berulang untuk mengubah arah pelayaran. Setiap kali mesin berhenti dan menyala kembali, katup *uptake* dan katup *bypass* akan membuka atau menutup sesuai kebutuhan.
- 2) Mesin 4-tak : Terjadi perubahan beban mesin yang signifikan dan cepat. Akibatnya, katup penyemprot air akan sering diaktifkan dalam waktu singkat.

Fitur *Mode Manouver* berfungsi untuk menyesuaikan sinyal mesin guna mencegah pengoperasian katup yang tidak stabil. Saat *Mode Manouver* diaktifkan (ON):

- 1) Sinyal pengoperasian mesin (M_x022) akan tetap aktif untuk setiap mesin utama yang terhubung ke EGCS. Artinya, katup *uptake* tetap dalam posisi terbuka dan katup *bypass* tetap tertutup selama mode ini aktif.
- 2) Tersedia fitur untuk mengatur beban *scrubber* pada nilai tetap, yang bertujuan mencegah pengaktifan katup penyemprot air secara berulang-ulang.

Mode Manouver hanya berlaku untuk mesin utama. Untuk peralatan pembakaran lainnya seperti mesin bantu dan *boiler*, kontrol *scrubber*

berjalan secara normal. Selama Mode *Manouver* berlangsung, pembersihan otomatis pada *demister* tidak dilakukan, begitu pula pembersihan cerobong asap (jika tersedia). Ketika Mode *Manouver* dimatikan (OFF), semua sinyal mesin akan segera kembali ke kondisi aktualnya.

g. Mode *Bypass*

Saat Mode *Bypass* diaktifkan, katup *bypass* pada setiap unit pembakaran yang terhubung ke *scrubber* akan terbuka, sementara katup *uptake* akan tertutup. Akibatnya, gas buang dari unit pembakaran yang sedang beroperasi akan langsung dialirkan ke cerobong tanpa melewati *scrubber*. Ini memungkinkan EGCS tetap beroperasi tanpa perlu mengolah gas buang melalui unit *scrubber*.

Mode *Bypass* dapat digunakan dalam situasi berikut:

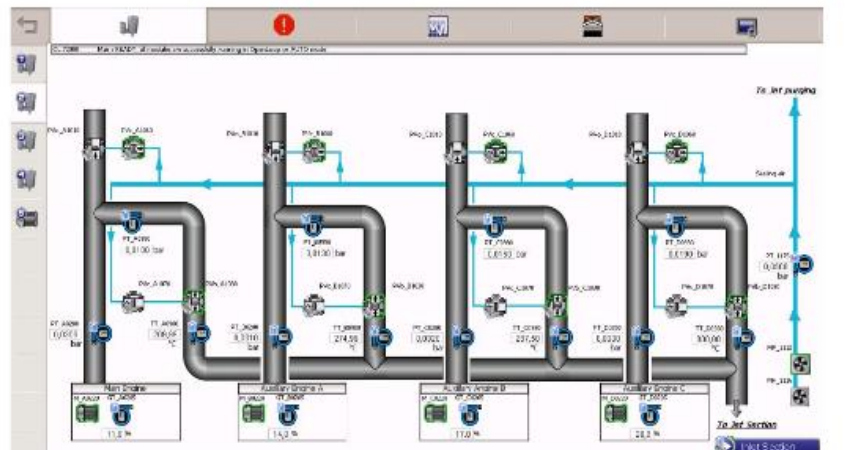
- 1) Untuk melakukan pengujian berkala terhadap fungsi katup *uptake* dan *bypass*. sebagai bagian dari program pemeliharaan preventif.
- 2) Saat melakukan pembersihan manual pada *demister*.
- 3) Jika pengujian tertentu perlu dilakukan ketika *scrubber* dalam keadaan aktif.
- 4) Untuk mengoperasikan komponen yang bergerak, seperti pompa dan katup, selama periode siaga yang berkepanjangan, namun EGCS masih tetap aktif.

Jika kapal beroperasi di wilayah dengan regulasi bahan bakar rendah sulfur dan menggunakan bahan bakar yang tidak sesuai dengan ketentuan tersebut, maka pengaktifan Mode *Bypass* akan menyebabkan kapal tidak lagi memenuhi persyaratan kepatuhan.

h. Komponen EGCS

Berikut ini merupakan komponen-komponen utama dalam EGCS sebagaimana tercantum dalam *operation manual book scrubber* :

1) Saluran masuk gas buang, *bypass / uptake*, dan *sealing / purge air*



Gambar 2.5 Saluran masuk gas buang, *bypass / uptake*, dan *sealing / purge air*

Sumber : *operations manual book scrubber*

a) Saluran masuk gas buang yang dilengkapi dengan katup *uptake* dan katup *bypass*.

Pada bagian *inlet scrubber* berfungsi untuk mengarahkan aliran gas buang dari unit pembakaran, baik menuju *scrubber* maupun langsung ke cerobong (corong) gas buang. Arah aliran gas buang ini dikendalikan oleh dua katup, yaitu katup *bypass* (*bypass damper*) dan katup penyerapan (*uptake damper*). Setiap unit pembakaran mempunyai satu katup *bypass* dan satu katup *uptake*.

- i. Saat *scrubber* beroperasi, katup penyerapan akan terbuka pada setiap unit *scrubber* dari unit pembakaran yang sedang aktif. Sementara itu, katup *bypass* yang sesuai akan ditutup. Gas buang dari unit pembakaran tersebut kemudian mengalir menuju bagian *jet section*, di mana gas tersebut masuk ke dalam *scrubber* untuk diproses dan dibersihkan.
- ii. Ketika unit pembakaran dalam keadaan tidak aktif, katup *bypass* untuk unit tersebut akan berada dalam posisi terbuka.
- iii. Ketika *scrubber* dihentikan, atau dalam mode *bypass*, semua katup *bypass* akan terbuka dan semua katup *uptake* (ambilan) akan tertutup.

Setiap gas buang yang dihasilkan mengalir melewati *scrubber* dan langsung menuju cerobong tanpa melalui proses pembersihan. Guna menjaga unit pembakaran, salah satu katup peredam tetap berada dalam keadaan terbuka. Katup peredam *uptake* dan katup *bypass* dioperasikan sedemikian rupa sehingga katup penyerapan tidak dapat tertutup sebelum katup *bypass* terbuka sepenuhnya, begitu pula sebaliknya.

Setelah terjadi penghentian yang tidak terkendali (seperti akibat penghentian darurat atau gangguan daya), katup *bypass* akan didorong untuk terbuka oleh aktuator pneumatik yang berada dalam kondisi aman. Untuk informasi lebih lanjut mengenai perilaku pengaturan *bypass* dan *uptake* selama penghentian yang tidak terkontrol, lihat detailnya.

Setiap katup dilengkapi dengan roda kendali untuk pengoperasian secara manual, yang dapat dimanfaatkan, contohnya saat melakukan perawatan *scrubber*. Ketika pengendalian manual diaktifkan pada *gearbox* katup, pengendalian normal melalui EGCS tidak akan berfungsi..

b) *Sealing and purge air supply*

EGCS memerlukan pasokan udara untuk :

- i. Menutup katup peredam *uptake* dan *bypass* (*sealing air*).

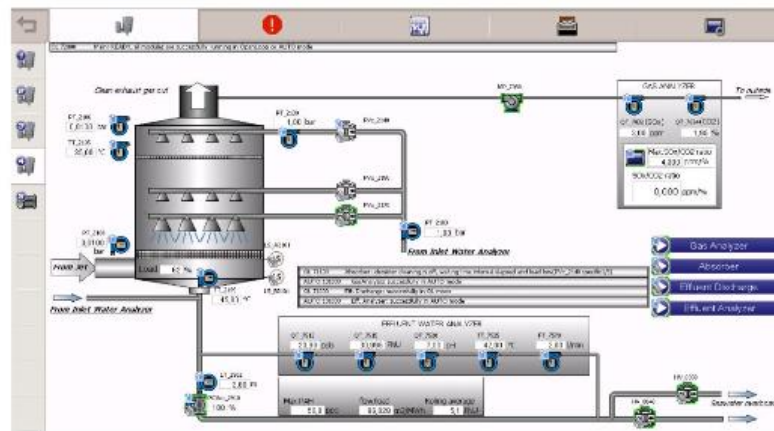
Tekanan berlebih pada katup cakram ganda ini memastikan bahwa gas buang tidak dapat melewati katup tersebut.

- ii. Udara digunakan untuk membersihkan *scrubber* (*purge air*).

Jika diperlukan pekerjaan di dalam *scrubber*, pasokan udara digunakan untuk membersihkan bagian dalam *scrubber* tersebut.

Sebagai standar, EGCS dilengkapi dengan dua kipas untuk memasok udara penyegel atau udara pembersih. Apabila salah satu kipas mengalami kerusakan, kipas lainnya akan secara otomatis mengambil alih tugasnya. Pengaturan prioritas antara kedua kipas ini dapat disesuaikan. Pasokan udara penyegel harus selalu tersedia. Saat katup *bypass* atau katup *uptake* ditutup, udara penyegel diperlukan untuk memastikan proses penyegelan berlangsung dengan baik.

3) Absorber, water discharge, and gas analysis



Gambar 2.7 Absorber, water discharge, and gas analysis

Sumber : operation manual book scrubber

a) Absorber

Di dalam *absorber*, gas buang yang berasal dari *jet* dibersihkan dengan mencampurkannya secara menyeluruh dengan air. Terdapat beberapa lapisan penyemprot air di dalamnya. Kebutuhan jumlah air bergantung pada total beban mesin; semakin tinggi beban mesin, semakin besar jumlah air yang diperlukan. Jumlah air ini diatur dengan mengaktifkan atau menonaktifkan lapisan penyemprot tersebut. Pengaturan hubungan antara beban mesin dan jumlah air dapat dilakukan melalui jendela pop-up pada menu Pengaturan *Absorber*.

b) Demister

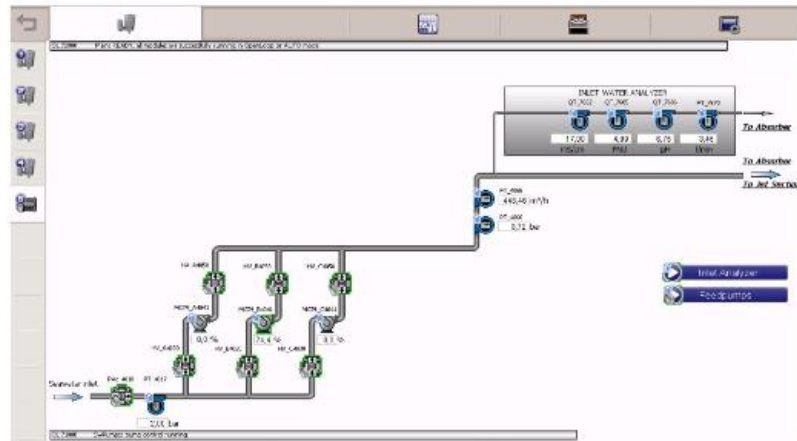
Pada bagian atas *absorber*, terdapat unit *demister* yang berfungsi menangkap tetesan air sebelum gas buang masuk ke cerobong. Untuk menjaga kebersihan *demister*, dipasang

penyemprot air khusus yang digunakan untuk membersihkan bagian tersebut. Proses pembersihan *demister* dilakukan berdasarkan kondisi tertentu dalam sistem yang menentukan waktu dan kebutuhan pembersihan tersebut.

c) *Gas Analysis Unit*

Gas Analysis Unit berfungsi untuk memantau gas buang yang keluar dari *scrubber*. Apabila emisi melebihi batas yang telah ditetapkan, sistem akan memberikan peringatan. Air cucian dari *scrubber* dialirkan menuju saluran pembuangan. Bagian perpipaan yang berada tepat di bawah *absorber* dikenal sebagai elemen *degassing*. Di dalam elemen ini, gas yang terperangkap dalam air cucian dilepaskan sebelum air dibuang ke laut. Untuk mendukung proses tersebut, elemen *degassing* dirancang dengan diameter lebih besar, sehingga laju aliran air melambat dan pelepasan gas menjadi lebih mudah. Selain itu, katup pengatur level menjaga volume air tertentu di dalam elemen tersebut untuk memperlambat pembuangan air, sekaligus memberikan waktu tambahan bagi proses *degassing*. Kualitas air limbah juga dipantau oleh *Waste Analysis Unit*. Jika kadar emisi air melebihi batas yang ditetapkan, EGCS akan mengeluarkan peringatan, dan sistem dapat diarahkan untuk menghentikan pembuangan serta mengaktifkan mode resirkulasi air hingga kualitas air memenuhi standar.

4) Feed Pumps, and Inlet water analysis



Gambar 2.8 *Feed Pumps, and Inlet water analysis*

Sumber : *operation manual book scrubber*

a) *Feed Pumps*

Feed pump mengalirkan air ke bagian *jet* dan penyemprot di *absorber*. Saat kebutuhan air rendah, hanya satu pompa yang dioperasikan. Pompa kedua akan beroperasi saat kebutuhan air meningkat, dan pompa tambahan bisa dinyalakan tergantung kondisi. Kecepatan pompa dikendalikan untuk mempertahankan tekanan air pada penyemprot *absorber* sesuai dengan nilai *setpoint* yang telah ditentukan.

b) *Inlet water analysis*

Unit *Inlet Water Analyzer* mengukur kualitas air yang mengalir ke dalam *jet* dan menyemprot *absorber*.

5) Kontrol Panel

Terdapat dua panel kendali yang digunakan untuk mengoperasikan EGCS.

- a) *The Local Control Room Panel* (LCRP), yang ditandai sebagai 'panel 802' pada diagram kelistrikan. Panel ini terpasang di lantai 2 cerobong (*funnel*), berdekatan dengan *scrubber*.
- b) *The Engine Control Room Panel* (ECRP), yang ditandai sebagai 'panel 803' pada diagram kelistrikan. Panel ini umumnya terletak di ruang kendali mesin.

Untuk mengoperasikan *scrubber* atau memantau statusnya, panel ini dilengkapi dengan:

- a) Tombol dan sakelar, bel, serta lampu indikator.
- b) Layar sentuh.

Pada suatu waktu, hanya satu panel yang dapat berfungsi sebagai panel kontrol aktif, baik LCRP maupun ECRP. Panel yang tidak aktif akan memiliki beberapa tombol yang tidak dapat digunakan. Namun, demi alasan keselamatan, tombol STOP selalu aktif dan dapat dioperasikan dari kedua panel.

2. MARPOL

MARPOL adalah singkatan dari *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*, sebuah konvensi internasional yang diadopsi oleh *International Maritime Organization* (IMO) pada tahun 1973 dan dimodifikasi melalui Protokol 1978, sehingga dikenal sebagai MARPOL 73/78. Konvensi ini bertujuan untuk mencegah pencemaran laut yang berasal dari kegiatan operasional maupun kecelakaan kapal.

Menurut artikel dari Mantoju (2021) dalam *The International Journal of Marine and Coastal Law*, MARPOL telah berhasil menciptakan dan terus

memperbarui rezim hukum yang komprehensif untuk pencegahan pencemaran laut dari kapal, tidak hanya melalui MARPOL 73/78, tetapi juga didukung oleh berbagai kode, pedoman, dan rekomendasi lainnya

MARPOL terdiri dari enam Annex yang masing-masing mengatur jenis pencemaran tertentu:

- a. Annex I: Pencegahan pencemaran oleh minyak.
- b. Annex II: Pengendalian pencemaran oleh zat cair berbahaya dalam jumlah besar.
- c. Annex III: Pencegahan pencemaran oleh zat berbahaya dalam bentuk kemasan.
- d. Annex IV: Pencegahan pencemaran oleh limbah domestik dari kapal.
- e. Annex V: Pencegahan pencemaran oleh sampah dari kapal.
- f. Annex VI: Pencegahan pencemaran udara dari kapal.

Setiap Annex menetapkan persyaratan spesifik terkait jenis polutan yang diatur untuk kapal-kapal. Konvensi ini dibagi menjadi enam Annex untuk memfasilitasi penanggulangan berbagai jenis pencemaran dan prasyarat bagi kapal-kapal. Pada penelitian ini peneliti memfokuskan pada peraturan internasional tentang pencemaran udara yaitu pada MARPOL Annex VI.

MARPOL Annex VI adalah regulasi internasional yang mengatur pencegahan polusi udara dari kapal, yang berfokus pada pengurangan emisi sulfur oksida (SO_x), nitrogen oksida (NO_x), dan polutan lainnya. Implementasi regulasi ini berdampak signifikan pada industri pelayaran, terutama terkait dengan penggunaan bahan bakar kapal dan teknologi

pengendalian emisi. Salah satu perubahan besar yang diterapkan adalah pengurangan kadar sulfur dalam bahan bakar kapal dari 3,50% menjadi 0,50% yang berlaku secara global pada tahun 2020, sementara wilayah *Emission Control Areas* (ECA) menerapkan batas lebih ketat, yaitu 0,10% sejak 2015. Menurut Pineda et al. (2020) Hal ini mendorong pemilik kapal untuk mengadopsi berbagai teknologi seperti *Exhaust Gas Cleaning Systems* (EGCS) dan bahan bakar rendah sulfur untuk memenuhi standar yang ditetapkan oleh MARPOL Annex VI.

Regulasi ini juga dicantumkan dalam PM Perhubungan no.24 Tahun 2022 yang menerangkan bahwa kandungan sulfur pada bahan bakar kapal harus memiliki nilai maksimal 0,5% m/m. Kandungan sulfur ini juga harus dicantumkan dalam dokumen pengisian bahan bakar atau *Bunker Delivery Note* (BDN). Penelitian oleh Chettri (2019) menunjukkan bahwa implementasi regulasi ini tidak hanya mempengaruhi kebijakan teknis dalam pengoperasian kapal, tetapi juga menimbulkan tantangan terkait biaya dan pemilihan teknologi. Beberapa perusahaan pelayaran memilih untuk menghindari wilayah ECA atau beralih menggunakan bahan bakar LNG yang lebih ramah lingkungan untuk mengurangi biaya operasional.

Studi oleh Faber et al. (2020) juga membandingkan dua opsi kepatuhan utama penggunaan EGCS dan bahan bakar rendah sulfur dengan hasil bahwa penggunaan EGCS dapat meningkatkan emisi CO₂ kapal sekitar 1,5-3%, karena kebutuhan daya untuk menjalankan sistem tersebut. Namun, penggunaan EGCS lebih menguntungkan bagi kapal yang beroperasi di luar wilayah ECA, yang mengharuskan mereka untuk menggunakan bahan bakar lebih mahal.

3. *Emission Control Area (ECA)*

Emission Control Area (ECA) merupakan wilayah laut tertentu yang telah ditetapkan oleh *International Maritime Organization (IMO)* dengan regulasi ketat terhadap emisi kapal, khususnya untuk mengurangi polutan udara seperti sulfur oksida (SO_x), nitrogen oksida (NO_x), dan partikel (PM). Tujuan utama dari pembentukan ECA adalah untuk meningkatkan kualitas udara di wilayah-wilayah maritim yang sensitif terhadap pencemaran udara dan mendorong kapal untuk menggunakan bahan bakar ramah lingkungan atau teknologi pengendalian emisi.

Penerapan kebijakan ECA memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perilaku pelayaran kapal niaga, terutama terkait pemilihan rute pelayaran dan konsumsi bahan bakar. Berdasarkan penelitian oleh Weng et al. (2022) yang dipublikasikan dalam *Marine Pollution Bulletin*, sejumlah kapal niaga memilih untuk menghindari wilayah perairan ECA guna menghindari penggunaan bahan bakar rendah sulfur yang berbiaya lebih tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa kebijakan ECA tidak hanya berdampak pada pengendalian emisi, tetapi juga membawa konsekuensi terhadap aspek ekonomi dalam operasional kapal.

Efektivitas implementasi kebijakan ECA terhadap peningkatan kualitas udara telah diteliti secara empiris di Pelabuhan Ningbo, Tiongkok. Studi yang diterbitkan dalam jurnal *Sustainability* oleh (Lu & Zhou, 2024) menggunakan pendekatan *regression discontinuity* untuk mengevaluasi perubahan konsentrasi polutan setelah diberlakukannya kebijakan ECA. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan signifikan pada kadar SO₂, NO₂, dan partikel udara di sekitar wilayah pelabuhan.

Penerapan kebijakan ECA di kawasan Selat Turki turut menjadi fokus dalam penelitian oleh Bilgili (2022), yang dipublikasikan dalam *Journal of ETA Maritime Science*. Penelitian ini menekankan pentingnya penetapan Laut Marmara sebagai wilayah pengendalian emisi, mengingat tingginya lalu lintas kapal di area tersebut. Hasil studi menunjukkan bahwa penetapan kawasan ini sebagai ECA akan memberikan dampak positif yang signifikan, baik terhadap kesehatan masyarakat maupun terhadap pelestarian lingkungan laut.

Studi lain dilakukan oleh Premasarn et al. (2025) di wilayah Teluk Thailand dengan menggunakan pemodelan spasial berbasis data *Automatic Identification System* (AIS) kapal. Artikel yang dipublikasikan dalam *Maritime Technology and Research* ini mengungkapkan bahwa area dengan tingkat kepadatan pelayaran yang tinggi juga menunjukkan konsentrasi emisi yang signifikan. Berdasarkan temuan tersebut, studi ini merekomendasikan bahwa penerapan ECA di Teluk Thailand berpotensi besar dalam mengurangi emisi gas buang dari kapal.

Selain memberikan dampak terhadap lingkungan, kebijakan ECA juga menimbulkan konsekuensi ekonomi dalam operasional kapal. Penelitian oleh Li et al. (2024), yang diterbitkan dalam jurnal *Marine Development*, menunjukkan bahwa pelayaran antar pelabuhan yang berada di dalam dan di luar wilayah ECA menyebabkan perubahan signifikan dalam pengelolaan bahan bakar serta biaya logistik. Temuan ini menggarisbawahi bahwa ECA bukan sekadar kebijakan berbasis lingkungan, tetapi juga strategi yang

berdampak pada efisiensi dan struktur biaya industri pelayaran secara menyeluruh.

B. Definisi Operasional

1. Kualitas bahan bakar

Kualitas bahan bakar merujuk pada tingkat kesesuaian bahan bakar dengan spesifikasi teknis yang ditetapkan, seperti kandungan sulfur, viskositas, dan kebersihan, yang memengaruhi efisiensi pembakaran dan emisi gas buang. Sebagaimana diungkapkan oleh Bahri et al. (2024), tingginya kadar air dalam bahan bakar dapat menjadi indikator rendahnya kualitas bahan bakar, seperti yang ditemukan dalam sampel bahan bakar dari pemasok dengan kandungan air mencapai 239 mg/kg, yang dapat menyebabkan gangguan pada sistem injeksi dan pembakaran mesin.

Bahan bakar kapal adalah sumber energi yang digunakan untuk menggerakkan mesin kapal, baik untuk propulsi utama maupun sistem pendukung lainnya. Dalam konteks perkapalan modern, bahan bakar ini mencakup berbagai jenis, seperti HFO, VLSFO, MDO, dan LNG. Seperti dijelaskan oleh Wei et al. (2023), adopsi bahan bakar alternatif seperti LNG telah meningkat, dengan lebih dari 400 kapal menggunakan LNG dan 275 pelabuhan menyediakan fasilitas bunkering, mencerminkan pergeseran menuju bahan bakar yang lebih bersih dan bermutu tinggi. Namun untuk bahan bakar konvensional HFO dan MDO adalah yang paling umum digunakan dalam industri perkapalan. Tetapi, karena tingginya kandungan sulfur dan dampak negatifnya terhadap lingkungan, penggunaan HFO telah dilarang di wilayah ECA sejak 2020.

Heavy Fuel Oil (HFO) adalah bahan bakar residu yang berasal dari sisa proses penyulingan minyak mentah, dan secara luas digunakan sebagai bahan bakar utama pada kapal-kapal besar karena biayanya yang relatif rendah. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Kass et al. (2020), HFO diklasifikasikan sebagai bahan bakar yang berasal dari fraksi residu kilang minyak, dan sering digunakan sebagai bahan bakar utama kapal dagang besar karena harganya yang ekonomis. Meskipun demikian, kualitas HFO dianggap rendah karena sifat kimianya yang kompleks dan kandungan pengotor yang tinggi. Kandungan sulfur, logam berat, dan senyawa aromatik di dalam HFO berpotensi menghasilkan emisi gas buang yang mencemari udara, seperti sulfur oksida (SO_x), nitrogen oksida (NO_x), dan partikel halus (PM).

2. Kualitas air EGCS

Air EGCS adalah air yang digunakan dalam proses pembersihan gas buang kapal untuk menghilangkan polutan seperti sulfur oksida (SO_x), partikel padat (PM), dan hidrokarbon aromatik polisiklik (PAHs). Air ini dikenal juga sebagai *washwater* dan merupakan hasil dari proses pencucian gas buang menggunakan sistem *scrubber*.

Dalam sistem EGCS, terdapat dua jenis utama berdasarkan cara pengelolaan air cucian :

- a. Sistem *Open-Loop* : Menggunakan air laut sebagai media pencuci gas buang. Setelah proses pembersihan, air cucian langsung dibuang kembali ke laut setelah melalui proses penyaringan dan penyesuaian pH.
- b. Sistem *Closed-Loop* : Menggunakan air tawar yang dicampur dengan bahan kimia seperti *natrium hidroksida*. Air cucian kemudian

dimurnikan dan disirkulasikan kembali dalam sistem, sementara residu disimpan untuk dibuang di fasilitas pelabuhan yang sesuai.

Kualitas air dalam *Exhaust Gas Cleaning System* (EGCS) mencakup parameter seperti pH, total suspended solids (TSS), dan temperatur, yang memengaruhi efektivitas sistem dalam mengurangi emisi gas buang.

3. Pemeliharaan sistem EGCS

Pemeliharaan sistem EGCS secara operasional didefinisikan sebagai serangkaian kegiatan teknis dan preventif yang bertujuan untuk menjaga efektivitas kerja sistem dalam mengurangi emisi sulfur oksida (SO_x), partikulat, dan polutan lainnya sesuai regulasi MARPOL Annex VI. Kualitas pemeliharaan dinilai dari kemampuan sistem dalam mempertahankan kinerja optimalnya melalui monitoring, inspeksi, pencegahan kerusakan, serta pembaruan komponen penting seperti sensor.

Kualitas pemeliharaan sistem EGCS mencakup frekuensi dan kepatuhan terhadap jadwal pemeliharaan, serta efektivitas tindakan perawatan dalam mencegah kerusakan sistem. Zhu et al. (2019) menekankan pentingnya pemeliharaan prediktif untuk meningkatkan keandalan sistem dan mengurangi downtime yang tidak direncanakan.

4. Kinerja EGCS

Kinerja EGCS secara operasional didefinisikan sebagai kemampuan sistem dalam mengurangi kandungan polutan, seperti sulfur oksida (SO_x), partikulat, dan gas rumah kaca (GRK), dari gas buang kapal agar memenuhi standar regulasi MARPOL Annex VI dan IMO 2020. Kinerja ini mencakup

efisiensi reduksi emisi, stabilitas operasi pada berbagai beban mesin, serta kualitas pengelolaan limbah cair hasil pencucian gas buang.

Kinerja dari jenis *scrubber* baik *open loop* maupun *closed loop* juga dibahas dalam ulasan Zannis et al. (2022), yang menyatakan bahwa sistem tersebut secara umum sangat efektif dalam mengurangi emisi sulfur oksida dan material partikulat (PM), hingga ke titik di mana emisi SO_x dapat dieliminasi secara praktis. Efektivitas ini menjadikan EGCS sebagai solusi teknis yang dapat diandalkan untuk memenuhi batas emisi sulfur global yang ditetapkan oleh IMO pada tahun 2020.

5. Kinerja Mesin Induk

Mesin induk kapal adalah komponen utama dalam sistem propulsi kapal yang berfungsi mengubah energi termal dari pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanik untuk memutar baling-baling, sehingga menghasilkan dorongan (thrust) yang menggerakkan kapal maju. Mesin ini umumnya merupakan mesin diesel besar dengan prinsip kerja pembakaran dalam, dan menjadi sumber tenaga utama bagi kapal.

Mesin diesel terdiri atas dua jenis berdasarkan cara kerjanya, yaitu mesin dua langkah (2 tak) dan mesin empat langkah (4 tak). Pada mesin diesel, baik tipe dua langkah maupun empat langkah, terdapat dua sistem pemasukan udara pembakaran ke dalam silinder, yaitu sistem pemasukan hisap yang memanfaatkan kevakuman di ruang bakar akibat gerakan piston, serta sistem pemasukan tekan yang menggunakan perlengkapan tambahan seperti turbocharger.

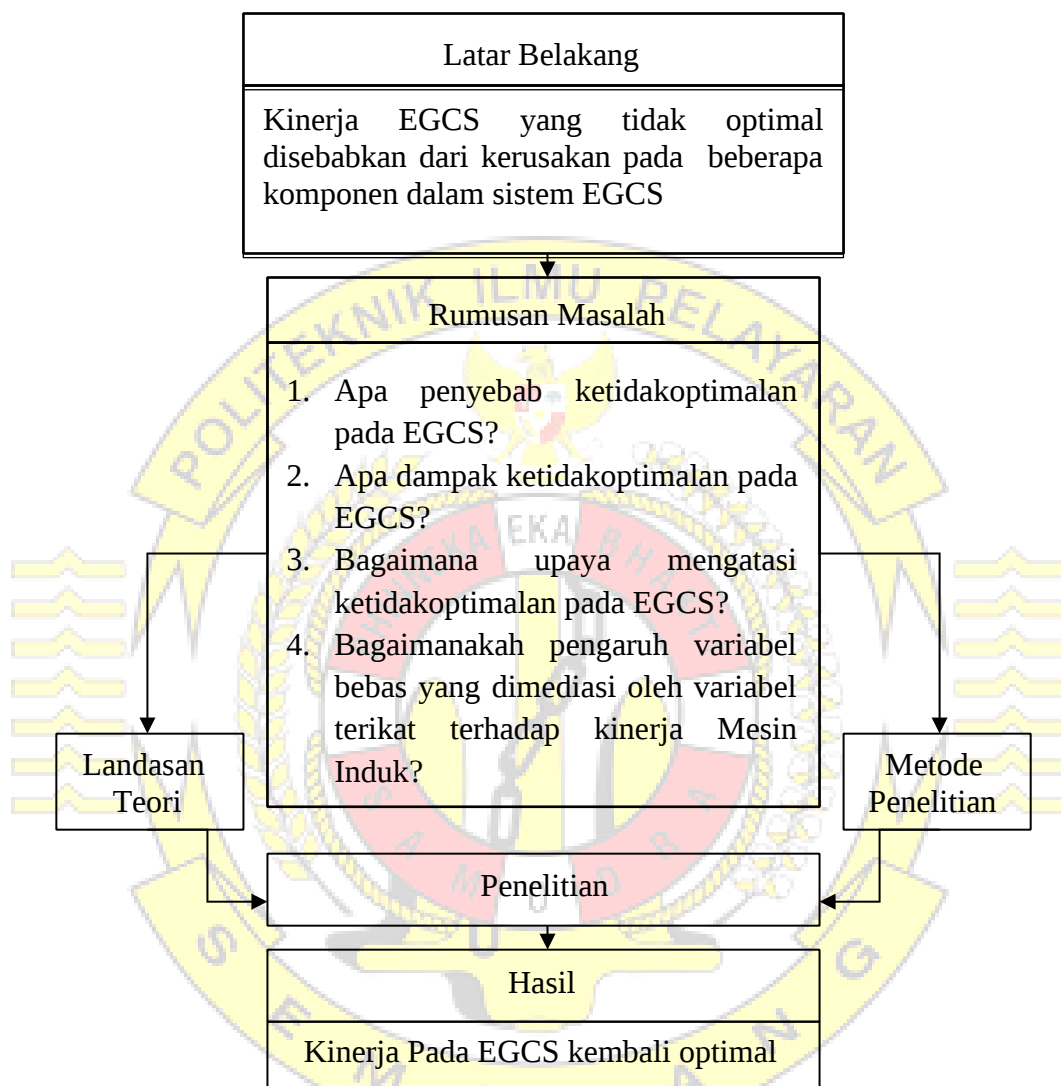
Menurut Abel et al. (2025), kinerja mesin induk cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya beban operasional. Dalam studi komparatif antara mesin MAN B&W 6L32/44 dan CATERPILLAR C18, ditemukan bahwa “semakin tinggi beban mesin, semakin baik efisiensi mekanisnya, sehingga lebih banyak energi yang dapat dikonversi menjadi kerja yang berguna.” Temuan ini mengindikasikan bahwa efisiensi mekanis mesin induk sangat dipengaruhi oleh bagaimana beban operasional dikelola secara optimal.

Kinerja mesin induk mencakup efisiensi konsumsi bahan bakar, output daya mesin, dan frekuensi gangguan operasional. Pemeliharaan sistem bahan bakar yang baik dapat meningkatkan keandalan mesin dan mengurangi risiko kegagalan.

C. Kerangka Berpikir

Untuk melaksanakan penelitian secara sistematis, peneliti merancang suatu kerangka konseptual yang berfungsi sebagai landasan teoretis sekaligus peta pemikiran. Penyusunan kerangka ini mencakup rangkuman teori-teori yang relevan serta konsep-konsep mendasar yang menjadi pedoman selama proses penelitian berlangsung. Dengan memvisualisasikan kerangka tersebut, peneliti dapat memperoleh pemahaman yang menyeluruh mengenai alur logika penelitian, keterkaitan antarvariabel, serta isu utama yang diteliti. Selain memperdalam pemahaman, kerangka berpikir ini juga berperan sebagai pedoman konseptual dalam memetakan variabel-variabel penelitian beserta hubungannya. Dengan demikian, kerangka ini menjadi alat bantu intelektual yang menuntun peneliti dalam menentukan arah dan batas-batas penelitian yang

dilakukan. Berikut adalah kerangka berpikir yang dijadikan acuan dalam penelitian ini:



Gambar 2.9 Kerangka Berpikir

D. Hipotesis

Hipotesis merupakan dugaan awal yang disusun berdasarkan hasil analisis pendahuluan oleh peneliti dan belum dapat dipastikan kebenarannya. Hipotesis bertujuan untuk memberikan arah yang jelas dalam pelaksanaan penelitian dan akan diuji melalui data empiris guna mengetahui tingkat validitasnya. Pengujian

hipotesis harus didasari oleh teori yang relevan dan ditopang oleh kerangka konseptual yang kuat, serta dilakukan dengan metode analisis yang tepat agar hasil yang diperoleh valid dan dapat diandalkan. Hipotesis ini dirancang untuk menjelaskan keterkaitan antar variabel yang diteliti serta memberikan gambaran awal terhadap hasil yang diharapkan. Adapun hipotesis yang dikemukakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. X_1 (Kualitas Bahan Bakar) dan Y_1 (Kinerja EGCS)
 - a. $H_0 \longrightarrow X_1$ tidak berpengaruh terhadap Y_1
(Kualitas Bahan Bakar tidak berpengaruh terhadap Kinerja EGCS)
 - b. $H_1 \longrightarrow X_1$ berpengaruh terhadap Y_1
(Kualitas Bahan Bakar berpengaruh terhadap Kinerja EGCS)
2. X_2 (Kualitas Air EGCS) dan Y_1 (Kinerja EGCS)
 - a. $H_0 \longrightarrow X_2$ tidak berpengaruh terhadap Y_1
(Kualitas Air EGCS tidak berpengaruh terhadap Kinerja EGCS)
 - b. $H_2 \longrightarrow X_2$ berpengaruh terhadap Y_1
(Kualitas Air EGCS berpengaruh terhadap Kinerja EGCS)
3. X_3 (Pemeliharaan Sistem EGCS) dan Y_1 (Kinerja EGCS)
 - a. $H_0 \longrightarrow X_3$ tidak berpengaruh terhadap Y_1
(Pemeliharaan Sistem EGCS tidak berpengaruh terhadap Kinerja EGCS)
 - b. $H_3 \longrightarrow X_3$ berpengaruh terhadap Y_1
(Pemeliharaan Sistem EGCS berpengaruh terhadap Kinerja EGCS)
4. X_1 (Kualitas Bahan Bakar) dan Y_2 (Kinerja Mesin Induk)
 - a. $H_0 \longrightarrow X_1$ tidak berpengaruh terhadap Y_2

(Kualitas Bahan Bakar tidak berpengaruh terhadap Kinerja Mesin Induk)

b. $H_4 \longrightarrow X_1$ berpengaruh terhadap Y_2

(Kualitas Bahan Bakar berpengaruh terhadap Kinerja Mesin Induk)

5. X_2 (Kualitas Air EGCS) dan Y_2 (Kinerja Mesin Induk)

a. $H_0 \longrightarrow X_2$ tidak berpengaruh terhadap Y_2

(Kualitas Air EGCS tidak berpengaruh terhadap Kinerja Mesin Induk)

b. $H_5 \longrightarrow X_2$ berpengaruh terhadap Y_2

(Kualitas Air EGCS berpengaruh terhadap Kinerja Mesin Induk)

6. X_3 (Pemeliharaan Sistem EGCS) dan Y_2 (Kinerja Mesin Induk)

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

(Pemeliharaan Sistem EGCS tidak berpengaruh terhadap Kinerja Mesin Induk)

b. $H_6 \longrightarrow X_3$ berpengaruh terhadap Y_2

(Pemeliharaan Sistem EGCS berpengaruh terhadap Kinerja Mesin Induk)

7. Y_1 (Kinerja EGCS) dan Y_2 (Kinerja Mesin Induk)

a. $H_0 \longrightarrow Y_1$ tidak berpengaruh terhadap Y_2

(Kinerja EGCS tidak berpengaruh terhadap Kinerja Mesin Induk)

b. $H_7 \longrightarrow Y_1$ berpengaruh terhadap Y_2

(Kinerja EGCS berpengaruh terhadap Kinerja Mesin Induk)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai optimalisasi kinerja *Exhaust Gas Cleaning System* (EGCS) dalam upaya implementasi MARPOL Annex VI di MV. HL Vision, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Penyebab utama ketidakoptimalan EGCS di kapal MV HL Vision adalah kerusakan dan keausan komponen mekanik, terutama pada EGCS *feed pump* dan *sprayer*. *Feed pump* mengalami penurunan performa akibat *Impeller* yang keropos, *bearing housing* yang aus, dan *mechanical seal* yang rusak. Sedangkan *sprayer* mengalami korosi karena paparan air laut yang bersifat abrasif dan mengandung zat kimia dari gas buang.
2. Ketidakoptimalan EGCS berdampak langsung pada efisiensi pengurangan emisi sulfur (SO_x). Penurunan performa pompa dan kerusakan *sprayer* menyebabkan air laut tidak dapat disemprotkan dengan optimal ke dalam *scrubber*, sehingga kandungan sulfur dalam gas buang meningkat. Dampak lanjutan termasuk potensi pelanggaran terhadap regulasi MARPOL Annex VI, peningkatan tekanan balik (*back pressure*), dan terganggunya performa mesin induk.
3. Upaya yang dilakukan meliputi perawatan rutin dan *overhaul* komponen penting seperti *Impeller*, *bearing*, *mechanical seal*, dan *sprayer*. Selain itu, penggunaan material tahan korosi, penerapan inspeksi berkala, serta penguatan manajemen pemeliharaan telah terbukti meningkatkan kinerja EGCS secara signifikan. Hal ini dibuktikan melalui pengamatan langsung dan perbaikan yang dilakukan selama praktik laut.

4. Optimalisasi kinerja EGCS melalui pengaruh antara kualitas bahan bakar, kualitas air EGCS, dan pemeliharaan sistem EGCS. Berdasarkan analisis statistik menggunakan Smart PLS, semua variabel bebas memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap kinerja EGCS dan kinerja mesin induk.

- a. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa kualitas bahan bakar berkontribusi kecil terhadap kinerja EGCS, dengan nilai F^2 tercatat sebesar 0,111. Hubungan ini bersifat positif dan signifikan, dibuktikan oleh $p\text{-value } 0,013 < 0,05$ serta $t\text{-statistik } 2,497 > 1,96$.
- b. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa kualitas air EGCS berkontribusi kecil terhadap kinerja EGCS, dengan nilai F^2 tercatat sebesar 0,108. Hubungan ini bersifat positif dan signifikan, dibuktikan oleh $p\text{-value } 0,015 < 0,05$ serta $t\text{-statistik } 2,434 > 1,96$.
- c. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa pemeliharaan sistem EGCS berkontribusi kecil terhadap kinerja EGCS, dengan nilai F^2 tercatat sebesar 0,125. Hubungan ini bersifat positif dan signifikan, dibuktikan oleh $p\text{-value } 0,012 < 0,05$ serta $t\text{-statistik } 2,536 > 1,96$.
- d. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa kualitas bahan bakar memberikan pengaruh sedang terhadap kinerja mesin induk, dengan nilai F^2 tercatat sebesar 0,166. Hubungan ini bersifat positif dan signifikan, dibuktikan oleh $p\text{-value } 0,011 < 0,05$ serta $t\text{-statistik } 2,544 > 1,96$.
- e. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa kualitas air EGCS memberikan pengaruh sedang terhadap kinerja mesin induk, dengan nilai F^2 tercatat sebesar 0,181. Hubungan ini bersifat positif dan

signifikan, dibuktikan oleh p-value $0,005 < 0,05$ serta t-statistik $2,853 > 1,96$.

- f. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa pemeliharaan sistem EGCS memberikan pengaruh sedang terhadap kinerja mesin induk, dengan nilai F^2 tercatat sebesar 0,208. Hubungan ini bersifat positif dan signifikan, dibuktikan oleh p-value $0,003 < 0,05$ serta t-statistik $3,027 > 1,96$.
- g. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa kinerja EGCS memberikan pengaruh kecil terhadap kinerja mesin induk, dengan nilai F^2 tercatat sebesar 0,126. Hubungan ini bersifat positif dan signifikan, dibuktikan oleh p-value $0,029 < 0,05$ serta t-statistik $2,185 > 1,96$.

B. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan sesuai dengan pedoman karya tulis ilmiah. Namun, hasil penelitian ini masih terbatas dan belum mencakup pembahasan secara menyeluruh. Adapun beberapa keterbatasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada faktor-faktor penyebab penurunan performa EGCS serta langkah-langkah yang dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut di MV. HL Vision.
2. Optimalisasi kinerja EGCS dalam penelitian ini didasarkan pada pengumpulan data melalui studi pustaka, observasi, wawancara, kuesioner serta panduan dari *instruction manual book*. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan dalam hal pengambilan data hasil kuesioner, dikarenakan responden yang diambil oleh peneliti merupakan taruna yang selama praktik

laut tidak semuanya memiliki *scrubber* atau EGCS. Peneliti memberikan edukasi terlebih dahulu kepada responden tentang EGCS sebagai solusi dalam mengurangi kadar sulfur gas buang mesin induk. Keterbatasan tersebut dapat memengaruhi pemahaman terhadap proses optimalisasi EGCS di berbagai kondisi dan lokasi lain. Selain itu, pembahasan dalam penelitian ini mencakup solusi serta langkah-langkah pencegahan untuk mengatasi penurunan performa dari EGCS di MV. HL Vision.

C. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah diperoleh, penulis menyampaikan saran-saran sebagai berikut:

1. Diperlukan inspeksi rutin terhadap komponen-komponen kritis pada sistem EGCS, seperti *feed pump*, *Impeller*, *bearing*, dan *sprayer*. Pemantauan berbasis *sensor* dan pencatatan jam operasi (*running hour*) setiap komponen akan membantu mendeteksi gejala kerusakan lebih awal. Selain itu, penggunaan material tahan korosi dan sesuai spesifikasi pabrikan sangat direkomendasikan untuk menghindari kerusakan akibat air laut dan gas buang bersifat asam.
2. Mengingat dampak dari penurunan kinerja EGCS dapat berpengaruh langsung terhadap kinerja mesin induk dan kelayakan lingkungan kapal, maka sistem *backup* dan prosedur darurat harus selalu disiapkan. Misalnya, ketersediaan bahan bakar MDO (*Marine Diesel Oil*) sebagai alternatif saat EGCS mengalami kerusakan. Pengawasan visual dan audit emisi berkala juga perlu dilakukan agar sistem tetap berada dalam ambang batas yang ditetapkan MARPOL Annex VI.

3. Pemeliharaan sistem EGCS harus dilakukan secara terjadwal dan berstandar sesuai dengan manual pabrikan dan panduan dari *International Maritime Organization* (IMO). Pihak manajemen kapal disarankan untuk menerapkan sistem manajemen perawatan terintegrasi (*Computerized Maintenance Management System* (CMMS) untuk menjamin konsistensi dalam kegiatan inspeksi, reparasi, dan pencatatan peralatan.
4. Meskipun kinerja EGCS tidak terbukti sebagai mediator yang signifikan secara statistik, pengaruh langsung dari variabel seperti kualitas bahan bakar, kualitas air, dan pemeliharaan sangat besar terhadap mesin induk. Oleh karena itu, optimalisasi ketiga variabel tersebut tetap harus menjadi prioritas dalam manajemen operasional kapal. Peneliti menyarankan adanya pembaruan reguler terhadap kebijakan operasional dan peningkatan pelatihan teknis bagi awak kapal, khususnya yang bertanggung jawab terhadap mesin dan sistem pengolahan emisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abel, A., Robinson, U. A., & Nitonye, S. (2025). Engine Performance Prediction Under Different Loading Conditions : A Comparative Approach. *Irish International Journal of Engineering and Applied Sciences*. 9(1). 19–28. <https://aspjournals.org/Journals/index.php/ijjeas>
- Amin, N. F., Garancang, S., & Abunawas, K. (2023). Konsep Umum Populasi Dan Sampel Dalam Penelitian. *Jurnal Pilar*, 14(1), 15–31. <https://doi.org/10.21070/2017/978-979-3401-73-7>.
- Amruddin, Priyanda, R., Agustina, T. S., Rusmayani, G. A. L., Aslindar, D.A., Ningsih, K. P., Wulandari, S., Putranto, P., Yuniati, I., Untari, I., Mujiani, S., & Wicaksono, D. (2022). *Metodologi Penelitian Kuantitatif*. Sukoharjo: Pradina Pustaka Grup.
- Arifianti, E. R., Junianto, M. R., & Paksi, A. T. D. (2023). Pengukuran Quality Of Service And Facilities terhadap Customer Satisfaction. *Pengukuran Quality Of Service And Facilities Terhadap Customer Satisfaction*, 7(3), 1026–1036.
- Ayu, R., Abdullah, N., Shahrazad, W., Sulaiman, W., Nasir, M., & Selamat, B. (2024). Structural Equation Modeling based SmartPLS 3 . 0 Software in Measuring Psychological Empowerment and Readiness to Strengthen Structural Transformation. 14(4).
- Aziz, A. ., Anwar, S., & Setiawan, A. . (2023). Determinant Analysis Corporate Governance and Csr To Financial. *Jurnal Akunida*, 9(1), 1–15.
- Bahri, S., Utami, P., & Kurniawan, A. (2024). Analysis of Diesel Generator Fuel Quality on the Sultan Hasanuddin Training Ship (Vol. 1, Issue 173). Atlantis Press International BV. <https://doi.org/10.2991/978-94-6463-628-4>
- Bilgili, L. (2022). An Assessment of the Impacts of the *Emission Control Area* Declaration and Alternative Marine Fuel Utilization on Shipping Emissions in the Turkish Straits. *Journal of Eta Maritime Science*, 10(3), 202–209. <https://doi.org/10.4274/jems.2022.53315>
- Chettri, A. (2019). The Influence of MARPOL Annex VI on Global Ship Emission: A Study Based on the Impact in the ECAs. University of South-Eastern Norway, May 2019.
- Confuorto, N., & Gregory, D. (2012). *EGCSA Handbook 2012: A practical guide to exhaust gas cleaning systems for the maritime industry*. Sustainable Maritime Solutions, Ltd.
- Darwin, M., & Umam, K. (2020). Analisis Indirect Effect pada Structural Equation Modeling. *Nucleus*, 1(2), 50–57. <https://doi.org/10.37010/nuc.v1i2.160>

- Faber, J., Kleijn, A., Delft, J., & Delft, C. E. (2020). 2 190191-Comparison of CO₂ emissions of MARPOL Annex VI compliance options in 2020. www.cedelft.eu
- Husin, N. A., Syafiq, A., Ghazali, M., & Rasli, S. (2021). SmartPLS Approach In Investigating The Determinants of Unemployment Crisis Among. *International Journal of Accounting, Finance and Business (IJAFB)*. 6(38). 172-182.
- Iba, Z., & Wardhana, A. (2023). *Metode Penelitian*. Purbalingga: Eureka Media Aksara.
- Irwan, & Adam, K. (2020). Metode Partial Least Square (Pls) Dan Terapannya. *Teknosains*, 9(1), 53–68.
- Jacqueline, G., Putri, Y., Senjaya, A., Firli, M. Z., & Yadila, A. B. (2024). Application of SmartPLS in Analyzing Critical Success Factors for Implementing Knowledge Management in the Education Sector. 8(1), 49–57.
- Kass, M. D., Armstrong, B. L., Kaul, B. C., Connatser, R. M., Lewis, S., Keiser, J. R., Jun, J., Warrington, G., & Sulejmanovic, D. (2020). Stability, Combustion, and Compatibility of High-Viscosity Heavy Fuel Oil Blends with a Fast Pyrolysis Bio-Oil. *Energy and Fuels*, 34(7), 8403–8413. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c00721>
- Li, L., Yang, J., Zhang, H., & Liu, D. (2024). Operating between ports inside and outside *Emission Control Areas* and its effect on shipping cost. *Marine Development*. <https://doi.org/10.1007/s44312-024-00033-2>
- Londoño-Pineda, A. A., Cano, J. A., & Pulgarin-Quiroz, L. (2020). Sulfur emission reduction in cargo ship manufacturers and shipping companies based on MARPOL Annex VI. *Espacios*, 41(25), 286–291. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n25/a20v41n25p23.pdf>
- Lu, S., & Zhou, F. (2024). Impact of Ship *Emission Control Area* Policies on Port Air Quality—A Case Study of Ningbo Port, China. *Sustainability (Switzerland)*, 16(9). <https://doi.org/10.3390/su16093659>
- Mantoju, C. D. (2021). Analysis of MARPOL implementation based on port state control statistics. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 5(3), 132–145. <https://doi.org/10.1080/25725084.2021.1965281>
- Munifa, Su'un, M., & Zakaria, U. (2024). Karakteristik Perusahaan Dimoderasi Pengungkapan Corporate Social Responsibility Terhadap Nilai Perusahaan (Studi Pada Perusahaan Industri Tambang yang Terdaftar di Bursa Efek Indonesia. 7(1), 680–696.

- Munthe, R. G., Aini, Q., Lutfiani, N., Van Persie, I., & Ramadhan, A. (2024). Transforming Scientific Publication Management in the Era of Disruption: SmartPLS Approach in Innovation and Efficiency Analysis. *APTISI Transactions on Management (ATM)*, 8(2), 123–130. <https://doi.org/10.33050/atm.v8i2.2261>
- Nallaluthan, K., Kamaruddin, S., Thurasamy, R., & Mujahid, A. (2024). Quantitative Data Analysis using PLS-SEM (SmartPLS): Issues and Challenges in Ethical Consideration. 17(2), 41–54.
- Picone, M., Russo, M., Giuseppe, G., Baccichet, M., Marchetto, D., Volpi, A., Lunde, A., & Petrovic, M. (2023). Impacts of exhaust gas cleaning systems (EGCS) discharge waters on planktonic biological indicators. *Marine Pollution Bulletin*, 190, 114846. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114846>
- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 24 Tahun 2022 tentang Sistem Pencegahan Pencemaran oleh Kapal. (2022). Indonesia.
- Preamsamarn, P., Win, T. K., & Watanabe, D. (2025). Assessing the impact of *Emission Control Areas* policy on ship emissions in the Gulf of Thailand using AIS data. *Maritime Technology and Research*, 7(3). <https://doi.org/10.33175/mtr.2025.275311>
- Sahban, M. A., Adinugroho, I., Irawan, Rinovian, R., Khaerudin, R. B., & Legito. (2024). Pelatihan Pengolahan Data Penelitian Menggunakan Aplikasi Smart PLS (Partial Least Square). *Communnity Development Journal*, 5(4), 7379–7383.
- Santoso, E., Arisyahidin, & Askafi, E. (2021). Pengaruh Financial Satisfaction dan Financial Knowledge terhadap Financial Financial Behavior dengan Locus of Control Sebagai variabel Intervening saat terjadi Wabah Covid-19 pada Pegawai PT. Jasa Tirta Energi. *Jurnal Ilmiah Akuntansi Dan Keuangan*, 4(2), 441–457.
- Santoso, N. P. L., Sunarjo, R. A., & Fadli, I. S. (2023). Analyzing the Factors Influencing the Success of Business Incubation Programs: A SmartPLS Approach. *ADI Journal on Recent Innovation (AJRI)*, 5(1), 60–71. <https://doi.org/10.34306/ajri.v5i1.985>
- Sayyida. (2023). Structural Equation Modeling (Sem) Dengan Smartpls Dalam Menyelesaikan Permasalahan Di Bidang Ekonomi. *Journal MISSY (Management and Business Strategy)*, 4(1), 6–13. <https://doi.org/10.24929/missy.v4i1.2610>
- Subhaktiyasa, P. G. (2024). PLS-SEM for Multivariate Analysis : A Practical Guide to Educational Research using SmartPLS. 4(3).
- Sugiyono. (2020). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan Kombinasi (Mixed Methods)*. Bandung: ALFABETA.

- Sugiyono. (2022). *Metode Penelitian Bisnis Pendekatan Kuantitatif Kualitatif, Kombinasi, dan R&D*. Bandung: ALFABETA.
- Suryanto, D. (2022). The Effect of Leadership And Motivation On Employee Performance At Pt. Selago Makmur Plantation Palm Factory Unit Incari Raya Group. *INVEST : Jurnal Inovasi Bisnis Dan Akuntansi*, 3(1), 108–118.
- UNCTAD, Review of Maritime Transport 2024. (2024). In *Review of Maritime Transport 2024*. <https://doi.org/10.18356/7e452c78-en>
- Waruwu, M. (2022). Motivasi Belajar Dan Prestasi Belajar Pada Mata Pelajaran Ppkn Di Indonesia: Kajian Analisis Meta. *Bhineka Tunggal Ika: Kajian Teori Dan Praktik Pendidikan PKn*, 9(2), 99–113. <https://doi.org/10.36706/jbti.v9i2.18333>
- Wei, H., Müller-Casseres, E., Belchior, C. R. P., & Szklo, A. (2023). Evaluating the Readiness of Ships and Ports to Bunker and Use Alternative Fuels: A Case Study from Brazil. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/jmse11101856>
- Weng, J., Han, T., Shi, K., & Li, G. (2022). Impact analysis of ECA policies on ship trajectories and emissions. *Marine Pollution Bulletin*, 179, 113687. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113687>
- Xu, L., Zou, Z., Chen, J., & Fu, S. (2024). Effects of *Emission Control Areas* on sulfur-oxides concentrations Evidence from the coastal ports in China. *Marine Pollution Bulletin*, 200, 116039. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116039>
- Yang, J., Song, L., Deng, C., Sui, H., Dionysiou, D. D., Han, Z., Xu, M., & Pan, X. (2023). A new multi-component marine exhaust cleaning method using combined hydrodynamic cavitation and chlorine dioxide. *Separation and Purification Technology*, 306(PA), 122573. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122573>
- Yang, J., Tang, T., Jiang, Y., Karavalakis, G., Durbin, T. D., Wayne Miller, J., Cocker, D. R., & Johnson, K. C. (2021). Controlling emissions from an ocean-going container vessel with a wet scrubber system. *Fuel*, 304, 121323. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121323>
- Yuswono, I., Rahmadhani, S., Sari, J., Pratiwi, S. R. (2022). Pelatihan Pengolahan Data Menggunakan Smart Pls Sebagai Alternatif Menyajikan Hasil Penelitian. *Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat PAKEM*, 4(2), 84–93.
- Zahra. A. R. A., Jonas, D., Erliyani, I., & Aprila, N. (2023). RP 2-Customer satisfcation in AI powered Services. 2(1), 81–89.

- Zannis, T. C., Katsanis, J. S., Christopoulos, G. P., Yfantis, E. A., Papagiannakis, R. G., Pariotis, E. G., Rakopoulos, D. C., Rakopoulos, C. D., & Vallis, A. G. (2022). Marine Exhaust Gas Treatment Systems for Compliance with the IMO 2020 Global Sulfur Cap and Tier III NO_x Limits: A Review. *Energies*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/en15103638>
- Zhu, T., Ran, Y., Zhou, X., & Wen, Y. (2019). A Survey of Predictive Maintenance: Systems, Purposes and Approaches. *DL*, 1–38. <http://arxiv.org/abs/1912.07383>



LAMPIRAN 1

Ship Particulars MV. HL Vision

M/V HL VISION		SHIP'S PARTICULARS		Ver. : 17th Nov. 2022		
CALL SIGN	D7FZ	Company ID	5807440			
OFFICIAL NO.	JJR-221046	MMSI NO.	441 337 000			
IMO NO.	9490909	INM-C TLX	444 003 123 / 444 003 124			
NATIONALITY	R.O.KOREA	INM-FB	Tel. +870 773 235 321			
PORT OF REGISTRY	JEJU	INM-FB	Fax. +870 783 251 048			
Kind of ship	Bulk carrier	VoIP Tel.	+82 (0)70 7998 8224 (Bridge), 8225(ECR)			
KEEL LAID	2010-12-17	E-MAIL	hvsn@jksat.kr / hvsn@h-lineshipping.com			
LAUNCHED	2011-03-26	P&I	GARD / KOREA P&I			
BUILT/DELIVERY	2011-04-28	CLASS / No.	K.R. / 1172292			
BUILDER	HYUNDAI SAMHO HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.					
OWNERS	H-LINE SHIPPING Co., Ltd					
Add : 8TH FLOOR, 42, JONG-RO 1-GIL, JONGNO-GU, SEOUL, REPUBLIC OF KOREA						
L.O.A.	291.97 m	GROSS TONNAGE	93432	SUEZ GROSS TONNAGE	95460.83	
L.B.P.	283.50 m	NET TONNAGE	60453	SUEZ NET TONNAGE	89976.04	
BREADTH (MLD)	45.00 m	LIGHT SHIP (Official)	26356.7			
DEPTH (MLD)	24.70 m	LIGHT SHIP (Retrofit)	26526.4			
		Draft(Extreme)	Freeboard	Deadweight	Displacement	TPC
TROPICAL SW	18.6005 mtr	6.155 mtr	183,863.3 Mt	210,220 Mt	124.8 Mt	
SUMMER SW	18.2215	6.534	179,135.3	205,492	124.7	
WINTER SW	17.8425	6.913	174,411.3	200,768	124.6	
Hold capacity		Hatch opening		Tank capacity		
No.1	19,198.0 m ³	No.1	L 14.56 x B16.88	Ballast Tank Capacity	53348.7m ³	
No.2	22,780.9 m ³	No.2	L 15.60 x B20.20	Ballast Tank Capacity(Inc. No.6)	76244.2 m ³	
No.3	22,918.6 m ³	No.3	L 15.60 x B20.20	Fresh Water Tank Capacity	445.4 m ³	
No.4	22,939.3 m ³	No.4	L 15.60 x B20.20	Fuel Oil Tank Capacity	4270.2 m ³	
No.5	22,908.8 m ³	No.5	L 15.60 x B20.20	L.S Fuel Oil Tank Capacity	1064.2 m ³	
No.6	22,895.5 m ³	No.6	L 15.60 x B20.20	Diesel Oil Tank Capacity	307.1 m ³	
No.7	22,958.2 m ³	No.7	L 15.60 x B20.20	Gas Oil Tank Capacity	226.7 m ³	
No.8	22,657.3 m ³	No.8	L 15.60 x B20.20			
No.9	20,913.1 m ³	No.9	L 15.60 x B16.88			
TTL	200,169.7 m ³					
Floodable hold No.6, Partial floodable No.2,4,8						
Distance		Bridge to Bow/Stern 250.92 m / 41.05 m				
		#1 H/C Forward ~ #9 H/C Aft 221.5 m				
Height		Top of Antena 58.71 m				
		Top of H/Cover 27.60 m (+0.1m Open)				
No. 6 H/C HELI. MAX LOAD 3.7T						
Anchor		13,350 Kg				
Anchor Chain		27.5 m x 13 shackles(PORT)				
		27.5 m x 14 shackles(STB'D)				
Propeller type		4 blades FPP, right handed				
Propeller Dia		8.2 m				
Propeller Immersion		8.33 m				
Minimum Forward Draft(Ext.)		6.52m				
MAIN ENGINE		HYUNDAI MAN B&W 6S70MC-C7				
**SMCR		16,107 kW(21,899BHP) x 86.6 RPM				
CSR		15,861 kW(21,565BHP) x 86.2 RPM				
DG ENGINE		HYUNDAI HISEN / 5H 21/32				
Engine		800kW x 720 RPM				
Generator		750kW x 3 Sets				
Provision Handling Crane SWL		4 Ton (Starboard)				
Provision Handling Crane SWL		6 Ton (Port)				
F.O Hose Handling Davit SWL		4 Ton				
Last dry dock date		2021.04.27-05.04 (CNZOS)				

**MAR.17. 2021, Engine Power Limitation to be performed in order to obtain a better GHG emission Rating.
For the details, refer to the 'NOx Technical File' including 'Statement of Factor'

LAMPIRAN 2

Bunker Delivery Note HFO



GS Caltex Corporation

GS TOWER, 508, NONHYEON-RO, GANGNAM-GU,
SEOUL 06141, REPUBLIC OF KOREA
TEL: 82-2-2005-1114

Bunker Delivery Receipt
(Bunker Delivery Note)

Name of Vessel : HL VISION

Owner / Operator : 192184

Nominator : 에이치라인해운 주식회사

TML : 여수공장(경유) Port : POHANG

Trans. Pumping 12:20 Pumping 17:20
Mode : 7L Start : 20:10 hrs Finish : 00:11 hrs

IMO No : 9490909

Delivery B.D.R. / B.D.N

Date : 2023.12.27 No. : KF00073340

Delivery Instruction No. : 2012335617

Order Reference No. : 23448607

Name of Barge : CHEONGDAM

Bunkering Agent : 101523 상지해운(주)

Billing Quantities

Code	Product Name	Observed Temp.	Barrels @ Obs. Temp	Barrels @ 60°F	Metric Ton	Other (Liter)
1590	MF-380	15		12,732	2,000	2,024,291
Sample No :	1) 225786 (MARPOL *)	2) 225796 Quality	3) 225877 Quality	4) 225913 Reference		

*Used Only for ANNEX VI of MARPOL

Product :	MF-380			
Density, In Air @ 15°C KG/m³	0.9880			
Viscosity, Kinematic CST at	208.7			
Flash Point °C	84.0			
Water & Sediment VOL%	0.2			
Sulfur WT%	2.8600			

We certify that the Marine Fuels delivered are in conformity with regulation 18.3 of MARPOL Annex VI and that the sulphur content of the Marine Fuels does not exceed:

- 3.5% m/m pursuant to the limit value given by regulation 14.1 of MARPOL AnnexVI;
- 0.1% m/m pursuant to the limit value given by regulation 14.4 of MARPOL AnnexVI ; or
- the purchaser's specified limit value of ____ (% m/m)

We certify that the above measurements are correct,
And that we delivered the above oil as stated.

And that we received the above oil in good condition.

하 수일
Terminal Supt.

SH.
Capt. Delivering Lighter

C/E
Master / Chief Engineer

Note : GS Caltex Corporation's General Terms and Conditions for the sale of marine fuels shall apply and be incorporated into this bunker delivery. No disclaimer by buyer covered by this Bunker Delivery Note/Receipt shall have force or effect regardless of whether the disclaimer is in the form of a stamp, a handwritten statement or any other form for the purpose of waiving the information contained herein. Title to the product remains with the supplier until full payment.
인쇄-C-045(06/2019) (210mm × 297mm)

① ORIGINAL : TO SEOUL H. O. FOR TRANSMITTAL TO CUSTOMER

LAMPIRAN 3

Bunker Delivery Note MGO



GS Caltex Corporation

GS TOWER, 508, NONHYEON-RO, GANGNAM-GU,
SEOUL 06141, REPUBLIC OF KOREA
TEL: 82-2-2005-1114

Bunker Delivery Receipt
(Bunker Delivery Note)

Name of Vessel : HL VISION
Owner / Operator : 192184
Nominator : 에이치라인해운 주식회사
TML : 여수공창(정유) Port : POHANG
Trans. 13:30 Pumping 14:30
Mode : 7L Start : 20:14 hrs Finish : 20:53 hrs
IMO No : 9490909

Delivery B.D.R / B.D.N
Date : 2023. 12. 27 No. : KE00073341
Delivery Instruction No. : 2012335618
Order Reference No. : 23448606
Name of Barge : CHEONGDAM
Bunkering Agent : 101523 삼기해운(주)

Product			Billing Quantities			
Code	Name	Observed Temp.	Barrels @ Obs. Temp	Barrels @ 60°F	Metric Ton	Other (Liter)
1254	0.05% MGO	15		746	100	118,596
Sample No :	1) <u>225810</u> (MARPOL *)	2) <u>225831</u> Quality	3) <u>225852</u> Quality	4) <u>225924</u> Reference		

*Used Only for ANNEX VI of MARPOL

Product :	0.05% MGO			
Density, In Air @ 15°C KG/m³	0.8432			
Viscosity, Kinematic CST at	3.3			
Flash Point °C	67.0			
Water & Sediment VOL%	0.			
Sulfur WT%	0.0400			

We certify that the Marine Fuels delivered are in conformity with regulation 18.3 of MARPOL Annex VI and that the sulphur content of the Marine Fuels does not exceed:

- 3.5% m/m pursuant to the limit value given by regulation 14.1 of MARPOL AnnexVI;
- 0.1% m/m pursuant to the limit value given by regulation 14.4 of MARPOL AnnexVI ; or
- the purchaser's specified limit value of ____ (% m/m)

We certify that the above measurements are correct,
And that we delivered the above oil as stated.

And that we received the above oil in good condition.

하 수일
Terminal Supt.

정하
Capt. Delivering Lighter

정하
Master / Chief Engineer

Note : GS Caltex Corporation's General Terms and Conditions for the sale of marine fuels shall apply and be incorporated into this bunker delivery. No disclaimer by buyer covered by this Bunker Delivery Note/Receipt shall have force or effect regardless of whether the disclaimer is in the form of a stamp, a handwritten statement or any other form.
No party shall alter or waive the information contained herein. Title to the product remains with the supplier until full payment.
인쇄-C-045(06/2019) (210mm x 297mm)

① ORIGINAL : TO SEOUL H. O. FOR TRANSMITTAL TO CUSTOMER

LAMPIRAN 4

Kuesioner dalam google form

The screenshot shows a Google Form titled "Optimalisasi Kinerja Exhaust Gas Cleaning System Dalam Upaya Implementasi MARPOL Annex VI di MV HL VISION : Sebuah Pendekatan Campuran". The form is created by muhammaddriya0@gmail.com. It includes a "Nama" field and a "Kelas" field with radio button options for T7A and T7B. Below this, there is a section titled "Kualitas Bahan Bakar *" with a table for rating various fuel quality factors on a scale of 1 to 5.

	1	2	3	4	5
Kandungan sulfur dalam bahan bakar mempengaruhi efisiensi pembakaran	☐	☐	☐	☐	☐
Viskositas bahan bakar yang tinggi mempengaruhi kinerja mesin	☐	☐	☐	☐	☐
Specific gravity bahan bakar menentukan kualitas pembakaran	☐	☐	☐	☐	☐
Kandungan air dan sedimen dalam bahan bakar mempengaruhi efisiensi mesin	☐	☐	☐	☐	☐

docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSceT3gSSZjGgwYp-8T7ckFijAb5homrtW3WE7Kx3pPRNfxUw/formResponse

Kualitas Air EGCS *

	1	2	3	4	5
Turbidity air scrubber mempengaruhi efektivitas penyarangan gas buang	☐	☐	☐	☐	☐
pH air sebelum dan sesudah scrubber harus dijaga dalam batas optimal	☐	☐	☐	☐	☐
Konsentrasi PAH dalam air buangan harus dikontrol untuk memenuhi regulasi	☐	☐	☐	☐	☐
Suhu air buangan dari scrubber harus tetap di bawah batas yang ditentukan	☐	☐	☐	☐	☐

docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSceT3gSSZjGgwYp-8T7ckFijAb5homrtW3WE7Kx3pPRNfxUw/formResponse

Kualitas Pemeliharaan Sistem EGCS *

	1	2	3	4	5
Inspeksi dan perawatan sistem EGCS dilakukan secara rutin	☐	☐	☐	☐	☐
Suku cadang EGCS selalu tersedia saat dibutuhkan	☐	☐	☐	☐	☐
Prosedur perawatan EGCS selalu dilakukan sesuai manual book	☐	☐	☐	☐	☐
Penggantian suku cadang dilakukan sesuai dengan jadwal perawatan	☐	☐	☐	☐	☐

docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSceT3gSSZjGgwYp-8T7ckFijAb5homrtW3WE7Kx3pPRNfxUw/formResponse

Kinerja EGCS *

	1	2	3	4	5
EGCS mampu mengurangi emisi SOx secara efektif.	☐	☐	☐	☐	☐
Laju aliran air pencuci dalam scrubber selalu sesuai dengan standar.	☐	☐	☐	☐	☐
pH air buangan dari EGCS selalu memenuhi batas IMO.	☐	☐	☐	☐	☐
EGCS tetap stabil beroperasi dalam berbagai kondisi beban mesin.	☐	☐	☐	☐	☐

2:00 PM 7/16/2025

Kinerja Mesin Induk *

	1	2	3	4	5
Konsumsi bahan bakar mesin induk tetap optimal setelah penggunaan EGCS.	☐	☐	☐	☐	☐
Temperatur gas buang sebelum dan sesudah EGCS menunjukkan efisiensi sistem.	☐	☐	☐	☐	☐
Daya CSR mesin tetap stabil dalam operasional kapal.	☐	☐	☐	☐	☐
Temperatur gas buang setiap silinder berada dalam batas	☐	☐	☐	☐	☐

2:01 PM 7/16/2025

EMARAN

LAMPIRAN 5

Rekapitulasi kuesioner

1	Nama	Kelas	NIT	X1.1	X1.2	X1.3	X1.4	X2.1	X2.2	X2.3	X2.4	X3.1	X3.2	X3.3	X3.4	X4.1	X4.2	X4.3	X4.4	X5.1	X5.2	X5.3	X5.4
2	Ksatria Mukti Darmawan	T7A	582111228028	4	4	5	4	3	3	4	3	5	4	4	4	4	3	4	4	4	5	4	4
3	Adha Ramadhani Andianto Putri	T7A	582111228034	5	5	5	4	4	4	5	4	5	4	5	4	4	3	3	4	5	5	4	4
4	Bayu Aji Pamungkas	T7A	582111228035	4	5	5	5	4	4	4	4	5	4	5	3	5	5	5	4	4	4	4	4
5	Dylan Adityo Nugroho	T7A	582111228036	3	4	4	4	3	4	5	4	4	4	5	4	4	3	3	4	4	4	4	5
6	Kevin Eggy Pastrana	T7A	582111228037	4	5	5	3	4	4	5	4	5	3	4	4	4	4	5	5	3	4	3	5
7	Leonardo Acruz	T7A	582111228039	5	4	4	4	4	4	5	4	5	5	5	4	5	4	4	5	5	4	4	4
8	Muhammad Akbar Adi Suseno	T7A	582111228041	5	5	3	3	5	3	4	5	4	5	4	5	5	4	4	5	4	5	5	4
9	Nadhif Fadhiansyah	T7A	582111228043	5	4	4	5	4	5	5	4	5	4	4	5	4	5	5	4	5	4	4	5
10	Nugroho Aji Saputro	T7A	582111228044	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4
11	Prima Yaswidi	T7A	582111228045	4	5	4	5	5	4	5	4	4	5	4	5	5	4	5	4	4	5	4	5
12	Rico Septian Prianto	T7A	582111228046	5	4	5	4	5	4	5	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	5	4	5
13	Riki Satria	T7A	582111228047	3	3	4	4	4	3	4	3	2	3	2	3	5	4	3	4	3	4	4	4
14	Romzi Naufal Mustaghfirin	T7A	582111228048	5	5	5	5	5	5	4	5	3	3	3	5	3	4	5	5	5	5	5	3
15	Satria Adhi Prakusya Wibowo	T7A	582111228049	4	4	5	4	5	3	3	5	4	5	5	5	5	4	5	5	4	4	5	5
16	Surya Putra Ardiansyah	T7A	582111228051	4	5	5	4	5	5	5	4	4	4	4	5	5	4	3	4	4	4	4	4
17	Agung Dwi Nugroho	T7A	582111228055	5	4	4	4	5	5	3	3	3	5	5	4	4	5	3	4	3	3	3	4
18	Badli Iddo Sibarani	T7A	582111228057	4	4	4	4	5	4	4	3	4	4	5	4	4	3	3	4	4	4	3	5
19	Bagas Prasetyo	T7A	582111228058	5	4	5	5	5	5	4	3	4	4	5	4	5	4	3	5	4	4	3	4
20	Edgar Vira Celesta	T7A	582111228060	4	5	4	4	4	4	5	4	4	5	5	5	4	3	3	5	4	5	4	5
21	Fauzan Fadhlur Rohman	T7A	582111228061	5	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	3	5
22	Legan Ali Mustafid	T7A	582111228062	5	4	4	5	4	4	4	4	4	4	5	4	5	3	4	3	3	3	3	3
23	M. Rigel Saddam Al Khali	T7A	582111228063	4	5	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	3	3
24	Mikhael Hutagalung	T7A	582111228064	5	4	4	4	4	4	4	3	5	3	5	4	5	4	3	4	3	4	4	4
25	Muhammad Aulia Fahmi Fata	T7A	582111228067	3	5	4	4	4	4	4	3	4	3	5	3	5	4	4	5	5	4	3	5
26	Muhammad Aurick Sindbad A	T7A	582111228068	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	4	4	4	4	5	4	4	4
27	Muhammad Farkhan Surya	T7A	582111228070	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	5	5	3	5	4	3
28	Muhammad Naufal Ainul Dafia	T7A	582111228071	5	4	5	4	4	5	4	5	5	4	5	4	4	5	4	5	5	4	5	4
29	Muhammad Yafi Anwar Saputra	T7A	582111228074	5	5	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4
30	Andika Frendi Ari Putra	T7B	561911237310	4	4	4	3	3	3	4	3	4	3	4	4	4	4	3	3	4	5	4	4

Form Responses 1

LAMPIRAN 6

Hasil wawancara dengan *First Engineer*

h. Data Narasumber

Nama : Rafael Arfando Simarmata

Jabatan : *First Engineer*

i. Hasil Wawancara

Cadet : "Selamat malam, *Bas*. Mohon izin bertanya, saya sedang kumpulkan data skripsi soal EGCS kapal ini. Bisa minta waktu sebentar?"

First Engineer : "Tentu, silakan *Det*. Lagi semangat nih kamu, ya. Tanya aja, mumpung kita lagi agak longgar."

Cadet : "Terima kasih, *Bas*. Kapal kita kan sekarang menuju Kanada dan bakal masuk ECA. Nah, dari sisi Bapak sebagai *First Engineer*, apa langkah-langkah utama untuk memastikan sistem EGCS ini tetap optimal?"

First Engineer : "Langkah utama itu ada di monitoring yang konsisten dan perawatan preventif. Karena kita pakai *scrubber open loop*, yang artinya pakai air laut untuk menyerap SOx, kita harus pastikan *flow rate* air cukup, tekanan pompa stabil, dan semua sensor terutama SOx dan pH berfungsi normal."

Cadet : "Kalau air lautnya jelek atau suhunya dingin, itu pengaruh, ya *Bas*?"

First Engineer : "Pengaruh besar. Kalau air terlalu dingin, netralisasi gas kurang maksimal. "

Cadet : "Kalau soal bahan bakar, *Bas* menilai pengaruhnya ke performa EGCS bagaimana?"

First Engineer : "HFO yang kualitasnya jelek bikin gas buang lebih berat, otomatis EGCS harus kerja lebih keras. *Nozzle* juga lebih cepat kotor. Makanya kita selalu pastikan *fuel treatment system* optimal juga."

Cadet : "Baik, *Bas*. Terakhir, seberapa penting dokumentasi operasional EGCS?"

First Engineer : "Itu penting banget. Semua log baik parameter teknis maupun alarm harus dicatat. Kita harus siap sewaktu-waktu ada inspeksi dari otoritas pelabuhan, apalagi kalau kita masuk ECA."

Cadet : "Terima kasih banyak waktunya, *Bas*."

First Engineer : "Sama-sama, semangat terus nulis skripsinya!"

First Engineer

Rafael Arfando Simarmata

LAMPIRAN 7

Hasil wawancara dengan *Second Engineer*

A. Data Narasumber

Nama : Ari Eko Pramono

Jabatan : *Second Engineer*

B. Hasil Wawancara

Cadet : "Selamat sore, *Bas*. Boleh saya tanya-tanya sedikit soal sistem EGCS untuk skripsi saya?"

Second Engineer : "Boleh banget, *Det*. Ayo, apa yang kamu mau tahu?"

Cadet : "Dari pengalaman *Bas*, apa saja yang paling sering menyebabkan penurunan performa EGCS?"

Second Engineer : "Biasanya karena *nozzle* kotor, *flow rate* air laut kurang, atau sensor SO_x dan pH nggak akurat. Karena itu kita harus rutin kalibrasi."

Cadet : "Kalau bahan bakar HFOnya jelek bagaimana, *Bas*?"

Second Engineer : "Wah, itu kerjaan makin berat. Emisi SO_x makin tinggi, dan EGCS harus kerja lebih keras. Pernah kita dapat *bunker* yang kualitasnya agak buruk, tetapi kita selalu pastikan *fuel treatment system* optimal juga."

Cadet : "Waktu kapal masuk ECA, prosedur operasional ada perbedaan?"

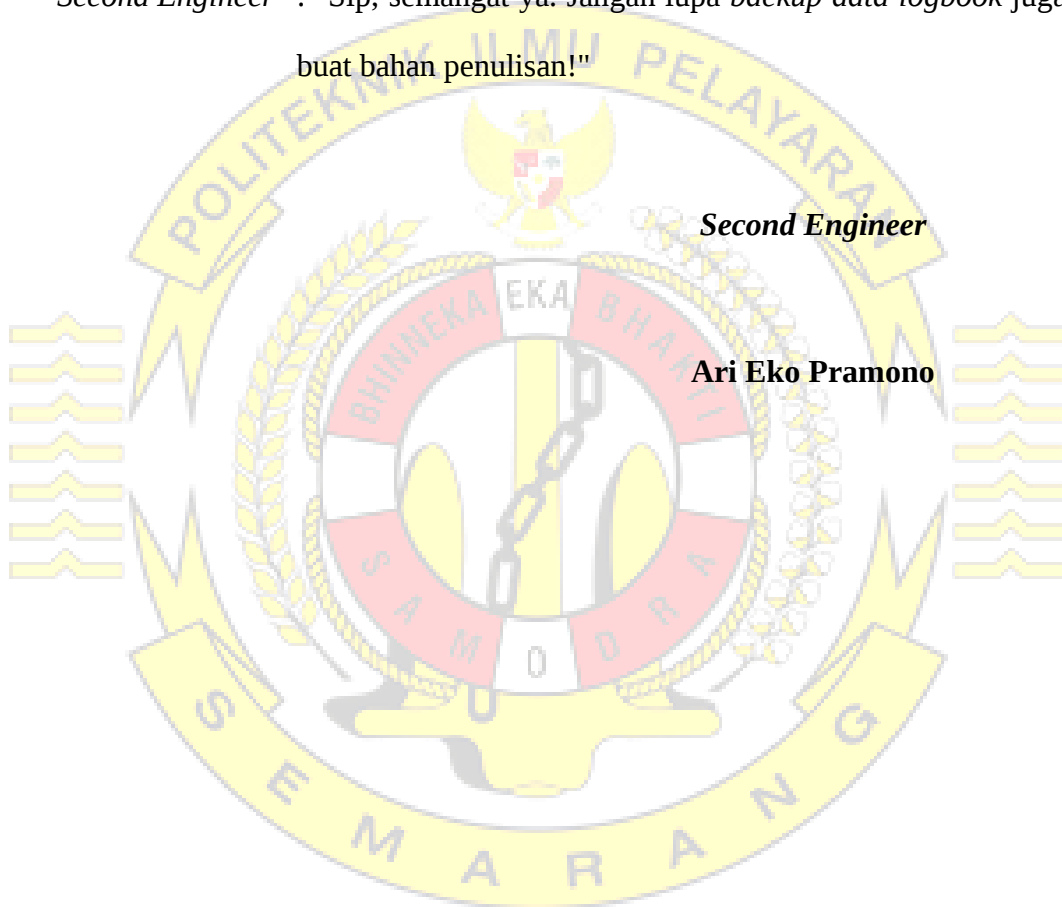
Second Engineer : "Iya, kita lebih waspada. Semua alarm harus *clear*, sensor dicek ulang, dan kita pastikan pH air buangan di bawah 6,5. Kadang kalau area itu larang *open loop*, kita aktifkan bypass dan lapor ke *Master*."

Cadet : "Baik, *Bas*. Perawatan sistem EGCS biasanya berapa kali dilakukan?"

Second Engineer : "Kalau normal, inspeksi mingguan. Tapi kalau banyak alarm, bisa jadi setiap hari."

Cadet : "Terima kasih, *Bas*. Ini sangat membantu untuk bahan skripsi saya."

Second Engineer : "Sip, semangat ya. Jangan lupa *backup data logbook* juga buat bahan penulisan!"



LAMPIRAN 8

Hasil wawancara dengan *Third Engineer*

A. Data Narasumber

Nama : Kurniawan Eko Prasetyo

Jabatan : *Third Engineer*

B. Hasil Wawancara

Cadet : "Selamat malam, *Bas*. Saya ingin tanya-tanya soal pengoperasian EGCS ya, buat bahan skripsi."

Third Engineer : "Oke *Det*, tanya aja. Kamu anak *engine*, harus paham nih soal beginian."

Cadet : "Sebagai *Third Engineer*, tanggung jawab *Bas* di sistem EGCS apa aja?"

Third Engineer : "Saya yang handle operasional harian. Mulai dari *monitor* pH, suhu, *flow rate*, sampai *logging data* emisi. Kalau ada alarm, langsung saya cek dan atur respon awal."

Cadet : "Biasanya masalah teknis yang sering muncul apa, *Bas*?"

Third Engineer : "Biasanya alarm *high SOx* atau pH turun terlalu rendah. Itu bisa dari sensor *error* atau *feed pump* yang tekanannya drop. Kadang juga *nozzle* tersumbat kerak dari gas buang."

Cadet : "Bagaimana cara menanganinya, *Bas*?"

Third Engineer : "Kalau pH *error*, saya kalibrasi sensor. Kalau *feed pump* tekanannya turun, ya kita harus cek terkait komponennya seperti *Impeller*, *Mechanical seal*, dan *Bearing*. Apabila terdapat kerusakan maka segera laporkan ke *Chief Engineer* untuk usulan dilakukan perbaikan."

Cadet : "Kalau bahan bakar pengaruh juga ya, *Bas*?"

Third Engineer : "Iya, kalau sulfur tinggi, lebih berat kerjanya. Kita bisa lihat dari warna gas buang yang lebih pekat. Otomatis kita lebih sering cek *scrubber*."

Cadet : "Terakhir, kalau kapal masuk ECA, apa saja yang harus disiapkan?"

Third Engineer : "Harus pastikan semua parameter stabil, sistem nggak boleh ada alarm. Kalau enggak, bisa kena denda. Kita juga catat semua data harian, siap kalau diminta saat PSC."

Cadet : "Terima kasih, *Bas*. Sangat membantu penulisan skripsi saya."

Third Engineer : "Sama-sama, *Det*. Semangat terus!"

Third Engineer

Kurniawan Eko Prasetyo

LAMPIRAN 9

Crew List MV. HL Vision

CREW LIST

1. Name of ship		2. Port of arrival/departure		3. Date of departure		Page No.	
HL VISION		POHANG, R.O.KOREA		15TH JUN 2024		1/1	
4. Nationality of ship		5. Port arrival from		6. Nature and no of identity document		7. Exp Date of passport	
REPUBLIC OF KOREA		GLADSTONE, AUSTRALIA					
7.No	8. Family name, given names	9. Rank	10. Nationality	12. date and place of birth			13. Where first sign on Date/ Place
1	PARK SANG WUN	MASTER	KOREA	06 Aug 1980 Korea	M87915213	P	29/Jun/2027 15/Mar/2024 KWANGYANG, R.O.KOREA
2	RISMAWAN ADIRISKY	C/O	INDONESIA	10 Oct 1990 Indonesia	E4895589	P	11/Aug/2033 15/Mar/2024 KWANGYANG, R.O.KOREA
3	EDY JALMANTO NUR	2/O	INDONESIA	30 Aug 1996 Korea	MZ7216086	P	11/Jun/2026 03/Jun/2024 KWANGYANG, R.O.KOREA
4	FIRDAUS DENI	3/O	INDONESIA	31 Dec 1990 Indonesia	C7059138	P	15/Oct/2025 30/Apr/2024 POHANG, R.O.KOREA
5	KIM U CHONG	C/E	KOREA	15 Apr 1978 Korea	M84584590	P	20/Nov/2030 03/Jun/2024 KWANGYANG, R.O.KOREA
6	ARFANDO RAFAEL	1/E	INDONESIA	14 Jun 1965 Indonesia	C7387638	P	16/Jul/2025 15/Mar/2024 KWANGYANG, R.O.KOREA
7	EKO PRAMONO ARI	2/E	INDONESIA	16 Feb 1996 Indonesia	C6950971	P	01/Sep/2025 03/Jun/2024 KWANGYANG, R.O.KOREA
8	EKO PRASETYO KURNIAWAN	3/E	INDONESIA	27 Jan 1998 Indonesia	C9338871	P	10/Jun/2027 30/Apr/2024 POHANG, R.O.KOREA
9	MUSTOPA	BSN	INDONESIA	14 Apr 1975 Indonesia	C7790686	P	25/Jun/2026 03/Jun/2024 KWANGYANG, R.O.KOREA
10	QOMARUDDIN	Q/M A	INDONESIA	13 Jan 1986 Indonesia	C7380105	P	16/Nov/2025 03/Jun/2024 KWANGYANG, R.O.KOREA
11	ABIDIN ZAINAL	Q/M B	INDONESIA	29 Apr 1994 Indonesia	C8881317	P	09/Jun/2027 03/Jun/2024 KWANGYANG, R.O.KOREA
12	BUAKSONO ARIF	Q/M C	INDONESIA	02 Mar 1983 Indonesia	C7406371	P	07/Feb/2027 30/Apr/2024 POHANG, R.O.KOREA
13	NURJAMIL	SLR A	INDONESIA	18 Jul 1989 Indonesia	C6583731	P	14/Sep/2026 30/Apr/2024 POHANG, R.O.KOREA
14	VITTORIVO REVEN KUAGOUW	SLR B	INDONESIA	28 Mar 1994 Indonesia	C7118601	P	22/Jul/2025 15/Mar/2024 KWANGYANG, R.O.KOREA
15	IMRAN PAJAJALA	OLR1	INDONESIA	01 Dec 1970 Indonesia	C9279070	P	23/May/2027 15/Mar/2024 KWANGYANG, R.O.KOREA
16	MOHAMMAD JUMASAN	OLR	INDONESIA	29 Apr 1986 Indonesia	E3638932	P	25/May/2033 15/Mar/2024 KWANGYANG, R.O.KOREA
17	HUZAIRI	C/S	INDONESIA	14 Aug 1991 Indonesia	C7790552	P	22/Jun/2025 03/Jun/2024 KWANGYANG, R.O.KOREA
18	TAUFIK	C/K	INDONESIA	02 Jul 1986 Indonesia	C7293876	P	24/Mar/2025 15/Mar/2024 KWANGYANG, R.O.KOREA
19	SIAGIAN ROLAND JOSH FERDINAND	A/O	INDONESIA	06 Mar 2003 Indonesia	E2601761	P	15/Mar/2033 27/Jul/2023 POHANG, R.O.KOREA
20	DRIYA SATRIATAMA MUHAMMAD	A/E	INDONESIA	02 Feb 2003 Indonesia	E2660435	P	26/Mar/2033 27/Jul/2023 POHANG, R.O.KOREA

Total 20 crew members

13. Date & Signature by master, authorized agent or officer.

*Indicate P = Passport, S = Seaman book



LAMPIRAN 10

PMS No.3 EGCS *Feed Pump*

[illegible]

LAMPIRAN 11

Monitoring Data EGCS

MONITORING DATA

Company name : ALFA LAVAL					Ship Name : 5316 Hyundai Vision					System ID 1				
IMO No : 9490909														
DATE	TIME	N/S	LATITUDE	E/W	LONGITUDE	GAS_SO2_ppm	GAS_CO2_vol%	SO2_CO2_Ratio	WW_INLET_pH	WW_OUTLET_pH	WW_INLET_TUR	WW_OUTLET_TUR	WW_INLET_PAH	WW_OUTLET_PAH
06/02/24	00:12	N	35.98	E	129.40	12.00	3.00	4.00	8.1	6.8	4.5	10.2	1.2	15.3
08/02/24	00:30	N	36.80	E	132.50	11.50	2.90	3.97	8.0	6.7	5.0	11.0	1.4	16.2
09/02/24	00:15	N	38.20	E	137.10	12.20	3.10	3.94	8.2	6.9	4.8	10.8	1.3	17.5
10/02/24	00:01	N	40.10	E	142.80	11.80	2.95	4.00	8.1	6.7	5.3	12.0	1.6	18.0
11/02/24	00:57	N	42.50	E	150.00	12.40	3.20	3.88	8.3	6.8	5.1	13.2	1.5	19.4
12/02/24	00:44	N	44.20	E	157.00	12.60	3.25	3.88	8.2	6.6	4.7	11.5	1.4	20.1
13/02/24	00:54	N	45.60	E	165.00	13.00	3.30	3.94	8.0	6.5	5.4	12.5	1.6	21.0
14/02/24	00:32	N	46.70	E	172.00	12.80	3.20	4.00	8.1	6.6	5.0	12.2	1.7	22.5
15/02/24	00:10	N	47.50	E	179.00	13.20	3.30	4.00	8.2	6.7	4.6	11.8	1.5	23.8
16/02/24	00:09	N	47.80	W	177.00	13.50	3.40	3.97	8.3	6.9	5.2	13.5	1.4	24.5
17/02/24	00:19	N	48.00	W	169.00	13.70	3.50	3.91	8.0	6.8	5.3	14.0	1.6	25.2
18/02/24	00:21	N	48.10	W	161.00	14.00	3.60	3.89	7.9	6.6	5.4	14.5	1.7	26.4
19/02/24	00:20	N	48.20	W	153.00	14.20	3.70	3.84	8.1	6.5	5.2	13.8	1.5	27.0
20/02/24	00:49	N	48.30	W	145.00	17.00	3.50	4.86	7.8	6.2	6.1	28.5	1.9	40.8
21/02/24	00:31	N	48.40	W	137.00	16.50	3.60	4.58	7.9	6.3	5.9	27.2	1.8	39.2
22/02/24	00:21	N	48.50	W	129.00	15.80	3.65	4.33	8.0	6.5	5.5	24.8	1.6	33.1
23/02/24	00:12	N	48.60	W	126.00	15.00	3.60	4.17	8.1	6.7	5.3	22.0	1.5	29.5
24/02/24	00:33	N	49.00	W	124.00	13.80	3.45	4.00	8.2	6.8	5.1	19.5	1.3	22.2
25/02/24	00:40	N	49.15	W	123.50	13.00	3.30	3.94	8.1	6.9	4.9	17.8	1.2	16.7
26/02/24	00:51	N	49.28	W	123.12	12.50	3.25	3.85	8.2	6.9	4.7	16.0	1.1	16.5

CS Dipindai dengan CamScanner

LAMPIRAN 12

Ratio Emission SO_2/CO_2

$SO_2(ppm)/CO_2(\% \text{ v/v})$	Fuel oil sulphur content (% m/m)
195.0	4.50
151.7	3.50
65.0	1.50
43.3	1.00
21.7	0.50
4.3	0.10

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



1. Nama : Muhammad Driya Satriatama
2. NIT : 582111228069
3. Tempat/Tanggal lahir : Boyolali, 2 Februari 2003
4. Jenis kelamin : Laki-laki
5. Agama : Islam
6. Alamat : Purwotaman 012/003, Pelem, Simo, Boyolali, Jawa Tengah
7. Nama orang tua
 - a. Ayah : Tri Hanyono
 - b. Ibu : Haryanti
8. Riwayat pendidikan
 - a. SDIP Ummahat Simo : 2009 - 2015
 - b. SMP N 1 Boyolali : 2015 - 2018
 - c. SMA N 1 Simo : 2018 - 2021
 - d. PIP Semarang : 2021 - sekarang
9. Pengalaman praktek laut : PT. Jasindo Duta Segara (H-Line)
 - a. Nama kapal : HL Vision