

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**PENGARUH SISTEM *BLOW PURIFIER* TERHADAP
EFISIENSI KERJA DAN VOLUME SLUDGE TANK DI
KAPAL SLM MARSHA**



DEWI AMARA PARARDHYA
NIT 22363062062

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

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

LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

**PENGARUH SISTEM *BLOW PURIFIER* TERHADAP
EFISIENSI KERJA DAN VOLUME SLUDGE TANK DI
KAPAL SLM MARSHA**



DEWI AMARA PARARDHYA
NIT 22363062062

disusun sebagai salah satu syarat
menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan

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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dewi Amara Parardhya

Nomor Induk Taruna : 22 36 306 2 062

Program Studi : Diploma IV Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal

Menyatakan bahwa kit yang saya tulis judul:

**“ PENGARUH SISTEM *BLOW PURIFIER* TERHADAP EFISIENSI DAN
VOLUME SLUDGE TANK DI KAPAL SLM MARSHA “**

Merupakan karya asli seluruh ide yang ada dalam kit tersebut, kecuali tema yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri. Jika pernyataan diatas terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik pelayaran surabaya.

Surabaya 05 April 2026



Dewi Amara Parardhya
NIT 22 36 306 2 062

**PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR**

Judul : PENGARUH SISTEM BLOW PURIFIER TERHADAP
EFISIENSI KERJA DAN VOLUME SLUDGE TANK DI
KAPAL SLM MARSHA

Program Studi : SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA
PERMESINAN KAPAL

Nama : DEWI AMARA PARARDHYA

NIT : 22363062062

Jenis Tugas Akhir : ~~Prototype / Proyek-~~ Karya Ilmiah Terapan*
Keterangan: *(coret yang tidak perlu)

Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk dilaksanakan
Uji Kelayakan Proposal

Surabaya, 12 April 2024

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


(ERENKI IMANTO, S.Si.T., M.Pd.)

NIP. 198210062010121001


(MAULIDIAH RAHMAWATI, S.Si.M.Sc)

NIP. 19702282006042001

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal


(MONIKA RETNO GUNARTI, M.Pd., M.Mar.E.)

NIP. 197605282009122002

**PERSETUJUAN SEMINAR
HASIL TUGAS AKHIR**

Judul : **PENGARUH BLOW PURIFIER TERHADAP
EFISIENSI KERJA DAN VOLUME SLUDGE TANK DI
KAPAL SLM MARSHA**

Program Studi : **TEKNOLOGI REKAYASA PERMESINAN KAPAL**

Nama : **DEWI AMARA PARARDHYA**

NIT : **22363062062**

Jenis Tugas Akhir : **Prototype / Karya Ilmiah Terapan / ~~Karya Tulis Ilmiah*~~**

Keterangan: *(coret yang tidak perlu)

Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk
dilaksanakan Seminar Hasil Tugas Akhir

Surabaya, 11 Maret 2026

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


(FRENKI IMANTO, S.Si.T, M.Pd.)
NIP. 19821006201012 1 001


(MAULIDIAH RAHMAWATI, S.Si, M.Sc.)
NIP. 19770228200604 2 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal


(Dr. ANTONIUS EDY KRISTİYONO, M.Pd., M.Mar.E.)
NIP. 19690531200312 1 001

**PENGESAHAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

**PENGARUH SISTEM BLOW PURIFIER TERHADAP EFISIENSI
KERJA DAN VOLUME SLUDGE TANK DI KAPAL SLM MARSHA**



Disusun oleh:

**DEWI AMARA PARARDHYA
NIT. 22 36 306 2 062**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Hasil Tugas Akhir
Politeknik Pelayaran Surabaya

Surabaya, 24 Juni 2024

Mengesahkan,

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Dosen Penguji III

(MONIKA RETNO GUNARTI, S.Si.T., M.Pd.)

NIP. 197605282009122002

(ERENKI IMANTO, S.Si.T., M.Pd.)

NIP. 198210062010121001

(MAULIDIAH RAHMAWATI, S.Si., M.Sc.)

NIP. 19702282006042001

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Permesinan
Kapal

(MONIKA RETNO GUNARTI, M.Pd., M.Mar.E.)

NIP. 197605282009122002

PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN

PENGARUH SISTEM *BLOW PURIFIER* TERHADAP EFISIENSI KERJA
DAN VOLUME SLUDGE TANK DI KAPAL SLM MARSHA

Disusun oleh:

DEWI AMARA PARARDHYA
NIT. 22 36 306 2 062

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Hasil Tugas Akhir
Politeknik Pelayaran Surabaya

Surabaya,⁰⁴.....April 2026

Mengesahkan,


Dosen Penguji I



(MONIKA RETNO GUNARTI, S.Si.T., M.Pd.)

NIP. 197605282009122002

Dosen Penguji II



(FRENKI IMANTO, S.Si.T., M.Pd.)

NIP. 198210062010121001

Dosen Penguji III

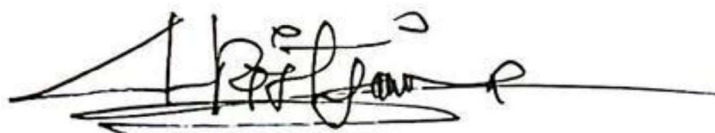


(INTAN SIANTURI, S.E., M.M.Tr.)

NIP. 199402052019022003

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Permesinan
Kapal



(ANTONIUS EDY KRISTİYONO, M.Pd.)

NIP. 196905312003121001

ABSTRAK

Dewi Amara Parardhya. Pengaruh Sistem *Blow Purifier* terhadap Efisiensi Kerja dan Volume Sludge Tank pada Kapal SLM Marsha. Dibimbing oleh Bapak Frenki Imanto, S.Si.T., M.Pd. dan Ibu Maulidiah Rahmawati, S.Si, M.Se.

Sistem *blow purifier* merupakan salah satu komponen penting dalam menjaga efisiensi kerja purifier minyak pelumas serta pengelolaan sludge di kapal. Permasalahan yang sering terjadi adalah ketidakkonsistenan proses pembuangan sludge pada sistem blow manual yang dapat menurunkan efisiensi kerja purifier dan meningkatkan volume sludge tank. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain deskriptif komparatif untuk membandingkan efektivitas sistem *blow* manual dan otomatis pada purifier minyak pelumas di Kapal SLM Marsha. Data penelitian diperoleh dari Engine Log Book dan Oil Record Book (ORB) selama periode September 2024 hingga Juli 2025. Analisis data dilakukan menggunakan statistik deskriptif, uji normalitas Shapiro-Wilk, serta uji Mann-Whitney U untuk mengetahui perbedaan signifikan antara kedua sistem blow. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *blow* otomatis memiliki konsistensi interval blow yang lebih stabil dibandingkan sistem manual, sehingga meningkatkan efisiensi kerja *purifier* dan menurunkan volume sludge yang terakumulasi di sludge tank. Selain itu, penggunaan sistem blow otomatis mampu mengurangi risiko overflow sludge tank dan meningkatkan kepatuhan terhadap regulasi MARPOL Annex I Regulation 12 terkait kapasitas tangki sludge. Dengan demikian, sistem blow otomatis terbukti lebih efektif dalam meningkatkan efisiensi operasional purifier dan pengelolaan sludge di kapal.

Kata kunci : Sistem *blow purifier*, efisiensi kerja, volume sludge tank, MARPOL Annex I.

ABSTRACT

Dewi Amara Parardhya .*The Effect of the Blow Purifier System on Operational Efficiency and Sludge Tank Volume on the SLM Marsha Vessel. Supervised by Mr. Frenki Imanto,S.Si.T.,M.Pd. and Mrs. Maulidiah Rahmawati, S.Si,M.Se.*

The blow purifier system is a key component in maintaining the operational efficiency of the lubricating oil purifier and managing sludge on board a vessel. A common issue is the inconsistency of the sludge discharge process in manual blow systems, which can reduce the purifier's operational efficiency and increase the volume of the sludge tank. Therefore, this study employs a quantitative approach with a descriptive-comparative design to compare the effectiveness of manual and automatic blow systems on the lubricating oil purifier aboard the SLM Marsha. Research data were obtained from the Engine Log Book and Oil Record Book (ORB) during the period from September 2024 to July 2025. Data analysis was conducted using descriptive statistics, the Shapiro-Wilk normality test, and the Mann-Whitney U test to determine significant differences between the two blow systems. The results indicate that the automatic blow system maintains a more stable blow interval consistency compared to the manual system, thereby improving the purifier's operational efficiency and reducing the volume of sludge accumulated in the sludge tank. Furthermore, the use of the automatic blow system reduces the risk of sludge tank overflow and improves compliance with MARPOL Annex I Regulation 12 regarding sludge tank capacity. Thus, the automatic blow system has proven to be more effective in improving the operational efficiency of the purifier and sludge management on board the vessel.

Keywords: *Purifier blow system, operational efficiency, sludge tank volume, MARPOL Annex I.*

KATA PENGANTAR

Dengan rasa syukur dan terima kasih kepada tuhan yang Maha Esa atas semua anugerah, berkat, dan rahmat-nya yang telah diberikan, penulis berhasil menyelesaikan karya ilmiah terapan ini. Karya ilmiah ini disusun untuk memenuhi persyaratan program pendidikan sarjana terapan pelayaran di Politeknik Pelayaran Surabaya, dengan judul yang diambil adalah:

“PENGARUH SISTEM BLOW PURIFIER TERHADAP EFISIENSI KERJA DAN VOLUME SLUDGE TABK DI KAPAL SLM MARSHA”

Penulis menyadari bahwa karya ilmiah terapan yang telah dibuatnya masih memiliki kekurangan baik dalam penyampaian materi maupun teknik penulisannya. Hal ini disebabkan karena pengalaman yang dimiliki oleh penulis masih kurang. Oleh karena itu, penulis berharap agar para pembaca memberikan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk membantu memperbaiki dan menyempurnakan karya ilmiah terapan ini.

Pada kesempatan kali ini, penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam proposal karya ilmiah terapan ini dan juga rasa bangga setinggi-tingginya kepada:

1. Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya bapak Moejiono, M.T, M.Mar. E yang telah memberikan pembinaan kepada taruna-taruni politeknik pelayaran surabaya.
2. Ketua Program Studi Trpk Ibu Monika Retno Gunarti, S.Si.T., M.Pd. yang telah memberikan bimbingan kepada taruna-taruni Politeknik Pelayaran Surabaya, terutama program studi TRPK
3. Pembimbing I, Bapak Frenki Imanto, S.Sit, M.Pd. yang telah memberikan masukan dan arahan tentang isi dari materi proposal karya ilmiah terapan kepada penulis.
4. Pembimbing Ii, Ibu Maulidiah Rahmawati, S.Si, M.Sc. yang telah memberikan masukan dan arahan tentang isi dari materi proposal karya ilmiah terapan kepada penulis.
5. Seluruh civitas akademika Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah mengarahkan penulis.
6. Kedua orang tua saya bapak I Komang Pande S. Dan Ibu Made Perdayani yang telah mendukung penuh berupa moril maupun material serta do'a dalam penyelesaian proposal karya ilmiah terapan ini dengan penuh kasih sayang.
7. Teman-teman saya yang telah memberikan dukungan serta do'a dan memberikan semangat untuk menyelesaikan proposal karya ilmiah terapan ini
8. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan namanya satu persatu, yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan karya ilmiah terapan ini.

Demikian semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Peneliti menyadari bahwa banyaknya kekurangan dalam penelitian karya ini, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat peneliti harapkan. Akhir kata penulis berharap semoga karya ilmiah terapan ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan bagi penulis khususnya. Semoga tuhan yang maha esa senantiasa memberikan petunjuk dan lindungan dalam melakukan penelitian selanjutnya.

Surabaya, 16 April 2026

Dewi Amara Parardhya
NIT 22 36 306 2 062

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL TUGAS AKHIR	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL TUGAS AKHIR	iv
LEMBAR PENGESAHAN SEMINAR PROPOSAL.....	v
PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar belakang.....	1
B. Rumusan masalah	6
C. Batasan masalah.....	7
D. Tujuan Penelitian	7
E. Manfaat Penulisan.....	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA	11
A. <i>Review</i> Penelitian Sebelumnya	11
B. Landasan Teori.....	13
1. Sistem Pelumasan Mesin Kapal.....	13

2. Purifier lub oil	14
3. Sistem Blow Purifier	18
4. Efisiensi Kerja.....	20
5. Sludge lub oil dan volumesludge tank	21
6. Regulasi Marpol Annex 1	22
C. Kerangka Penelitian	23
D. Hipotesis	24
BAB III METODE PENELITIAN	26
A. Jenis Penelitian.....	26
B. Tempat dan Waktu Penelitian.....	27
C. Sumber Data dan Teknik Pengumpulan Data	28
D. Teknik Analisis Data	33
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	37
A. Gambaran Umum Objek Penelitian	37
B. Deskripsi Data Penelitian.....	41
C. Analisis Data	46
D. Pembahasan.....	68
BAB V PENUTUP	74
A. Kesimpulan	74
B. Saran	75
DAFTAR PUSTAKA.....	78
LAMPIRAN.....	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 bowl purifier lub oil	17
Gambar 2. 2 Kerangka Penelitian	23
Gambar 4. 1 SLM MARSHA	37
Gambar 4. 3 L.O PURIFIER.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Review Penelitian Sebelumnya.....	11
Tabel 4. 1 Parameter Panel Siemens Smart Line Kapal SLM Marsha.....	40
Tabel 4. 2 Data Engine Log Book Periode Sistem Blow Otomatis	41
Tabel 4. 3 Data Engine Log Book Periode Sistem Blow Manual.....	42
Tabel 4. 4 Data Volume Sludge Tank dari ORB Code C	43
Tabel 4. 5 Data Operasional OWS dan Bilge Water dari ORB Code D.....	44
Tabel 4. 6 Ringkasan Hasil Wawancara Tidak Terstruktur dengan Masinis 3 Kapal SLM Marsha	45
Tabel 4. 7 Hasil Uji Normalitas Shapiro-Wilk	46
Tabel 4. 8 Statistik Deskriptif Volume Sludge Tank dan Laju Akumulasi	49
Tabel 4. 9 Perbandingan Efisiensi Kerja Purifier.....	53
Tabel 4. 10 Hasil Uji Mann-Whitney U — Ranks	58
Tabel 4. 11 Hasil Uji Mann-Whitney U — Test Statistics	58
Tabel 4. 12 Analisis Kepatuhan MARPOL Annex I Regulation 12.....	61
Tabel 4. 13 Rekap Status Kepatuhan MARPOL Annex I Kapal SLM Marsha	62
Tabel 4. 14 Ringkasan Pembuktian Hipotesis Berdasarkan Hasil SPSS dan Wawancara	72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Ships Particulars SLM MARSHA	81
Lampiran 2 Oil Record Book (ORB) SLM MARSHA.....	82
Lampiran 3 Panel Kontrol Purifier SIEMENS SMART LINE	84
Lampiran 4 Sounding Table Sludge Tank SLM MARSHA.....	84
Lampiran 5 Tabel Data Engine Log Book Periode Sistem Blow Otomatis	85
Lampiran 6 Tabel Data Engine Log Book Periode Sistem Blown Manual	86
Lampiran 7 Output SPSS	87
Lampiran 8 Transkrip Wawancara Tidak Terstruktur.....	88
Lampiran 9 Kondisi Bowl Purifier Tampak Dalam	90
Lampiran 10 Goresan Pada Permukaan Bowl Sliding Piston.....	90
Lampiran 11 Detail Goresan Pada Groove Permukaan Sliding piston	91
Lampiran 12 Bowl Sliding Piston Dilepas dengan O-ring Terpasang	91

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Industri maritim global saat ini tengah dihadapkan dengan tantangan besar dalam meningkatkan efisiensi operasional sekaligus memenuhi tuntutan kepatuhan lingkungan, terutama di tengah penerapan regulasi emisi yang semakin ketat. Meskipun data menunjukkan penurunan jumlah insiden tumpahan minyak besar sejak dekade 1970-an, pada tahun 2024 masih tercatat sekitar 10.000 ton minyak tumpah akibat kecelakaan kapal tanker (ITOPF, 2024). Selain itu, ribuan tumpahan kecil yang berasal dari kapal non-tanker seperti kapal kargo dan penumpang terjadi setiap tahun, memberikan kontribusi signifikan terhadap polusi kronis dan kerusakan ekosistem laut (Venkatraman & Bhatt, 2021). Dampak tumpahan minyak ini tidak hanya terbatas pada aspek ekologi, seperti terganggunya keanekaragaman hayati dan kerusakan habitat laut, tetapi juga menimbulkan kerugian ekonomi yang substansial. Sektor perikanan dan pariwisata global mengalami kerugian hingga miliaran dolar setiap tahunnya akibat gangguan operasional dan penurunan daya tarik destinasi wisata pesisir (ITOPF, 2023). Oleh karena itu, upaya peningkatan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan dan pengembangan teknologi pencegahan serta penanggulangan tumpahan minyak menjadi sangat krusial untuk menjamin keberlanjutan industri maritim dan perlindungan ekosistem laut di masa depan (Venkatraman & Bhatt, 2021).

Untuk menanggulangi ancaman pencemaran laut, komunitas internasional telah memberlakukan regulasi yang ketat melalui International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) Annex I, yang secara khusus mengatur pencegahan polusi minyak dari kapal (IMO, 2024). Regulasi ini melarang pembuangan minyak atau campuran minyak ke

laut dari kapal dengan bobot di atas 400 gross tonnage, kecuali dalam kondisi tertentu seperti pembuangan air ballast yang telah dibersihkan atau di luar area yang dilarang (IMO, 2021). Selain itu, MARPOL Annex I menetapkan batas maksimum kandungan minyak dalam efluen mesin sebesar 15 ppm dan mewajibkan penggunaan peralatan pengolahan seperti oil-water separator serta sistem pengelolaan sludge untuk memastikan limbah yang dibuang telah memenuhi standar lingkungan (IMO, 2021). Kepatuhan terhadap ketentuan ini sangat penting, karena pelanggaran dapat berakibat pada sanksi berat, termasuk denda finansial dan pelarangan operasi di pelabuhan internasional (IMO, 2021).

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan intensitas lalu lintas maritim yang padat sangat beresiko tinggi terhadap pencemaran minyak di perairannya. Studi menunjukkan bahwa mayoritas kasus tumpahan minyak di Indonesia bersumber dari aktivitas operasional kapal, sebagaimana teridentifikasi oleh pemantauan satelit yang mendeteksi ratusan slicks minyak di wilayah perairan Indonesia setiap tahunnya (Haag & Reuter, 2019). Beberapa insiden besar, seperti tumpahan minyak di Teluk Balikpapan pada Maret 2018, telah menyebabkan kerusakan ekosistem mangrove yang luas serta korban jiwa di kalangan nelayan (ITOPF, 2023). Selain itu, peristiwa kebocoran sumur lepas pantai di Laut Jawa pada Juli 2019 juga mencemari area pesisir yang signifikan dan berdampak langsung pada mata pencaharian masyarakat setempat (Haag & Reuter, 2019). Kasus-kasus ini menegaskan pentingnya penerapan dan penegakan regulasi internasional, khususnya MARPOL Annex I, secara konsisten di wilayah maritim Indonesia guna meminimalkan risiko dan dampak pencemaran minyak di masa mendatang (Effendi & Suryana, 2022).

Permasalahan utama kini berfokus pada optimalisasi efisiensi sistem pemurnian minyak pelumas (lubricating oil purifier) di kapal, yang berperan penting dalam memisahkan air, partikel padat, serta kontaminan lain dari minyak pelumas guna menjaga kinerja mesin utama. Sistem pemurnian ini,

khususnya tipe sentrifugal, sangat vital dalam mempertahankan kualitas minyak lumas dan secara langsung berkontribusi terhadap efisiensi operasional kapal, terutama jika didukung oleh strategi perawatan dan pemantauan kondisi yang baik (Taylor, 2023; Woodyard, 2009). Teknologi purifier modern memanfaatkan prinsip pemisahan sentrifugal dengan kecepatan rotasi tinggi, umumnya antara 7.000 hingga 10.000 rpm, untuk memastikan pemisahan air dan kotoran secara optimal sehingga mencegah terjadinya kontaminasi pada sistem pelumasan (Taylor, 2023; Woodyard, 2009). Apabila proses pemurnian ini tidak berjalan secara efektif, risiko kerusakan komponen mesin, peningkatan konsumsi minyak pelumas, serta kenaikan biaya operasional akan meningkat secara signifikan akibat akumulasi kontaminan dan penurunan performa pelumasan (Taylor, 2023; Woodyard, 2009).

Salah satu permasalahan operasional yang sering dihadapi pada sistem purifier minyak lumas di kapal adalah efektivitas proses pembuangan (blow) sludge, yang secara langsung memengaruhi efisiensi kerja purifier serta kapasitas tangki sludge. Pada sistem blow manual, keterlibatan awak kapal diperlukan untuk melakukan pembuangan sludge secara berkala, namun metode ini kerap menimbulkan ketidakkonsistenan dalam jadwal pembuangan sehingga terjadi akumulasi sludge berlebih di dalam bowl purifier, yang pada akhirnya dapat menurunkan kinerja pemurnian minyak lumas. Sebaliknya, sistem blow otomatis yang dilengkapi sensor dan panel kontrol mampu menjalankan proses pembuangan sludge secara terjadwal dan konsisten, sehingga meminimalkan gangguan operasional dan meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Ketidakefektifan sistem blow tidak hanya berdampak pada performa purifier, tetapi juga berimplikasi pada kebutuhan volume tangki sludge yang harus disediakan untuk memenuhi ketentuan MARPOL Annex I Regulation 12. Regulasi ini mewajibkan kapal dengan tonase 400 GT ke atas untuk memiliki tangki sludge dengan kapasitas memadai, minimal 1% dari total bahan bakar di

kapal atau sesuai formula yang mempertimbangkan durasi pelayaran maksimum 30 hari, guna menampung sludge oil yang tidak dapat diproses lebih lanjut (IMO, 2021).

Studi kasus di lapangan mengilustrasikan secara nyata konsekuensi dari kegagalan sistem blow pada purifier minyak pelumas. Pada kapal SLM Marsha, terjadinya alarm “no sludge discharge” selama proses blow otomatis memaksa awak kapal melakukan pembuangan sludge secara manual, yang kemudian menyebabkan kebocoran pada seal bowl dan memicu alarm level rendah pada tangki minyak mesin utama sisi kiri. Kondisi ini berakibat pada peningkatan volume sludge di tangki, sehingga memperbesar potensi terjadinya pembuangan ilegal dan berisiko melanggar ketentuan MARPOL Annex I Regulation 12 terkait pengelolaan residu minyak. Kegagalan sistem blow tidak hanya menyebabkan downtime operasional, tetapi juga meningkatkan konsumsi minyak pelumas hingga 20% per siklus. Selain itu, akumulasi sludge yang tidak terkontrol dapat memicu overflow ke sludge tank, sehingga frekuensi pembuangan ke darat atau insinerasi di kapal meningkat, dan berpotensi menimbulkan ketidakpatuhan terhadap regulasi lingkungan yang mewajibkan pemisahan sistem oil bilge dan oil residue sesuai standar discharge connection (Karar & Helali, 2020).

Meskipun telah banyak penelitian yang membahas sistem purifier minyak lumas di kapal, masih terdapat kesenjangan signifikan dalam kajian yang membandingkan secara kuantitatif antara sistem blow manual dan otomatis terhadap efisiensi operasional serta volume tangki sludge. Sebagian besar studi sebelumnya lebih menitikberatkan pada aspek teknis pemeliharaan purifier dan penerapan prosedur operasional standar, tanpa mengulas secara mendalam pengaruh perbedaan mekanisme sistem blow terhadap produktivitas awak kapal, biaya operasional, maupun kebutuhan kapasitas sludge tank sesuai regulasi MARPOL. Selain itu, literatur yang ada belum memberikan analisis

terstruktur mengenai hubungan antara frekuensi serta metode pembuangan sludge dengan volume residu yang mengendap di dalam sludge tank, maupun dampaknya terhadap implementasi standar MARPOL Annex I Regulation 12 yang mengatur kapasitas tangki berdasarkan tipe mesin dan durasi pelayaran (Kyzas & Chrysalidis, 2020). Dengan demikian, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengisi kekosongan pengetahuan terkait perbandingan efektivitas sistem blow manual dan otomatis dalam konteks operasional kapal dan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan.

Urgensi penelitian ini semakin meningkat seiring dengan transformasi industri maritim, baik di Indonesia maupun secara global, menuju praktik operasional yang lebih efisien dan berkelanjutan. Perubahan ini didorong oleh target dekarbonisasi IMO 2050 serta implementasi regulasi seperti Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI) dan Carbon Intensity Indicator (CII), yang kini mulai diberlakukan secara luas (Mallouppas & Yfantis, 2021). Optimalisasi efisiensi kerja purifier minyak lumas berpotensi memberikan kontribusi nyata dalam menurunkan konsumsi bahan bakar dan emisi, melalui pemeliharaan performa mesin yang optimal. Di sisi lain, kepatuhan terhadap MARPOL Annex I sangat penting untuk memastikan pengelolaan limbah minyak secara bertanggung jawab dan mencegah pencemaran laut (Mallouppas & Yfantis, 2021). Secara global, pasar efisiensi energi kapal diproyeksikan tumbuh pesat, mencerminkan peningkatan investasi pada teknologi yang mendukung efisiensi operasional dan pengurangan biaya perawatan. Dari perspektif akademis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan melalui analisis komparatif antara sistem blow manual dan otomatis, serta menyediakan data empiris mengenai hubungan antara sistem blow otomatis dan pengendapan sludge yang relevan dengan implementasi MARPOL. Sementara itu, secara praktis, temuan penelitian ini dapat menjadi referensi penting bagi pemilik kapal, awak kapal, dan produsen

dalam pengambilan keputusan terkait restorasi maupun pembangunan kapal baru dengan sistem purifier yang lebih efisien (Xiong et al., 2020).

Merujuk pada uraian yang telah disampaikan sebelumnya, penelitian ini mengangkat topik mengenai “PENGARUH SISTEM BLOW PURIFIER TERHADAP EFISIENSI KERJA DAN VOLUME SLUDGE TANK PADA KAPAL SLM MARSHA.” Pemilihan judul ini didasarkan pada urgensi analisis mendalam mengenai hubungan antara mekanisme sistem blow purifier dengan kinerja operasional serta pengelolaan residu sludge di kapal, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan praktik operasional yang lebih efisien dan berkelanjutan di industri maritim.

B. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang Penulis uraikan untuk menyusun dan merumuskan permasalahan dalam bentuk (KIT) untuk memudahkan penyusunan proposal dan mencari solusi atas masalah tersebut. Rumusan Masalah tersebut adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perbedaan efektivitas sistem blow manual dan otomatis pada purifier minyak lumpur terhadap efisiensi kerja operasional di Kapal SLM Marsha?
2. Sejauh mana sistem blow otomatis dibandingkan sistem blow manual dapat mengurangi volume sludge yang dihasilkan dan memengaruhi kapasitas tangki sludge di Kapal SLM Marsha, khususnya dalam memenuhi persyaratan minimum MARPOL Annex I Regulation 12?
3. Apa hubungan antara frekuensi dan metode pembuangan sludge manual dan otomatis dengan risiko ketidakpatuhan terhadap regulasi MARPOL Annex I, termasuk potensi overflow sludge tank dan peningkatan frekuensi discharge ke darat atau insinerasi onboard di Kapal SLM Marsha?

C. Batasan masalah

Penelitian ini dibatasi pada analisis perbandingan efektivitas sistem blow manual dan otomatis pada purifier minyak lumas (lubricating oil purifier) di Kapal SLM Marsha, dengan fokus utama pada pengaruhnya terhadap tiga aspek:

1. efisiensi kerja operasional yang diukur melalui konsistensi interval blow (%), frekuensi kejadian alarm "No Sludge Discharge", dan estimasi jam operasi efektif purifier per hari;
2. volume sludge yang dihasilkan serta implikasinya terhadap laju akumulasi dan kapasitas tangki sludge; dan
3. tingkat kepatuhan terhadap MARPOL Annex I Regulation 12, khususnya persyaratan kapasitas tangki sludge minimum sesuai formula durasi pelayaran maksimum 30 hari.

Penelitian tidak mencakup aspek teknis pemeliharaan purifier secara menyeluruh, modifikasi desain peralatan, analisis biaya investasi awal sistem otomatis, maupun perbandingan dengan jenis purifier selain tipe sentrifugal. Seluruh data dan pengamatan difokuskan pada kondisi operasional aktual Kapal SLM Marsha selama periode penelitian (September 2024–Juli 2025), sehingga hasilnya tidak digeneralisasikan ke kapal lain dengan karakteristik mesin, rute pelayaran, atau sistem pengolahan limbah yang berbeda.

D. Tujuan Penelitian

Berikut tujuan yang ingin dicapai Penulis dalam penulisan penelitian dalam Karya Ilmiah Terapan ini yaitu :

1. Mengetahui dan menganalisis perbedaan efektivitas sistem blow manual dan sistem blow otomatis pada purifier minyak lumas terhadap efisiensi kerja operasional di Kapal SLM Marsha.

2. Mengetahui sejauh mana sistem blow otomatis dibandingkan dengan sistem blow manual dapat mengurangi volume sludge yang dihasilkan serta pengaruhnya terhadap kapasitas tangki sludge di Kapal SLM Marsha dalam konteks pemenuhan MARPOL Annex I Regulation 12.
3. Mengetahui dan menganalisis hubungan antara frekuensi serta metode pembuangan sludge (manual vs otomatis) dengan tingkat risiko ketidakpatuhan terhadap MARPOL Annex I pada Kapal SLM Marsha, termasuk potensi overflow sludge tank dan peningkatan frekuensi discharge ke darat atau insinerasi onboard.

E. Manfaat Penulisan

Berdasarkan tujuan penelitian yang hendak dicapai, Penulis berharap dalam penelitian ini memiliki manfaat untuk menambah wawasan bagi Penulis dan bagi pembaca mengenai pengaruh sistem blow purifier. Adapun beberapa manfaat Karya Ilmiah Terapan ini sebagai berikut :

1. Manfaat secara Teoretis

Secara teoretis, penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan ilmu di bidang Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, khususnya dalam kajian sistem pemisahan minyak pelumas. Melalui pendekatan kuantitatif, studi ini memperdalam pemahaman mengenai pengaruh sistem blow purifier—baik manual maupun otomatis—terhadap efisiensi operasional alat serta pembentukan volume sludge selama proses pemurnian minyak pelumas di kapal. Temuan penelitian ini diharapkan dapat memperkaya teori terkait optimasi kinerja sistem pemisahan fluida, penerapan otomatisasi pada mesin bantu kapal, serta faktor-faktor yang memengaruhi efektivitas pemisahan partikel padat dan air dari minyak pelumas.

Penelitian ini juga menyajikan landasan teoretis baru mengenai keterkaitan antara parameter teknis operasi purifier dan aspek kepatuhan lingkungan, khususnya sebagaimana diatur dalam MARPOL Annex I Regulation 12 terkait pengelolaan dan pembuangan sludge. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya relevan untuk pengembangan teori efisiensi sistem pemurnian minyak, tetapi juga memperkuat integrasi antara konsep teknis dan prinsip keberlanjutan dalam rekayasa permesinan kapal. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi studi lanjutan yang berfokus pada inovasi otomasi purifier, efisiensi energi, dan pengelolaan limbah minyak yang ramah lingkungan.

2. Manfaat secara Praktis

a. Bagi Taruna Dan Taruni

Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi ilmiah yang aplikatif dalam memahami prinsip kerja purifier serta perbedaan kinerja antara sistem blow manual dan otomatis. Melalui penelitian ini, taruna dan taruni dapat memperdalam pengetahuan tentang efisiensi sistem pemisahan minyak pelumas, pengaruhnya terhadap pembentukan sludge, serta pentingnya penerapan otomasi untuk meningkatkan keandalan mesin bantu di kapal. Penelitian ini juga dapat dijadikan bahan ajar atau studi kasus dalam proses pembelajaran di lingkungan Politeknik Pelayaran, khususnya pada mata kuliah sistem mesin bantu dan teknologi pemurnian fluida.

b. Bagi Awak Kapal

Penelitian ini memberikan informasi kuantitatif yang dapat dijadikan dasar untuk meningkatkan kinerja operasional purifier. Temuan mengenai perbedaan efisiensi antara sistem blow manual dan otomatis dapat membantu awak kapal dalam mengoptimalkan frekuensi blow, mengurangi volume sludge yang dihasilkan, serta meminimalkan

risiko overflow atau kontaminasi minyak pelumas. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat mendukung awak kapal dalam melaksanakan pengoperasian purifier yang lebih efektif, efisien, dan sesuai prosedur keselamatan serta lingkungan.

c. Bagi Perusahaan Pelayaran

Penelitian ini bermanfaat sebagai bahan evaluasi untuk meningkatkan kebijakan perawatan mesin bantu, khususnya dalam sistem lub oil purifier. Data empiris yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam pengambilan keputusan investasi terhadap sistem blow otomatis, yang berpotensi menurunkan biaya perawatan, mengurangi frekuensi pembuangan sludge ke darat, serta meningkatkan kepatuhan terhadap ketentuan MARPOL Annex I Regulation 12. Selain itu, hasil penelitian ini dapat membantu perusahaan dalam merancang prosedur operasi standar (SOP) yang lebih efisien dan berorientasi pada green shipping.

d. Bagi Pemerintah Atau Otoritas Maritim

Penelitian ini memberikan masukan ilmiah yang berguna dalam proses pembinaan dan pengawasan terhadap penerapan regulasi lingkungan maritim, khususnya pengelolaan limbah minyak di kapal. Temuan dari penelitian ini dapat mendukung upaya pemerintah dalam memperkuat kebijakan pengendalian polusi laut dan mendorong implementasi teknologi otomasi yang ramah lingkungan pada armada nasional. Dengan demikian, hasil penelitian ini berkontribusi terhadap peningkatan kepatuhan industri pelayaran Indonesia terhadap standar internasional yang diatur dalam MARPOL, serta mendukung target pembangunan berkelanjutan sektor maritim nasional.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. *Review Penelitian Sebelumnya*

Berikut beberapa jurnal maupun penelitian sebelumnya yang peneliti gunakan sebagai acuan dalam menyusun penelitian ini. Peneliti menggunakan tiga referensi untuk mengkaji akibat, penyebab, dan metode yang digunakan. Di sini juga akan peneliti jelaskan perbedaan penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya, sehingga dapat diketahui hasil serta kontribusi baru yang ditawarkan dalam penelitian ini.

Tabel 2. 1 Review Penelitian Sebelumnya

No	Penulis	Judul	Metode	Hasil
1.	Mohamad wahyu adi wicaksono,martha rendra gunarti,desi ratnaningsih,agus prawoto,shofad. Robbi& adi nugroho (2025)	Analisis perawatan dan perbaikan F.O purifier terhadap bahan bakar pada kapal KM.Ciremai	Penelitian ini mengolah data yang didapat secara observatif, yang kemudian data tersebut dianalisis secara deskriptif. Variabel yang diamati pada penelitian ini adalah kondisi bowl disc, performa pemisahan bahan bakar, tingkat overflow, dan kondisi komponen purifier secara keseluruhan.	Penelitian ini memperoleh hasil bahwa kurangnya perawatan purifier menyebabkan overflow akibat kerak pada bowl disc. Strategi yang dapat diterapkan adalah melakukan perawatan purifier secara rutin. Perbedaan penelitian ini adalah tidak membahas mekanisme blow purifier secara spesifik pada kapal SLM Marsha.
2.	Johanes nduru,haposan tanujaya & sidik darmawan	Pengaruh kebersihan bahan bakar dengan modifikasi pada purifier fuel oil terhadap unjuk kerja motor bakar kapal	Penelitian ini mengolah data yang didapat secara eksperimental kuantitatif, yang kemudian dianalisis dengan membandingkan hasil sebelum dan sesudah modifikasi sistem purifier. Variabel yang diamati pada penelitian ini adalah jumlah tahap filtrasi, kandungan air, kandungan pasir dalam bahan bakar, serta unjuk kerja motor bakar kapal.	Penelitian ini memperoleh hasil bahwa penambahan filter separator pada purifier mampu meningkatkan filtrasi dari 2 tahap menjadi 3 tahap sehingga kandungan air dan pasir dalam bahan bakar berkurang signifikan. Strategi yang dapat diterapkan adalah memodifikasi sistem purifier agar unjuk kerja motor bakar meningkat. Perbedaan

No	Penulis	Judul	Metode	Hasil
				penelitian ini adalah penelitian tersebut berfokus pada modifikasi purifier dari sisi unjuk kerja mesin, sedangkan penelitian ini pada pengaruh sistem blow purifier terhadap efisiensi kerja dan volume sludge tank pada kapal SLM Marsha.
3.	Mohamad afdlin ardiyanshah & Kriswanto Kriswanto	Perawatan fuel oil purifier guna pengoptimalan bahan bakar di atas kapal MV.Lumoso karunia IX	Penelitian ini mengolah data yang didapat secara observasi langsung di atas kapal MV. Lumoso Karunia IX, yang kemudian dianalisis secara deskriptif kualitatif dengan studi literatur manual book purifier serta diskusi bersama engineer kapal. Variabel yang diamati pada penelitian ini adalah pemilihan gravity disc, suhu bahan bakar sebelum purifikasi, kondisi bowl, serta kualitas bahan bakar yang dihasilkan.	Pada penelitian yang telah dikaji, dapat disimpulkan bahwa pemilihan gravity disc, pengukuran suhu bahan bakar, serta perawatan bowl secara rutin merupakan faktor utama yang mempengaruhi kinerja fuel oil purifier. Berbeda dengan penelitian tersebut yang membahas perawatan purifier secara umum, penelitian ini secara khusus meneliti pengaruh sistem blow purifier terhadap efisiensi kerja dan pengelolaan volume sludge tank pada kapal SLM Marsha.

Sumber : Diolah Peneliti

Pada review penelitian pertama menemukan bahwa kurangnya perawatan pada fuel oil purifier menyebabkan terjadinya overflow akibat kerak yang menempel pada bowl disc serta kerusakan pada komponen lainnya, dengan menggunakan metode deskriptif kualitatif dan pendekatan USG dalam menganalisis data, namun perbedaannya penelitian tersebut hanya berfokus pada perawatan dan perbaikan purifier secara umum tanpa membahas mekanisme blow purifier secara spesifik. Penelitian kedua menunjukkan bahwa modifikasi sistem fuel oil purifier dengan penambahan filter separator mampu meningkatkan proses filtrasi sehingga kandungan air dan pasir dalam bahan

bakar berkurang secara signifikan, penelitian ini berbeda dengan penelitian peneliti karena berfokus pada modifikasi komponen purifier dari sisi unjuk kerja mesin tanpa mengkaji pengaruh mekanisme blow purifier secara langsung. Review penelitian terakhir menghasilkan bahwa pemilihan gravity disc yang tepat, pengukuran suhu bahan bakar, serta perawatan bowl secara rutin merupakan faktor utama dalam mengoptimalkan kinerja fuel oil purifier, hal ini serupa dengan penelitian peneliti yang juga bertujuan mengkaji faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja purifier, namun perbedaannya penelitian ini secara khusus meneliti pengaruh sistem blow purifier terhadap efisiensi kerja dan pengelolaan volume sludge tank pada kapal SLM Marsha.

B. Landasan Teori

Berdasarkan teori – teori yang ada maka menjadi sebuah landasan teori. Landasan teori akan menjadi dasar – dasar sebuah penelitian. Hal tersebut sangat penting karena menjadi sebuah kunci pemahaman dari pembaca mengenai penelitian dan teorinya. Landasan teori tersebut berupa teoritis dan informasi tambahan. Berdasarkan landasan teori tersebut, penulis menjelaskan dan menyajikan beberapa landasan teori sebagai berikut:

1. Sistem Pelumasan Mesin Kapal

Sistem pelumasan mesin dikapal merupakan salah satu sistem yang menunjang kinerja mesin dikapal, sistem pelumasan ini berfungsi untuk menyediakan minyak pelumas yang berkualitas ke komponen-komponen yang bergerak, sehingga mengubah gesekan kering menjadi gesekan cair untuk mengurangi keausan, membuang panas, menghilangkan serpihan keausan, serta memberikan fungsi tambahan seperti pencegahan korosi, pengurangan kebisingan, dan penyegelan (Ye et al., 2025).

Selain itu, sistem ini mengurangi gesekan antara komponen, mencegah keausan, mengurangi panas, melindungi komponen dari endapan,

dan menyegel. Secara spesifik, sistem pelumasan meminimalkan kerugian gesekan, seperti 35-45% pada sistem piston, serta mengendalikan kontaminasi dengan membawa partikel dan kontaminan (Tuswan et al., 2024).

Menjaga kualitas minyak pelumas sangat krusial karena kontaminan dalam minyak dapat menurunkan efisiensi pelumasan, sementara parameter seperti suhu dan tekanan memengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan (Ye et al., 2025). Hal ini penting untuk memperpanjang umur minyak pelumas, menurunkan biaya operasional, mencegah keausan dan korosi, memastikan kondisi optimal untuk mengurangi gesekan dan panas, serta menurunkan biaya pemeliharaan.

2. Purifier lub oil

a. Definisi Purifier lub oil

Purifier lube oil merupakan salah satu permesinan bantu yang terdapat di atas kapal dan berperan penting dalam sistem pelumasan mesin. Pesawat ini berfungsi membersihkan bahan bakar dan minyak lumas dari campuran kotoran cair maupun padat yang tercampur di dalamnya (Taylor, 2023) menggunakan prinsip gaya sentrifugal. Sentrifugal lube oil purifier memisahkan air bebas dan padatan hingga ukuran 0,5 mikron, di mana air yang terpisah mengalir keluar dari sentrifugal sementara padatan yang terpisah terakumulasi di dalam bowl sentrifugal. Dengan menjaga kebersihan minyak lumas, purifier mencegah keausan komponen mesin, mengatasi pertumbuhan mikroba pada sistem yang basah, serta mempertahankan kualitas pelumasan pada bantalan anti-gesek di dalam sirkuit pelumasan tertutup (Alfa Laval, 2021)..

b. Prinsip kerja purifier lub oil

Prinsip kerja purifier lub oil dengan berdasarkan pada gaya sentrifugal untuk memisahkan kotoran dari minyak pelumas berdasarkan perbedaan massa jenis, dengan memanfaatkan pengendapan di bawah rotasi kecepatan tinggi. Minyak yang terkontaminasi dimasukkan ke dalam mangkuk (*bowl*) yang berputar dengan kecepatan tinggi antara 3000–6000 RPM, menghasilkan 6000–9000 g, di mana gaya sentrifugal menyebabkan kontaminan yang lebih padat misalnya, air $\sim 1.0 \text{ g/cm}^3$, sludge, partikel abrasif, biomassa mikroba berpindah ke luar ke pinggiran mangkuk, membentuk lapisan sludge, sementara minyak yang lebih ringan bergerak ke dalam ke pusat untuk dikeluarkan. Mekanisme utama meliputi:

1) Gaya Sentrifugal:

Dihasilkan oleh rotasi mangkuk yang cepat (didorong oleh motor, gigi, poros mesin, atau kopling), melempar partikel yang lebih berat ke luar karena akselerasi radial yang mengalahkan gravitasi, sehingga meningkatkan efisiensi pemisahan.

2) Perbedaan Densitas:

Bergantung pada variasi gravitasi spesifik (minyak lebih ringan daripada air/sludge/solid), memastikan pemisahan fase tanpa aditif kimia; kandungan air tidak boleh melebihi 0.5% berat dalam minyak engkol.

3) Flow Path (Alur Aliran):

Minyak disedot dari sump (sebisa mungkin dekat dengan dasar), dipanaskan terlebih dahulu untuk mengurangi viskositas (misalnya, 50–70°C atau di atas 70°C selama 20 detik/80°C selama 10 detik untuk membantu dekontaminasi dan sterilisasi

sendiri terhadap mikroba), masuk secara tangensial untuk membentuk pusaran, berputar melalui mangkuk (sering melalui distributor untuk distribusi merata), dengan minyak murni keluar dari pusat (underflow/overflow) untuk disirkulasikan kembali; kotoran dikeluarkan secara periodik (batch) atau kontinu (self-cleaning melalui ejeksi parsial) melalui port pinggiran. Laju alir dikontrol untuk memaksimalkan waktu tinggal; dalam seri (purifier kemudian clarifier), yang pertama menghilangkan kontaminan massal, yang kedua memoles lebih lanjut. Sirkulasi terjadi setidaknya sekali setiap 8–10 jam untuk mencegah proliferasi mikroba; proses ini memastikan kemurnian tinggi (misalnya, menghilangkan partikel hingga ukuran mikron) tanpa filter di beberapa desain, meskipun filter terintegrasi dapat memantau atau mencegah penyumbatan.

c. Komponen utama

Adapun komponen – komponen yang Menyusun purifier lub oil sebagai berikut :

1) Mangkuk Berputar (Bowl atau Drum/Chamber)

Komponen ini berbentuk silinder/konis yang berputar dengan kecepatan tinggi untuk menghasilkan gaya sentrifugal, menampung minyak atau kotoran, berisi tumpukan disk untuk pemisahan yang ditingkatkanyang menjadi tempat untuk kontaminan yang lebih padat terkumpul di permukaan dalam, termasuk mangkuk dalam atau luar untuk menjebak air.



Gambar 2. 1 *bowl purifier lub oil*
Sumber : dokumen pribadi

2) Disk

Meningkatkan area pengendapan efektif dengan lapisan tipis multiple; meningkatkan efisiensi untuk partikel halus/pengangkatan air dengan menciptakan turbulensi dan permukaan tambahan untuk pengumpulan kotoran.

3) Gravity Disc / Interface Ring

Menentukan posisi antarmuka (interface) antara minyak dan air di dalam bowl; pemilihan diameter yang tepat sangat menentukan apakah purifier bekerja sebagai purifier (membuang air) atau clarifier (hanya membuang padatan) (Woodyard, 2009).

4) Feed Pump (Pompa Masukan)

Memompa minyak pelumas kotor dari sump tank ke purifier dengan tekanan dan laju alir yang terkontrol (biasanya 1–3 bar) (Taylor, 2023).

5) Heater (Pemanas Minyak)

Memanaskan minyak pelumas hingga 85–95 °C untuk menurunkan viskositas dan memperbesar perbedaan densitas antara minyak dan air sehingga pemisahan menjadi optimal (Taylor, 2023).

6) Drive System (Motor Listrik + Worm Gear/Friction Clutch)

Menggerakkan bowl pada kecepatan tinggi secara stabil;

pada purifier modern biasanya menggunakan motor listrik 3-fasa dengan transmisi worm gear atau friction clutch (Woodyard, 2009).

7) Sludge Discharge Ports & Sliding Bowl Bottom (Sistem Pembuangan Sludge)

Membuka secara hidrolik atau pneumatik pada interval tertentu untuk mengeluarkan sludge dan air yang terkumpul di periferi bowl (total atau partial discharge pada tipe self-cleaning) (Taylor, 2023).

8) Paring Disc / Centripetal Pump

Mengubah energi kinetik minyak bersih yang berputar menjadi tekanan statik sehingga minyak bersih dapat dikeluarkan dari pusat bowl tanpa kehilangan tekanan (Woodyard, 2009).

9) Water Transducer / Control Unit

Mendeteksi kandungan air pada minyak keluar dan mengatur waktu pembuangan sludge secara otomatis (khususnya pada sistem ALCAP atau purifier otomatis modern) (Taylor, 2023).

3. Sistem Blow Purifier

Sistem blow purifier merupakan mekanisme pembuangan kotoran atau sludge yang tergabung didalam bowl selama proses pemisahan minyak pelumas. Sludge atau kotoran ini terdiri dari campuran minyak terkontaminasi, air, dan partikel padat yang tidak dapat dipertahankan dalam proses pemurniaan. Jika tidak terjadi proses pembuangan sludge secara teratur, maka akan terjadi penumpukan yang dapat menurunkan efisiensi pemisahan dan mengganggu kestabilan operasional purifier. System pembuangan ini disebut dengan system blow. System blow ini dapat dibagi menjadi dua yakni system blow secara manual dan otomatis.

System blow secara manual Adalah system pembuangan sludge atau kotoran yang dioperasikan secara langsung oleh awak kapal dengan waktu dan frekuensi yang sudah ditentukan berdasarkan manual book purifier lub

oil yang ada diatas kapal. Keberhasilan dari proses ini sangat bergantung pada ketelitian dan konsistensi awak kapal dalam menjalankan prosedur tersebut.

Sebaliknya System blow secara otomatis Adalah system pembuangan sludge yang dirancang untuk melakukan pembuangan sludge atau kotoran secara terprogram berdasarkan interval waktu atau parameter operasi tertentu. System ini dioperasikan penuh dengan control otomatis yang memungkinkan pembuangan sludge dilakukan secara konstan tanpa intervensi langsung operator, dengan demikian potensi terjadinya human eror dapat diatasi dan kestabilan operasional purifier dapat ditingkatkan.

Perbedaan mendasar terhadap kedua system tersebut terletak pada konsistensi dan ketepatan waktu pembuangannya. System blow manual berpotensi menghasilkan variasi yang lebih besar dalam jumlah sludge yang dibuang, sedangkan system blow otomatis cenderung menghasilkan pola pembuangan yang lebih stabil dan terkontrol.\

Pemilihan system blow yang digunakan berpengaruh terhadap efisiensi kerja purifier dan volume sludge yang dihaliskan. Blow yang terlalu jarang dapat menyebabkan penumpukan kontaminan yang di dalam bowl, sedangkan frekuensi blow yang terlalu jarang dapat meningkatkan potensi kehilangan minyak lumas yang bersih lebih meningkat. Oleh karane itu evaluasi efektifitas system blow menjadi sgaat penting dalam operasional purifier.

Dalam penelitian ini, system blow purifier diposisikan sebagai variable independent,yang dibedakanmenjadi system blow manual dan system blow otomati, untuk dianalisis pengaruhnya terhadap efisiensi kerja purfier dan volume sludge tank dikapal.

4. Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja purifier dapat diartikan sebagai kemampuan purifier dalam menjalankan proses pemurnian minyak pelumas secara optimal dengan gangguan operasional yang minimal. Efisiensi ini mencerminkan sejauh mana purifier mampu menghasilkan minyak pelumas yang bersih sesuai standar dalam waktu operasi tertentu. Semakin tinggi efisiensi kerja purifier, semakin stabil pula sistem pelumasan mesin kapal.

Efisiensi kerja purifier dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kondisi teknis peralatan, parameter operasi, serta sistem blow yang digunakan. Purifier yang beroperasi dengan parameter yang sesuai dan sistem blow yang tepat akan memiliki waktu operasi efektif yang lebih tinggi dibandingkan purifier yang sering mengalami gangguan atau downtime.

Dalam praktik di kapal, efisiensi kerja purifier sering dikaitkan dengan jam operasi efektif, frekuensi gangguan, dan kebutuhan intervensi manual. Data-data ini umumnya tercatat dalam log book mesin dan dapat digunakan sebagai indikator kuantitatif untuk menilai kinerja purifier secara objektif.

Efisiensi kerja yang rendah dapat mengindikasikan adanya masalah dalam sistem pemurnian, seperti penumpukan sludge, pengaturan blow yang tidak optimal, atau kondisi minyak pelumas yang sudah tidak layak. Kondisi ini dapat berdampak langsung pada performa mesin dan meningkatkan beban kerja awak kapal.

Dalam penelitian kuantitatif, efisiensi kerja purifier dapat diukur dan dianalisis secara statistik untuk melihat perbedaan kinerja antara penggunaan sistem blow manual dan otomatis. Pendekatan ini memungkinkan penilaian yang objektif terhadap efektivitas masing-masing sistem blow. Dengan demikian, efisiensi kerja purifier dalam penelitian ini

diposisikan sebagai variabel dependen (Y_1) yang dipengaruhi oleh sistem blow purifier sebagai variabel independen.

5. Sludge lub oil dan volume sludge tank

Sludge tank merupakan tangki penampung limbah minyak berupa sludge yang dihasilkan dari proses pemurnian minyak pelumas dan sistem permesinan lainnya di kapal. Volume sludge tank menunjukkan jumlah sludge yang terakumulasi dalam periode tertentu dan mencerminkan efektivitas sistem pemurnian serta manajemen limbah minyak di kapal.

Volume sludge yang dihasilkan dipengaruhi oleh kualitas minyak pelumas, kondisi operasi purifier, serta frekuensi dan metode blow yang digunakan. Sistem blow yang tidak optimal dapat menyebabkan peningkatan volume sludge yang signifikan, sehingga mempercepat penuhnya tangki sludge.

Pengelolaan volume sludge menjadi penting karena kapasitas sludge tank di kapal terbatas. Apabila volume sludge melebihi kapasitas tangki, maka terdapat risiko overflow yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan atau pelanggaran terhadap regulasi internasional. Oleh karena itu, pengendalian volume sludge merupakan bagian dari manajemen lingkungan di kapal.

Dalam praktik operasional, volume sludge tank dicatat dalam Oil Record Book (ORB) setiap kali terjadi pemindahan, penyimpanan, atau pembuangan sludge. ORB merupakan dokumen resmi yang diaudit dan memiliki kekuatan hukum, sehingga data yang tercatat di dalamnya dapat digunakan sebagai sumber data penelitian yang valid.

Dalam penelitian ini, volume sludge tank digunakan sebagai variabel dependen (Y_2) untuk menganalisis pengaruh sistem blow purifier terhadap jumlah sludge yang dihasilkan. Data volume sludge dianalisis secara kuantitatif untuk melihat perbedaan antara sistem blow manual dan

otomatis. Dengan demikian, analisis volume sludge tank tidak hanya memberikan gambaran teknis tentang kinerja purifier, tetapi juga menunjukkan implikasi lingkungan dan kepatuhan terhadap regulasi maritim.

6. Regulasi Marpol Annex 1

MARPOL Annex I merupakan regulasi internasional yang dikeluarkan oleh International Maritime Organization (IMO) untuk mencegah pencemaran laut akibat minyak dan limbah berminyak dari kapal. Regulasi ini mengatur pengelolaan minyak pelumas, residu minyak, serta pencatatan aktivitas terkait dalam Oil Record Book.

Salah satu ketentuan penting dalam MARPOL Annex I adalah Regulation 12 yang mengatur kewajiban kapal memiliki sludge tank dengan kapasitas yang memadai untuk menampung sludge hasil operasi permesinan. Ketentuan ini secara langsung berkaitan dengan volume sludge tank yang dianalisis dalam penelitian ini.

Selain itu, MARPOL Annex I juga menekankan pentingnya pengoperasian oil filtering equipment yang efektif, termasuk purifier minyak lumas. Efisiensi kerja purifier menjadi faktor penting dalam mencegah terjadinya pembuangan minyak ke laut dan memastikan limbah minyak dikelola dengan benar.

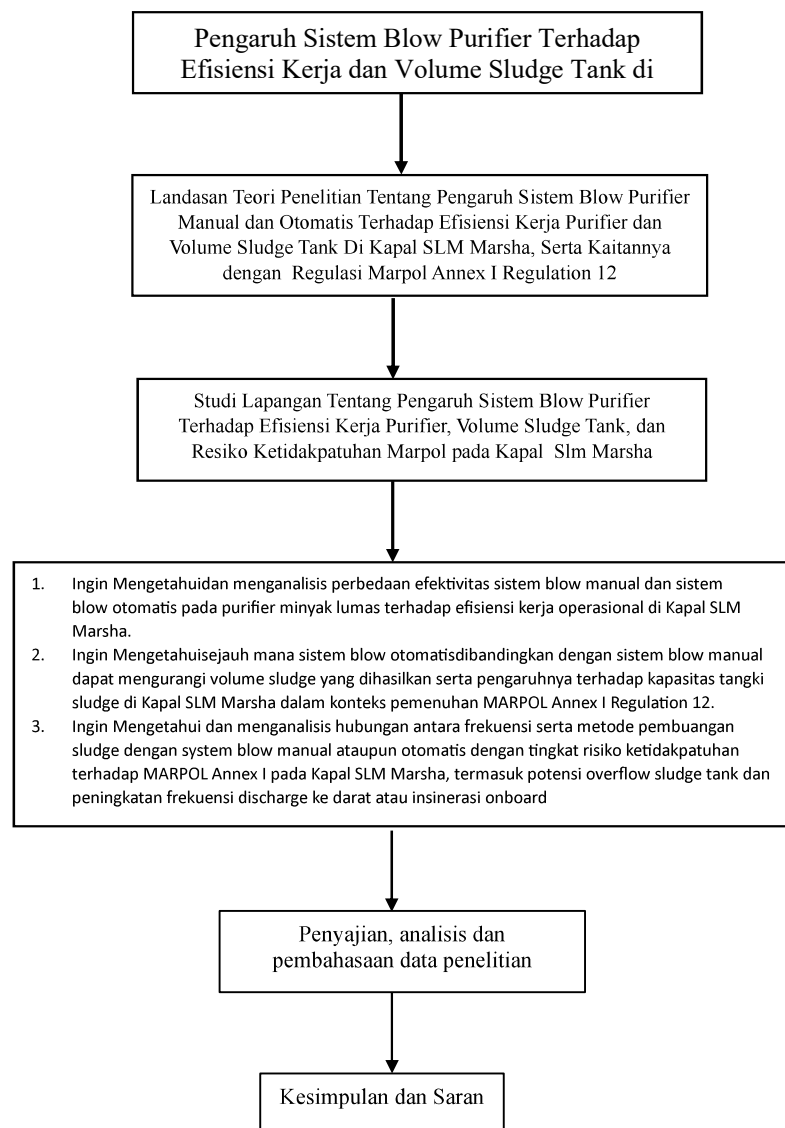
Regulasi ini juga mewajibkan pencatatan seluruh aktivitas terkait minyak dan sludge dalam Oil Record Book. Ketentuan tersebut mendukung penggunaan ORB sebagai sumber data utama dalam penelitian ini, sehingga metode pengumpulan data yang digunakan sejalan dengan standar internasional.

Dalam penelitian ini, MARPOL Annex I tidak dijadikan sebagai variabel penelitian, melainkan sebagai kerangka regulatif dan standar pembanding. Analisis dilakukan untuk melihat sejauh mana hasil

operasional purifier dan pengelolaan sludge memenuhi ketentuan regulasi yang berlaku.

Dengan mengaitkan sistem blow purifier, efisiensi kerja, dan volume sludge tank dengan MARPOL Annex I, penelitian ini memiliki relevansi teknis dan lingkungan yang kuat serta memberikan kontribusi praktis bagi pengelolaan permesinan kapal.

C. Kerangka Penelitian



Gambar 2. 2 Kerangka Penelitian
Sumber : Dokumen Pribadi (2025)

D. Hipotesis

Hipotesis adalah sebuah pernyataan atau dugaan yang diajukan untuk diuji atau diteliti sebagai dasar untuk penyelidikan lebih lanjut. Hipotesis biasanya berupa prediksi atau jawaban sementara terhadap pertanyaan penelitian yang diajukan. Dalam konteks ilmiah, hipotesis harus dapat diuji melalui pengamatan atau percobaan yang sistematis untuk menentukan kebenarannya. Jika data yang dikumpulkan mendukung hipotesis, maka hipotesis tersebut mungkin diterima sebagai bagian dari penjelasan fenomena yang diteliti. Namun, jika data tidak mendukung hipotesis, itu bisa menunjukkan bahwa hipotesis tersebut tidak benar atau memerlukan revisi.

Dalam penelitian ini, peneliti mengajukan hipotesis yang merupakan anggapan sementara yang berfungsi sebagai pedoman agar mempermudah jalannya penelitian. Penelitian ini bersifat kuantitatif kausal dengan fokus pada pengaruh sistem blow purifier (manual dan otomatis) terhadap efisiensi kerja purifier dan volume sludge tank di Kapal SLM Marsha, serta implikasinya terhadap pemenuhan persyaratan minimum MARPOL Annex I Regulation 12 dan risiko ketidakpatuhan regulasi tersebut. Adapun hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

H₀: Tidak terdapat perbedaan signifikan sistem blow purifier manual dan otomatis terhadap efisiensi kerja operasional purifier minyak lumpur, volume sludge tank, pemenuhan persyaratan minimum kapasitas tangki sludge sesuai MARPOL Annex I Regulation 12, serta resiko ketidak patuhan regulasi MARPOL Annex I termasuk potensi overflow sludge tank, peningkatan frekuensi discharge ke darat, atau insinerasi onboard di Kapal SLM Marsha.

H₁: Terdapat perbedaan signifikan antara sistem blow manual dan otomatis, di mana sistem blow otomatis menunjukkan efisiensi kerja operasional yang lebih tinggi, volume sludge tank yang lebih rendah sehingga lebih baik memenuhi persyaratan minimum MORPOL Annex 1 Regulation 12, serta risiko

ketidakpatuhan regulasi MARPOL Annex I yang lebih rendah melalui penurunan potensi overflow sludge tank dan penurunan frekuensi discharge ke darat atau insinerasi on board di kapal SLM Marsha.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain deskriptif komparatif. Sugiyono (2022) mendefinisikan penelitian kuantitatif sebagai pendekatan yang digunakan untuk meneliti populasi atau sampel tertentu dengan pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, dan analisis data bersifat kuantitatif atau statistik. Pendekatan ini dipilih karena penelitian bertujuan membandingkan secara objektif dua kondisi operasional yang berbeda, yaitu periode sistem blow manual dan periode sistem blow otomatis pada purifier minyak lumas, berdasarkan data numerik yang terukur dan tercatat secara resmi dalam dokumen kapal.

Jenis penelitian yang digunakan adalah *ex post facto*, yaitu penelitian yang mengkaji peristiwa atau kondisi yang telah terjadi dan tidak dapat dimanipulasi oleh peneliti. Desain komparatif digunakan untuk membandingkan data operasional antara periode blow manual (Desember 2024–April 2025) dan periode blow otomatis (September–November 2024 dan Mei–Juli 2025) di Kapal SLM Marsha, dengan analisis difokuskan pada perbedaan efisiensi kerja purifier, volume sludge yang dihasilkan, dan kepatuhan terhadap MARPOL Annex I Regulation 12.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini disusun untuk mengetahui secara jelas objek penelitian serta mencapai tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Penentuan tempat penelitian menjadi hal yang penting dalam sebuah penelitian ilmiah, karena kedua aspek tersebut sangat menentukan relevansi dan keabsahan data yang diperoleh. Berikut adalah tempat dan waktu pelaksanaan penelitian:

1. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di atas kapal SPB SLM Marsha dengan call sign YDRE3, yang difokuskan pada kamar mesin atau engine room yang merupakan tempat beroperasinya sistem purifier minyak lumas dan oil water separator (OWS). Pemilihan lokasi ini bukan sekadar pertimbangan teknis, melainkan karena peneliti sendiri bertugas langsung di kapal tersebut dalam kapasitas sebagai cadet mesin yang sedang melaksanakan praktik laut. Dengan posisi tersebut, peneliti memiliki akses langsung dan berkelanjutan terhadap seluruh kegiatan operasional permesinan, dokumen resmi kapal, serta komunikasi dengan masinis kapal, termasuk pengamatan terhadap sistem blow purifier baik saat beroperasi secara otomatis maupun manual.

2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian berlangsung selama masa praktik laut peneliti pada kapal tersebut, yang dimulai dari tanggal 11 September 2024 – 19 Juli 2025. Dalam periode tersebut terdapat dua fase operasional yang menjadi objek perbandingan, yaitu fase sistem blow otomatis pada bulan September–November 2024 dan Mei–Juli 2025 ketika purifier beroperasi normal

dengan panel kontrol Siemens Smart Line, serta fase blow manual pada Desember 2024–April 2025 akibat gangguan parameter pressure protection delay dan kerusakan seal/O-ring bowl sliding piston purifier.

C. Sumber Data dan Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data dalam proses pengumpulan dan analisisnya, yaitu data primer dan data sekunder. Sugiyono (2022) menjelaskan bahwa data primer adalah data yang langsung diperoleh dari sumber pertama tanpa perantara, sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh melalui perantara atau dokumen yang telah tersedia sebelumnya. Sejalan dengan hal tersebut, Sekaran dan Bougie (2016) menyatakan bahwa kombinasi data primer dan sekunder dalam satu penelitian merupakan strategi yang efektif untuk memperluas cakupan informasi sekaligus memperkuat validitas temuan. Kombinasi kedua jenis data ini diterapkan untuk memperkuat keabsahan dan objektivitas analisis melalui mekanisme triangulasi data, sehingga temuan penelitian dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Teknik pengumpulan data yang digunakan terdiri dari dua metode, yaitu studi dokumentasi untuk memperoleh data primer, dan wawancara tidak terstruktur untuk memperoleh data sekunder.

1. Data Primer

Data primer dalam penelitian ini bersumber dari Engine Log Book dan Oil Record Book (ORB) yang pencatatannya dilakukan secara langsung oleh peneliti bersama kru kapal selama masa praktik laut di Kapal SLM Marsha. Kedua dokumen tersebut dikategorikan sebagai data primer karena

peneliti terlibat langsung dalam proses pencatatan, pengamatan, dan verifikasi data operasional di lapangan dalam kapasitasnya sebagai cadet mesin yang bertugas aktif di kamar mesin. Sugiyono (2022) menegaskan bahwa data primer memiliki tingkat keandalan yang lebih tinggi dibandingkan data sekunder karena diperoleh langsung dari sumbernya tanpa proses perantaraan, sehingga meminimalkan kemungkinan distorsi informasi. Senada dengan hal tersebut, Indriantoro dan Supomo (2018) menjelaskan bahwa data primer yang diperoleh melalui observasi dan pencatatan langsung di lapangan memiliki relevansi yang sangat tinggi terhadap permasalahan yang diteliti karena mencerminkan kondisi aktual objek penelitian. Teknik pengumpulan data primer dalam penelitian ini dilakukan melalui studi dokumentasi, yaitu dengan mengekstrak, mengelompokkan, dan mentabulasi data numerik dari dokumen resmi kapal secara sistematis. Creswell dan Creswell (2023) menyatakan bahwa pengumpulan data melalui dokumen resmi dalam penelitian kuantitatif memberikan keunggulan berupa objektivitas data yang tinggi karena tidak terpengaruh oleh bias peneliti maupun responden. Lebih lanjut, Sugiyono (2022) menyatakan bahwa studi dokumentasi digunakan untuk mencari data mengenai hal-hal atau variabel yang berupa catatan, transkrip, dan dokumen resmi lainnya, sehingga metode ini sangat sesuai diterapkan pada penelitian berbasis dokumen kapal seperti Engine Log Book dan ORB.

a. Engine Log Book

Engine Log Book merupakan dokumen resmi kapal yang mencatat seluruh kegiatan operasional permesinan kapal secara harian.

Data yang diekstrak dari Engine Log Book meliputi: tanggal dan periode operasi, jenis sistem blow yang digunakan (manual/otomatis), frekuensi blow per hari, interval blow (jam), dan jam operasi purifier per voyage. Rachmaniar dan Haryono (2022) menyatakan bahwa Engine Log Book merupakan sumber data primer operasional permesinan kapal yang memiliki akurasi dan keabsahan hukum yang diakui secara internasional. Nguyen et al. (2021) turut menegaskan bahwa data operasional dari Engine Log Book merupakan sumber empiris yang valid untuk mengukur performa operasional mesin kapal secara kuantitatif, karena setiap entri data dicatat oleh engineer jaga yang bertanggung jawab langsung atas kondisi permesinan selama periode tugasnya.

b. Oil Record Book (ORB)

Oil Record Book (ORB) adalah dokumen resmi yang diwajibkan oleh MARPOL Annex I untuk mencatat setiap kegiatan yang berkaitan dengan penanganan minyak dan sludge di atas kapal. Data yang diekstrak dari ORB meliputi: volume sludge yang dihasilkan per periode, level pengisian sludge tank (%), metode disposal sludge (discharge ke darat atau insinerasi onboard), volume disposal (liter) dan frekuensi disposal per bulan. Hussain et al. (2023) menegaskan bahwa dokumen ORB merupakan instrumen pencatatan utama yang digunakan sebagai basis verifikasi kepatuhan kapal terhadap MARPOL Annex I dan memiliki kekuatan hukum yang diakui oleh Port State Control internasional. Hal ini diperkuat oleh IMO (2021) yang menyatakan

bahwa setiap kapal yang beroperasi wajib menyimpan dan memperbarui ORB sebagai bentuk akuntabilitas pengelolaan limbah minyak sesuai ketentuan regulasi internasional, sehingga data yang tercatat di dalamnya bersifat otentik dan dapat dijadikan acuan ilmiah dalam penelitian kepatuhan operasional kapal.

2. Data Sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh melalui wawancara tidak terstruktur dengan Masinis 3 Kapal SLM Marsha. Sugiyono (2022) menjelaskan bahwa data sekunder merupakan data yang tidak langsung memberikan data kepada pengumpul data, melainkan diperoleh melalui orang lain atau dokumen yang telah ada. Senada dengan itu, Sekaran dan Bougie (2016) menambahkan bahwa data sekunder yang bersumber dari wawancara dengan narasumber ahli memiliki nilai strategis dalam penelitian kuantitatif, karena mampu memberikan konteks dan penjelasan mendalam atas fenomena yang tidak tergambar secara eksplisit dalam data numerik. Data ini dikategorikan sebagai data sekunder karena diperoleh melalui keterangan narasumber yang memiliki kompetensi teknis di bidangnya, bukan merupakan pencatatan langsung dari aktivitas operasional yang dilakukan oleh peneliti sendiri. Meskipun bersifat sekunder, data yang diperoleh dari wawancara dengan masinis kapal memiliki nilai informasi yang tinggi karena narasumber merupakan pihak yang paling memahami kondisi teknis permesinan dan mekanisme gangguan sistem purifier secara langsung di lapangan. Indriantoro dan Supomo (2018) menyatakan bahwa data sekunder yang diperoleh dari

narasumber berpengalaman dapat digunakan sebagai pelengkap yang memperkuat interpretasi atas data primer, terutama dalam situasi di mana terdapat informasi teknis yang tidak dapat ditangkap hanya melalui pencatatan dokumen semata. Teknik wawancara tidak terstruktur dipilih karena informasi yang dibutuhkan bersifat teknis dan situasional, sehingga memerlukan penggalan yang fleksibel dan mendalam sesuai kondisi yang terjadi di lapangan. Hasil wawancara digunakan sebagai data pendukung (triangulasi) untuk memperkuat dan melengkapi analisis data primer dari Engine Log Book dan ORB.

a. Wawancara Tidak Terstruktur

Wawancara tidak terstruktur dilakukan dengan Masinis 3 Kapal SLM Marsha melalui media WhatsApp pada tanggal 8 November 2024 untuk menggali informasi teknis yang tidak tercatat secara eksplisit dalam dokumen resmi. Sugiyono (2022) mendefinisikan wawancara tidak terstruktur sebagai wawancara yang bebas di mana peneliti tidak menggunakan pedoman wawancara yang telah tersusun secara sistematis, melainkan hanya menggunakan garis-garis besar permasalahan yang akan ditanyakan. Moleong (2017) menambahkan bahwa wawancara tidak terstruktur sangat tepat digunakan untuk menggali informasi yang bersifat teknis dan situasional, karena memberikan keleluasaan bagi narasumber untuk menjelaskan pengalamannya secara mendalam tanpa dibatasi oleh pertanyaan yang kaku. Informasi yang diperoleh dari wawancara meliputi: mekanisme kerja sistem PLC purifier dalam mendeteksi keberhasilan proses blow,

akar penyebab munculnya alarm "No Sludge Discharge" dan ketidaktepatan parameter Pressure Protection Delay, kondisi kerusakan seal/O-ring bowl sliding piston dan prosedur perbaikannya; serta, prosedur disposal sludge ke port reception facility sesuai arahan KKM dan koordinasi kantor perusahaan. Data wawancara digunakan sebagai data pendukung (triangulasi) untuk memperkuat analisis data primer dari dokumen resmi kapal, sehingga triangulasi antara dokumen resmi dan keterangan narasumber yang berkompeten menghasilkan analisis yang lebih komprehensif dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

D. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan statistik deskriptif komparatif dan analisis normatif kuantitatif. Pendekatan ini dipilih karena sesuai dengan karakteristik data yang bersumber dari dokumen resmi kapal dengan jumlah observasi yang terbatas namun memiliki kedalaman informasi operasional yang tinggi. Sugiyono (2022) menyatakan bahwa statistik deskriptif digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum. Seluruh analisis data dilakukan menggunakan Microsoft Excel dan IBM SPSS Statistics 26.

1. Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik data operasional dari Engine Log Book dan ORB. Analisis ini mencakup

perhitungan nilai rata-rata (mean), nilai minimum, nilai maksimum, dan total akumulasi dari masing-masing indikator variabel Y1 dan Y2. Penyajian data dilakukan dalam bentuk tabel perbandingan dan grafik batang untuk memudahkan visualisasi perbedaan antara periode blow manual dan blow otomatis. Ghozali (2021) menyatakan bahwa statistik deskriptif memberikan gambaran atau deskripsi suatu data yang dilihat dari nilai rata-rata, standar deviasi, varian, maksimum, minimum, sum, range, kurtosis, dan skewness.

2. Uji Normalitas Shapiro-Wilk

Sebelum melakukan uji beda, terlebih dahulu dilakukan uji normalitas untuk menentukan apakah data berdistribusi normal. Uji Shapiro-Wilk dipilih karena ukuran sampel pada masing-masing kelompok kurang dari 30 ($n < 30$), sesuai dengan rekomendasi Ghozali (2021). Kriteria pengambilan keputusan: jika nilai Sig. (p-value) $> 0,05$, maka data berdistribusi normal; sebaliknya jika Sig. $\leq 0,05$, maka data tidak berdistribusi normal dan uji parametrik tidak dapat digunakan.

3. Uji Mann-Whitney U (Non-Parametrik)

Berdasarkan hasil uji normalitas yang menunjukkan bahwa kelompok sistem blow otomatis tidak berdistribusi normal (Sig. $< 0,05$), maka uji beda yang digunakan adalah Uji Mann-Whitney U sebagai alternatif nonparametrik dari Independent Sample T-Test. Uji ini membandingkan peringkat (rank) data antara dua kelompok independen (otomatis vs. manual) untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik. Kriteria pengambilan keputusan: jika Asymp. Sig. (2-tailed) $<$

0,05, maka H_0 ditolak, artinya terdapat perbedaan signifikan antara kedua kelompok.

4. Analisis Komparatif Deskriptif

Analisis komparatif deskriptif digunakan untuk menjawab rumusan masalah pertama dan kedua dengan membandingkan nilai rata-rata setiap indikator antara periode blow manual dan blow otomatis. Perhitungan persentase perubahan dilakukan menggunakan formula:

$$\text{Persentase Perubahan} = ((\text{Nilai Otomatis} - \text{Nilai Manual}) / \text{Nilai Manual}) \times 100\%$$

Rachmaniar dan Haryono (2022) menyatakan bahwa analisis komparatif berbasis persentase perubahan merupakan metode yang efektif untuk mengevaluasi dampak perubahan sistem operasional terhadap efisiensi permesinan kapal.

5. Analisis Kepatuhan MARPOL (Analisis Normatif Kuantitatif)

Sebagai analisis untuk menjawab rumusan masalah ketiga, dilakukan analisis kepatuhan normatif kuantitatif terhadap MARPOL Annex I Regulation 12. Kapasitas minimum sludge tank dihitung berdasarkan formula IMO (2021). Hasil perhitungan dibandingkan dengan kapasitas aktual sludge tank dan laju akumulasi sludge aktual dari kedua sistem blow, guna menilai potensi overflow dan risiko ketidakpatuhan regulasi. Hussain et al. (2023) menyatakan bahwa analisis kepatuhan kuantitatif berbasis perhitungan MARPOL Regulation 12 merupakan pendekatan yang dapat secara objektif menilai risiko pelanggaran regulasi internasional di kapal.

Kriteria penilaian kepatuhan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- i. Aman: Volume akumulasi sludge $< 80\%$ kapasitas sludge tank
- ii. Mendekati batas: Volume akumulasi sludge antara 80% – 100% kapasitas sludge tank
- iii. Risiko overflow: Volume akumulasi sludge $> 100\%$ kapasitas sludge tank (potensi pelanggaran MARPOL).