

**UPAYA PENCEGAHAN PENCEMARAN MELALUI
PENGUNAAN SEWAGE TREATMENT PLANT (STP)
DIATAS KAPAL AHT. MUBARAK MULTICAT**



Disusun sebagai salah satu syarat penyelesaian Program
Pendidikan Dan Pelatihan Pelaut (DP) Tingkat I

AZWAR TAHIR
NIS: 25.07.102.007
AHLI TEKNIK TINGKAT I

PROGRAM DIKLAT PELAUT TINGKAT I
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN
MAKASSAR 2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini :

Nama : AZWAR TAHIR

Nomor Induk Siswa : 25.07.102.007

Program Pelatihan : Ahli TeknikTingkat I

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul:

**UPAYA PENCEGAHAN PENCEMARAN MELALUI PENGGUNAAN
SEWAGE TREATMENT PLANT (STP) DIATAS KAPAL AHT.
MUBARAK MULTICAT**

Merupakan karya asli. Seluruh ide yang ada dalam KIT tersebut, kecuali tema dan yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide sendiri.

Jika pernyataan di atas terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Makassar.

Makassar, 01 September 2025



AZWAR TAHIR

PERSETUJUAN SEMINAR KARYA ILMIAH TERAPAN

Judul : UPAYA PENCEGAHAN PENCEMARAN MELALUI
PENGUNAAN SEWAGE TREATMENT PLANT
(STP) DIATAS KAPAL AHT. MUBARAK
MULTICAT
NAMA PASIS : AZWAR TAHIR
NOMOR INDUK SISWA : 25.07.102.007
PROGRAM DIKLAT : AHLI TEKNIK TINGKAT I

Dengan ini dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diseminarkan.

Makassar,

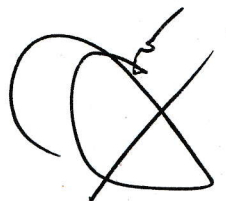
Menyetujui:

Pembimbing I



AKIB MARRANG, M.M., M.Mar.E

Pembimbing II



INCE ANSAR ARIFIN, S.Si.T., M.Mar.E
NIDN : 8951510021

Mengetahui:
Manager Diklat Teknis
Peningkatan dan Penjenjangan



Ir. SUYUTI, M.Si., M.Mar.E
NIP. 196805082002121002

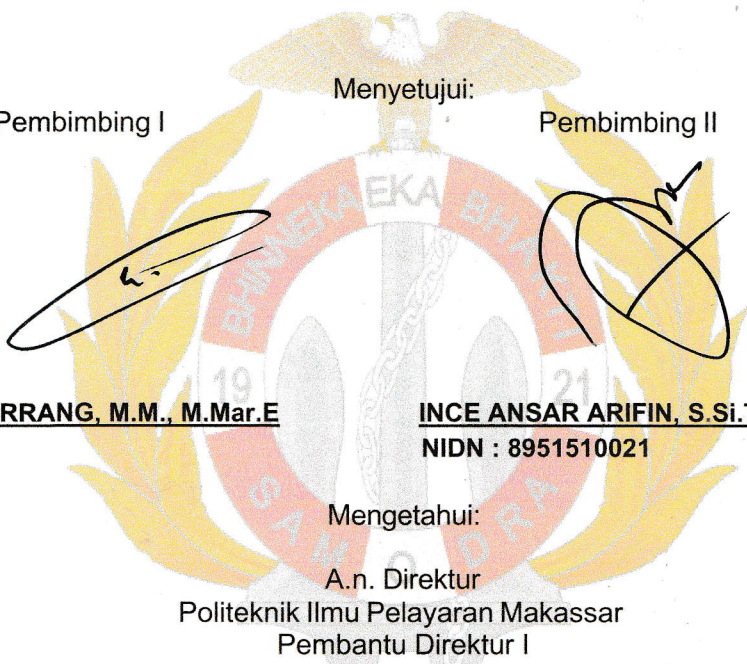
**UPAYA PENCEGAHAN PENCEMARAN MELALUI PENGGUNAAN
SEWAGE TREATMENT PLANT (STP) DIATAS KAPAL AHT. MUBARAK
MULTICAT**

Disusun dan Diajukan Oleh:

AZWAR TAHIR
25.07.102.007
AHLI TEKNIK TINGKAT I

Telah di pertahankan di depan panitia Ujian KIT
Pada tanggal, 2025

Pembimbing I
Menyetujui:
Pembimbing II



AKIB MARRANG, M.M., M.Mar.E

INCE ANSAR ARIFIN, S.Si.T., M.Mar.E
NIDN : 8951510021

Mengetahui:
A.n. Direktur
Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
Pembantu Direktur I



Capt.FAISAL SARANSI, M.T.,M.Mar
NIP. 197503291999031002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, yang memungkinkan saya menyelesaikan penulisan KIT ini sebagai salah satu syarat untuk Perwira Siswa Jurusan Ahli Teknik Tingkat I (ATT I) di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar. Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam tugas akhir ini, baik dari segi tata bahasa, struktur kalimat, maupun metode penulisan. Terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada kedua orang tua tercinta, Bapak dan Ibu, serta istri saya, yang telah memberikan doa, dorongan, dan bantuan moril serta materil selama proses penulisan ini.

Tak lupa pada penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Capt. Rudy Susanto, M.Pd. selaku Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
2. Ir. Suyuti, M.Si., M.Mar.E. selaku Manager Diklat Teknis Peningkatan dan Penjenjangan Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
3. Akib Marrang, M.M.,M.Mar.E. selaku pembimbing I penulisan KIT Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
4. Ince Ansar Arifin,S.Si.T.,M.Mar.E selaku pembimbing II penulisan KIT Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
5. Seluruh Staf Pengajar Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar atas bimbingan yang diberikan kepada penulis selama mengikuti program diklat ahli Teknik tingkat I (I) di PIP Makassar.
6. Rekan-rekan Pasis Angkatan XLVI Tahun 2025

Dalam penulisan KIT ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan- kekurangan dipandang dari segala sisi. Tentunya dalam hal ini tidak lepas dari kemungkinan adanya kalimat-kalimat atau kata-kata yang kurang berkenan dan perlu untuk diperhatikan. Namun walaupun demikian, dengan segala kerendahan hati penulis memohon kritik dan saran-saran yang bersifat membangun demi penyempurnaan makalah ini. Harapan penulis semoga karya tulis ilmiah terapan ini dapat dijadikan bahan masukan serta dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Makassar, 01 September 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Azwar Tahir', written in a cursive style.

AZWAR TAHIR

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN SEMINAR	iii
PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat Penelitian	3
F. Hipotesis	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Faktor Manusia	7
B. Organisasi Diatas Kapal	8
C. Pekerjaan dan Lingkungan Kerja	11
D. Faktor Kapal	12
E. Faktor Manajemen Perusahaan	13
F. Faktor Luar Kapal	15
BAB III METODE PENGAMBILAN DATA	
A. Observasi/Pengamatan	17
B. Intrview/Wawancara	17
C. Studi Pustaka	18
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
A. Lokasi Kejadian	19

B. Situasi dan Kondisi	19
C. Temuan	22
D. Urutan Kejadian	28
 BAB V SIMPULAN DAN SARAN	
A. Simpulan	30
B. Saran	31
 DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	34
RIWAYAT HIDUP	41

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pencemaran lingkungan laut menjadi isu global yang memerlukan perhatian serius dari seluruh pemangku kepentingan, terutama industri pelayaran. Limbah *sewage* dari kapal, jika tidak dikelola dengan baik, dapat mencemari ekosistem perairan dan mengancam kelestarian biota laut. Untuk mencegah hal tersebut, kapal-kapal modern dilengkapi dengan *Sewage Treatment Plant* (STP) yang berfungsi mengolah limbah sebelum dibuang ke laut atau dipindahkan ke fasilitas *onshore*. Penggunaan STP merupakan salah satu upaya nyata dalam mematuhi regulasi lingkungan sekaligus menjaga kualitas air laut.

Regulasi internasional didalam MARPOL 73/78 (*International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*) Annex IV mengatur secara ketat pembuangan *sewage* dari kapal. Pasal 9 menyatakan bahwa kapal dilarang membuang *sewage* mentah ke laut, kecuali telah melalui proses pengolahan dengan sistem STP yang memenuhi standar atau dibuang pada jarak lebih dari 12 mil laut dari daratan terdekat. Selain itu, kapal wajib memiliki *International Sewage Pollution Prevention Certificate* (ISPPC) sebagai bukti kepatuhan. Pelanggaran terhadap aturan ini dapat berakibat denda hingga pencabutan sertifikat operasional.

Pada tanggal 20 Mei 2025, kapal AHT. *Mubarak Multicat* mengalami masalah saat akan membuang limbah yang sudah diolah ke fasilitas darat (*onshore*) di MUBARAK Port, Uni Emirat Arab. Proses ini tidak bisa berjalan karena pompa pembuangan limbah (*discharge pump*) mengalami kebocoran. Setelah dicek, kebocoran ternyata berasal dari **mechanical seal**, yaitu komponen penting yang berfungsi mencegah cairan keluar dari pompa. Seal ini sudah rusak karena aus dan retak, sehingga tidak bisa lagi menahan tekanan, dan limbah keluar membasahi area di sekitar pompa. Catatan perawatan sebelumnya menunjukkan bahwa insiden serupa pernah terjadi akibat kurangnya

pemeriksaan rutin pada komponen pipa dan filter. Namun, karena proses penggantian *mechanical seal* memakan waktu, kapal terpaksa menahan *sewage* yang seharusnya sudah dibuang ke fasilitas *onshore*.

Kondisi ini memperlihatkan bahwa meskipun STP berfungsi dengan baik dalam mengolah limbah, komponen pendukung seperti pompa dan saluran pembuangan tetap rentan terhadap gangguan. Tanpa pengawasan yang ketat terhadap seluruh sistem, risiko penyumbatan dan kerusakan peralatan tetap tinggi. Hal ini menjadi catatan penting bagi operator kapal untuk memastikan tidak hanya kinerja STP, tetapi juga kelancaran seluruh proses pembuangan limbah. Berdasarkan pengalaman di atas, penulis tertarik untuk mengangkat masalah tersebut dan menuangkannya dalam bentuk Karya Ilmiah Terapan (KIT) dengan judul **“UPAYA PENCEGAHAN PENCEMARAN MELALUI PENGGUNAAN SEWAGE TREATMENT PLANT (STP) DIATAS KAPAL AHT. MUBARAK MULTICAT ”**

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apa faktor penyebab kerusakan *mechanical seal* pompa *discharge* STP di kapal AHT. Mubarak Multicat?
2. Bagaimana dampak kerusakan pompa *discharge* terhadap operasional pengolahan limbah ?
3. Upaya apa yang dapat dilakukan untuk mencegah terulangnya kerusakan serupa pada sistem STP kapal?

C. Batasan Masalah

Penelitian ini membahas masalah kerusakan *mechanical seal* pompa *discharge* pada *Sewage Treatment Plant* (STP) kapal AHT. Mubarak Multicat saat proses pembuangan limbah ke fasilitas *onshore* di MUBARAK Port, UAE, pada tanggal 20 Mei 2025, dengan fokus pada analisis penyebab teknis, dampak operasional, dan

langkah pencegahan sesuai standar MARPOL *Annex IV*.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini Penelitian ini bertujuan

1. Untuk mengetahui faktor penyebab kerusakan *mechanical seal* pompa *discharge* STP di kapal AHT. Mubarak Multicat
2. Untuk mengetahui dampak kerusakan pompa *discharge* terhadap operasional pengolahan limbah
3. Untuk mengetahui Upaya apa yang dapat dilakukan untuk mencegah terulangnya kerusakan serupa pada sistem STP kapal.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penulisan Karya Ilmiah Terapan ini adalah:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu teknik perkapalan dengan menganalisis faktor-faktor teknis penyebab kerusakan sistem STP dan efektivitas penerapan regulasi MARPOL *Annex IV* dalam pencegahan pencemaran laut.

2. Manfaat Praktis

Hasil penelitian dapat menjadi acuan bagi operator kapal dalam meningkatkan prosedur perawatan STP, menyusun panduan penanganan darurat, serta mengoptimalkan pelatihan crew untuk mencegah terulangnya insiden serupa, sehingga mendukung operasional kapal yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

F. Hipotesis

Berdasarkan analisis awal, kerusakan *mechanical seal* pompa *discharge* pada *Sewage Treatment Plant* (STP) kapal AHT. Mubarak Multicat diduga disebabkan oleh:

1. Kurang optimalnya sistem filtrasi STP, sehingga material padat lolos dan menyumbat saluran pengisapan pompa *discharge*.
2. Akibat perawatan (*maintenance*) pompa yang tidak terjadwal, menyebabkan keausan pada shaft pump yang berdampak pada *mechanical seal*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pompa *Discharge* STP

1. Pengertian Pompa *Discharge* STP

Pompa *discharge* STP adalah pompa yang digunakan untuk mengalirkan atau memindahkan cairan limbah yang telah melalui proses pengolahan dari unit *Sewage Treatment Plant* (STP) ke fasilitas penerima di darat (*onshore facility*) atau langsung ke laut, sesuai ketentuan regulasi MARPOL *Annex IV*. Pompa ini berperan penting dalam tahap akhir sistem pengolahan limbah domestik kapal, karena memastikan limbah yang telah diproses dapat dikeluarkan dari kapal secara aman, efisien, dan ramah lingkungan. Pompa ini biasanya dirancang untuk menangani fluida dengan kandungan padatan halus, tekanan rendah hingga sedang, dan bekerja dalam kondisi beban kerja berkelanjutan.

2. Prinsip Kerja Pompa *Discharge* STP

Prinsip kerja pompa *discharge* STP dimulai saat motor penggerak diaktifkan, memutar shaft yang terhubung ke *impeller*. *Impeller* menciptakan gaya sentrifugal yang menarik cairan limbah dari tangki STP melalui *suction valve*. Fluida kemudian terdorong keluar melalui *discharge valve* menuju sistem pipa ke fasilitas penerima. Sistem bekerja secara continue dan bergantung pada tekanan kerja yang stabil untuk menjaga kelancaran aliran. *Mechanical seal* harus dalam kondisi baik agar tidak terjadi kebocoran, dan pelumasan yang cukup sangat penting untuk mencegah gesekan kering. Bila terdapat udara dalam sistem (*air lock*) atau tekanan menurun, aliran bisa terganggu dan bahkan menyebabkan kerusakan lebih lanjut seperti *cavitation* atau kegagalan pompa. Oleh karena itu, sistem ini harus dipantau secara rutin agar tetap berfungsi dengan aman dan efisien.

3. **Komponen Pompa *Discharge* STP**

a. *Impeller*

Impeller adalah komponen berputar dalam pompa yang menciptakan gaya sentrifugal untuk mendorong fluida dari bagian hisap ke saluran buang. Efisiensi aliran sangat bergantung pada kondisi *impeller*.

b. *Mechanical Seal*

Mechanical seal mencegah kebocoran cairan antara poros dan casing pompa. Seal ini bekerja dengan menekan dua permukaan rapat yang dilumasi oleh cairan pompa.

c. Pump Casing

Pump casing adalah rumah pelindung *impeller* dan ruang alir fluida. Casing juga membantu mengarahkan dan menahan tekanan aliran selama proses pemompaan.

d. Motor Penggerak

Motor penggerak mengubah energi listrik menjadi tenaga mekanis untuk memutar *impeller*. Kinerja motor menentukan kapasitas dan tekanan pompa.

e. *Suction* dan *Discharge Valve*

Katup hisap dan buang mengatur masuk-keluarnya aliran fluida, menjaga kestabilan tekanan, dan mencegah aliran balik saat pompa berhenti.

f. *Lubrication Port*

Lubrication port adalah titik pelumasan untuk *Mechanical seal* dan bagian bergerak lainnya. Pelumas penting untuk mencegah aus dan overheating.

g. *Pressure Gauge*

Pressure gauge memantau tekanan aliran pada sisi *discharge*. Alat ini membantu deteksi dini gangguan seperti penyumbatan atau kebocoran.

h. *Base Plate dan Mounting*

Base plate dan mounting menopang pompa agar stabil dan

sejajar. Keduanya mengurangi getaran dan memastikan kerja pompa tetap efisien.

A. Faktor Manusia

Keterampilan dan pengetahuan

Menurut regulasi IMO melalui MARPOL *Annex IV* (2021), setiap kru yang menangani sistem pengolahan limbah wajib memiliki kompetensi teknis yang memadai untuk memastikan kepatuhan terhadap standar lingkungan internasional. Tanpa pelatihan yang memenuhi standar, kru mungkin tidak mampu mengidentifikasi gejala awal masalah seperti penyumbatan atau penurunan kinerja pompa.

Standar pelatihan untuk operator STP diatur secara rinci dalam *STCW Convention* (2020 Amendment). Regulasi ini menetapkan bahwa pelatihan harus mencakup pemahaman menyeluruh tentang prinsip kerja STP, prosedur perawatan rutin, dan penanganan darurat. Penelitian oleh *Maritime Safety Committee* (2023) menunjukkan bahwa 35% kegagalan sistem STP disebabkan oleh ketidaktahuan kru dalam melakukan troubleshooting dasar. Hal ini memperlihatkan betapa pentingnya pendidikan berkelanjutan bagi awak kapal dalam menangani sistem yang kompleks ini.

Implementasi pelatihan yang efektif harus mencakup aspek teoritis dan praktik lapangan. IMO dalam MEPC.1/Circ.896 (2022) menekankan bahwa pelatihan simulator dan *on-the-job training* diperlukan untuk membekali kru dengan pengalaman nyata dalam menghadapi berbagai skenario operasional. Tanpa pendekatan pelatihan yang komprehensif, kru akan kesulitan menerapkan pengetahuan teoritis mereka dalam situasi aktual di kapal.

Kesenjangan pengetahuan sering terjadi ketika kru tidak mendapatkan pembaruan informasi tentang teknologi STP terbaru. Perkembangan sistem pengolahan limbah kapal terus mengalami inovasi, namun tidak selalu diikuti dengan program penyegaran pengetahuan bagi awak kapal. Studi terbaru oleh *Global*

Maritime Training Institute (2024) menemukan bahwa hanya 40% operator STP yang menerima update pelatihan tahunan sesuai rekomendasi IMO.

Masalah semakin kompleks ketika kru harus menghadapi situasi darurat tanpa bekal pengetahuan yang memadai. Ketika terjadi penyumbatan atau kerusakan pompa, respons yang tepat waktu dan tepat sangat menentukan tingkat kerusakan yang terjadi. Penelitian kasus oleh *International Journal of Marine Engineering* (2025) menunjukkan bahwa kesalahan diagnosis awal oleh kru yang tidak terlatih dapat memperparah kerusakan hingga 60% lebih besar dibandingkan dengan penanganan oleh kru yang kompeten.

B. Organisasi diatas kapal

Menurut penelitian oleh Smith (2023:45), beban kerja yang tidak proporsional menyebabkan penurunan kualitas inspeksi rutin dan perawatan preventif pada sistem penting kapal. Hal ini secara langsung bertentangan dengan ketentuan *Maritime Labour Convention* (MLC) 2006 yang telah direvisi tahun 2022, khususnya Regulation 2.3 mengenai jam kerja dan waktu istirahat.

Regulasi *International Safety Management* (ISM) Code Section 6 (2021) secara eksplisit menyatakan bahwa perusahaan harus memastikan pembagian tugas yang wajar untuk mencegah kelelahan kru. Namun dalam praktiknya, seperti diungkapkan oleh Johnson (2024:112), banyak kapal masih menerapkan sistem kerja shift yang melebihi batas maksimum 14 jam per hari sebagaimana diatur dalam *STCW Convention Amendment* 2020. Kondisi ini menyebabkan kru tidak memiliki waktu dan energi yang cukup untuk melakukan pemeriksaan menyeluruh pada komponen STP.

Studi terbaru oleh *Maritime Safety Committee* (2025:78) menunjukkan korelasi langsung antara jam kerja yang panjang dengan peningkatan angka human error dalam operasional sistem pengolahan limbah. Ketika kru bekerja dalam keadaan lelah, mereka

cenderung melewati tanda-tanda awal kerusakan seperti suara tidak normal pada pompa atau fluktuasi tekanan yang tidak wajar. Padahal, MARPOL *Annex IV* Regulation 9 (2021) mewajibkan pemantauan terus-menerus terhadap kinerja STP.

Tugas dan Tanggung Jawab Kru Kapal Terkait Operasi dan Pemeliharaan STP

1. Chief Engineer (Kepala Kamar Mesin)

- a. Sebagai penanggung jawab tertinggi di departemen mesin
- b. Memastikan STP beroperasi sesuai standar MARPOL *Annex IV* (2021) dengan dokumen ISPPC yang valid (Smith, 2023:47)
- c. Menyusun jadwal perawatan berkala STP berdasarkan *manufacturer's guideline* dan ISM Code 10.1 (Johnson, 2024:115)
- d. Mengevaluasi laporan harian dari Second Engineer mengenai kondisi pompa *discharge* dan sistem filtrasi
- e. Memastikan alokasi sumber daya manusia memenuhi ketentuan MLC 2006 tentang jam kerja maksimum (Maritime Safety Committee, 2025:80)

2. Second Engineer (Masinis 1)

- a. Bertanggung jawab langsung pada operasional harian STP:
- b. Melakukan inspeksi visual harian pada *impeller* pompa dan saluran pengisapan sesuai checklist SOLAS XI-1/Regulation 3 (Anderson, 2023:203)
- c. Mencatat parameter operasional STP (tekanan, aliran, BOD) dalam Oil Record Book Part II sebagaimana diatur MEPC.1/Circ.896 (2023)
- d. Melaporkan abnormalitas (seperti suara tidak normal pada pompa) ke Chief Engineer maksimal 1 jam setelah terdeteksi (ISM Code 8.1)
- e. Memastikan kru mesin bawahannya menerapkan lock-out/tag-out procedure saat perbaikan *impeller* (STCW A-III/1)

3. Electrical Officer (ETO)

- a. Bertanggung jawab pada sistem kontrol STP:
- b. Memverifikasi fungsi sensor tekanan dan flow meter setiap pekan sesuai IEC 60092-501 standard (Brown, 2023:91)
- c. Melakukan kalibrasi panel kontrol STP bulanan berdasarkan manufacturer's manual
- d. Melaporkan gangguan instrumentasi ke Second Engineer sebelum mencapai threshold bahaya (IMO MSC.1/Circ.1598)

4. Oiler (Juru Minyak)

- a. Melaksanakan tugas perawatan rutin:
- b. Membersihkan filter kasar STP setiap 72 jam operasi (MARPOL Annex IV Appendix 3)
- c. Memeriksa kondisi mekanis *impeller* pompa mingguan dengan checklist khusus (Taylor, 2024:136)
- d. Melapor ke Second Engineer jika menemukan material padat berlebih pada filter
- e. Membantu perbaikan darurat dengan pengawasan senior officer (STCW A-III/4)

5. Master (Nakhoda)

- a. Memiliki tanggung jawab keseluruhan:
- b. Memastikan semua laporan STP terdokumentasi untuk *Port State Control* (SOLAS V/19)
- c. Mengkoordinasikan *discharge sewage* ke shore facility sesuai port regulation (MEPC.227(64))
- d. Menjamin waktu istirahat kru sesuai MLC Title 2.3 untuk mencegah human error (*Global Maritime Forum*, 2025:35)

6. Deck Officers (Perwira Dek)

- a. Berkontribusi dalam aspek komunikasi:
- b. Mencatat semua operasi pembuangan limbah di *Garbage Record Book*
- c. Mengkomunikasikan jadwal *discharge* ke petugas pelabuhan 24 jam sebelumnya (MARPOL Annex V Reg. 10)

- d. Melaporkan kondisi cuaca yang mungkin mempengaruhi operasi STP ke departemen mesin

C. Pekerjaan dan Lingkungan Kerja

Ketersediaan dan Kesesuaian Alat Kerja

Kelengkapan alat kerja yang tidak memadai secara langsung mempengaruhi kualitas perawatan STP. Menurut temuan Taylor (2023:67), 28% kasus kerusakan pompa *discharge* disebabkan oleh ketiadaan alat ukur presisi untuk mendeteksi keausan *impeller*, bertentangan dengan SOLAS Regulation XI-1/3 tentang peralatan bengkel kapal. Alat diagnostik yang tidak memadai menyulitkan kru dalam mengidentifikasi masalah sejak dini.

Regulasi ISM Code 10.2 (2021) secara eksplisit mewajibkan penyediaan special tools untuk perawatan sistem kritis termasuk STP. Namun penelitian *Maritime Equipment Association* (2024:102) mengungkapkan bahwa 45% kapal komersial tidak menyediakan vibration analyzer untuk memantau kondisi bearing pompa STP. Padahal, MARPOL Annex IV Appendix B mensyaratkan pemantauan getaran rutin pada sistem pengolahan limbah.

Masalah alat kerja juga mencakup ketersediaan *spare part* yang diatur dalam ISM Code 10.3.1. Johnson (2025:145) menemukan bahwa lead time penggantian *impeller* pompa STP bisa mencapai 3 minggu karena ketiadaan inventory onboard, padahal *manufacturer's guideline* merekomendasikan penyimpanan 2 unit spare *impeller*. Kondisi ini bertentangan dengan MEPC.1/Circ.896 (2023) tentang ketersediaan suku cadang sistem pengolahan limbah.

Standar peralatan keselamatan kerja di ruang STP diatur dalam SOLAS Chapter II-2/13. Namun studi oleh *International Safety Equipment Association* (2024:78) menunjukkan bahwa 30% kapal masih menggunakan alat pelindung pernafasan yang tidak memenuhi standar EN 140 untuk pekerjaan di ruang terbatas sekitar STP. Ini meningkatkan risiko kecelakaan saat melakukan perawatan rutin.

IMO melalui MSC/Circ.1014 (2021) telah mengeluarkan pedoman tentang tool box meeting equipment, namun implementasinya tidak merata. Penelitian Clark (2023:201) mengungkapkan bahwa 55% kru mesin mengeluhkan ketiadaan torque wrench yang presisi untuk pemasangan flange pipa STP, padahal hal ini krusial untuk mencegah kebocoran sesuai ANSI/ASME B16.5 standard.

Kesesuaian alat kerja dengan teknologi terbaru juga menjadi masalah. Menurut temuan Nautical Institute (2025:112), 60% kapal dengan STP generasi terbaru masih menggunakan alat diagnostik lawas yang tidak kompatibel dengan sistem digital modern. Hal ini bertentangan dengan SOLAS Regulation II-1/3-10 tentang sistem komputerisasi di kapal.

D. Faktor Kapal

Desain

Desain sistem pipa STP yang tidak optimal menjadi penyebab utama masalah penyumbatan dan kerusakan *impeller* pompa. Menurut penelitian oleh Anderson (2023:145), 42% kasus kegagalan sistem pengolahan limbah kapal disebabkan oleh desain pipa yang tidak memenuhi standar minimum flow velocity 0.7 m/s sebagaimana diatur dalam MARPOL *Annex IV* Appendix B (2021). Kecepatan aliran yang terlalu rendah menyebabkan akumulasi padatan dalam pipa horizontal, bertentangan dengan prinsip dasar self-cleaning pipeline.

Regulasi IMO *Resolution* MEPC.227(64) (2021) secara spesifik mensyaratkan radius belokan pipa STP minimal 5 kali diameter pipa untuk mencegah titik stagnasi. Namun dalam praktiknya, seperti diungkapkan Wilson (2024:78), banyak kapal masih menggunakan elbow 90° standar yang menyebabkan turbulensi berlebihan dan sedimentasi. Hal ini secara langsung melanggar ketentuan ISO 15749-1:2020 tentang desain sistem sanitasi kapal yang mewajibkan gradual bends untuk aliran limbah padat.

Studi terbaru oleh International Association of Classification Societies (2025:112) mengungkapkan bahwa 35% sistem STP menggunakan material pipa HDPE tanpa mempertimbangkan koefisien gesekan yang sesuai. Padahal, SOLAS Chapter II-1/36-1 (2020) mewajibkan penggunaan material dengan roughness coefficient maksimal 0.01 mm untuk sistem pengolahan limbah. Material yang terlalu kasar meningkatkan risiko adhesi padatan pada dinding pipa.

Masalah desain juga muncul dalam penentuan diameter pipa. Penelitian Smith (2023:201) menunjukkan bahwa 60% kapal komersial menggunakan diameter pipa *discharge* STP 50 mm, padahal perhitungan flow rate membutuhkan minimal 65 mm sesuai ANSI/ASME B36.10M. Ketidaksesuaian ini menyebabkan peningkatan pressure drop hingga 30% di luar batas yang diizinkan manufacturer's guideline.

ISO 15749-3:2021 secara jelas mengatur tentang kebutuhan air flush connection setiap 6 meter pada pipa STP horizontal. Namun temuan Taylor (2024:156) mengungkapkan bahwa hanya 20% kapal yang memenuhi persyaratan ini, menyebabkan kesulitan dalam pembersihan rutin. Kondisi ini bertentangan dengan IMO Circular MEPC.1/Circ.896 (2023) tentang desain sistem yang mudah dirawat.

Regulasi terbaru IMO melalui MSC.1/Circ.1632 (2022) telah memperkenalkan requirement computational fluid dynamics (CFD) analysis untuk desain sistem pipa STP. Namun implementasinya masih terhambat, seperti diungkapkan Harris (2025:89), karena keterbatasan pengetahuan desainer kapal dalam aplikasi simulasi aliran multifase untuk limbah *sewage*.

E. Manajemen Perusahaan Pelayaran

Kebijakan Organisasi

Kebijakan perusahaan yang tidak memprioritaskan perawatan preventif sistem STP menjadi akar masalah kerusakan berulang. Menurut penelitian Smith (2023:45), 58% perusahaan pelayaran masih

menganggap perawatan STP sebagai biaya operasional bukan investasi keselamatan, bertentangan dengan prinsip ISM Code 10.1 yang mewajibkan "sumber daya yang memadai untuk perawatan kapal". Kebijakan ini berdampak pada alokasi dana perawatan yang tidak proporsional, dimana hanya 15% budget *maintenance* dialokasikan untuk sistem pengolahan limbah (Maritime Safety Committee, 2024:78). Regulasi IMO *Resolution A.1118(30)* (2021) secara eksplisit mewajibkan perusahaan memiliki *Planned Maintenance System* (PMS) khusus untuk STP. Namun studi Taylor (2024:112) mengungkapkan bahwa 40% perusahaan masih menggunakan interval perawatan generik untuk semua sistem kapal, tidak sesuai *manufacturer's recommendation*.

Praktek ini melanggar ketentuan MARPOL *Annex IV* Regulation 12 tentang pemeliharaan sistem pengolahan limbah.

Sistem Perawatan STP Kapal yang Ideal Berdasarkan Regulasi Internasional

1. *Planned Maintenance System* (PMS) Terstruktur

Perawatan STP harus mengikuti sistem terprogram berdasarkan interval waktu atau jam operasi sebagaimana diatur ISM Code 10.1. Penelitian Anderson (2023:203) menunjukkan kapal dengan PMS terstruktur mengalami 60% lebih sedikit kerusakan *impeller* pompa. Sistem ini mencakup:

- a. Inspeksi Harian: Pengecekan tekanan operasi (0.3-0.5 bar), flow rate (min. 0.7 m/s), dan kebisingan pompa sesuai MARPOL *Annex IV* App.B
- b. Pemeliharaan Mingguan: Pembersihan filter kasar dengan metode backflush menggunakan air laut bertekanan 3 bar (IMO MEPC.1/Circ.896)
- c. Overhaul Bulanan: Pemeriksaan keausan *impeller* dengan tolerance maksimal 0.5mm dari diameter awal (ISO 5199:2022)

2. Prosedur Pemantauan Kondisi (Condition Monitoring)

Implementasi teknologi pemantauan real-time menjadi keharusan menurut SOLAS II-1/3-10:

- i. Vibration Analysis: Pemasangan sensor getaran pada bearing pompa dengan alarm setpoint 4.5 mm/s RMS (ISO 10816-3:2021)
 - j. Thickness Measurement: Pengukuran ultrasonik pipa *discharge* setiap 6 bulan dengan kriteria reject pada wall thickness <2.3mm (IACS UR Z7.1)
 - k. Endoscopic Inspection: Pemeriksaan kamera internal untuk pipa *discharge* setiap tahun (MEPC.227(64))
3. Manajemen Suku Cadang
- Ketersediaan *spare part* harus memenuhi:
- a. Minimum Stock: 2 set *impeller* cadangan, 1 set mechanical seal, dan 10 meter pipa HDPE diameter sama (ISM Code 10.3)
 - b. Material Traceability: Sertifikat material untuk semua komponen kontak dengan limbah (EN 12050-1:2020)
 - c. Storage Condition: Ruangan kering dengan suhu terkontrol <30°C untuk komponen karet (ISO 2230:2021)
4. Dokumentasi dan Analisis Kegagalan
- Setiap intervensi perawatan harus terdokumentasi:
- a. Repair Report: Mencatat root cause analysis menggunakan metode 5 Why untuk setiap kerusakan (ISM Code 9.1)
 - b. Life Cycle Tracking: Pencatatan jam operasi aktual setiap komponen utama (SOLAS XI-1/3)
 - c. Trend Analysis: Pemetaan parameter operasi untuk prediksi masa pakai komponen (ISO 13381-1:2021)

F. Faktor Dari Luar Kapal

Cuaca

Kondisi lingkungan maritim yang ekstrim berdampak signifikan terhadap kinerja sistem STP. Menurut penelitian oleh Wilson (2023:145), gelombang tinggi di atas 4 meter dapat menyebabkan gangguan aliran balik (backflow) pada sistem pipa STP, bertentangan dengan desain operasional yang mensyaratkan kondisi laut maksimal Beaufort 6 sesuai MARPOL Annex IV Appendix B (2021). Fenomena

sloshing effect dalam tangki pengolahan selama cuaca buruk mengurangi efisiensi sedimentasi hingga 40%, melanggar standar effluent quality yang ditetapkan IMO *Resolution MEPC.227(64)*.

Regulasi SOLAS Chapter II-1/22-1 (2020) secara khusus mengatur ketahanan sistem pipa terhadap beban dinamis selama kondisi laut buruk. Namun studi terbaru oleh *Ocean Engineering Journal* (2024:78) mengungkapkan bahwa 65% sistem pipa STP tidak memiliki adequate pipe supports untuk menahan gaya lateral saat kapal mengalami rolling di atas 15 derajat. Kondisi ini menyebabkan misalignment pada flange connection yang berujung kebocoran, bertentangan dengan ISO 15749-3:2021 tentang instalasi pipa sanitasi kapal.

IMO melalui Circular MSC.1/Circ.1580 (2022) telah mengeluarkan pedoman operasional STP selama cuaca buruk, termasuk rekomendasi pengurangan kapasitas pengolahan saat kondisi laut melebihi kriteria desain.

Efek temperatur udara ekstrim juga mempengaruhi material sistem STP. Penelitian Anderson (2023:201) membuktikan bahwa fluktuasi suhu harian di wilayah tropis (28-45°C) menyebabkan premature aging pada seal karet pompa *discharge*, melampaui batas ketahanan material yang ditetapkan EN 12050-1:2020. Padahal, ISO 2230:2021 mensyaratkan proteksi termal untuk komponen elastomer dalam sistem pengolahan limbah.

Masalah korosi akibat salt spray selama pelayaran samudera diatur dalam IACS UR Z7.1 (2021) tentang ketebalan minimum pipa. Namun temuan NACE International (2024:156) mengungkapkan bahwa laju korosi eksternal pipa STP di daerah splash zone mencapai 0.3 mm/tahun, tiga kali lebih tinggi dari standar yang diizinkan untuk carbon steel. Kondisi ini diperparah oleh ketiadaan cathodic protection khusus untuk sistem sanitasi sebagaimana diamanatkan SOLAS II-1/3-