

**ANALISIS DAMPAK KONTAMINASI *SEA WATER* DAN
FRESH WATER PADA HT COOLER TERHADAP KINERJA
MESIN INDUK TUG OJAS PRIDE.**



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

SAPRUDDIN

NIS: 25.09.102.028

AHLI TEKNIK TINGKAT I

**PROGRAM DIKLAT PELAUT TINGKAT I
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN MAKASSAR
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini :

Nama : SAPRUDDIN

Nomor Induk Siswa : 25.09.102.028

Program Pelatihan : Ahli TeknikTingkat I

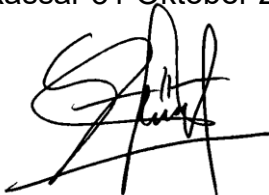
Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul:

ANALISIS DAMPAK KONTAMINASI *SEA WATER* DAN *FRESH WATER* PADA HT COOLER TERHADAP KINERJA MESIN INDUK TUG OJAS PRIDE.

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 31 Oktober 2025



SAPRUDDIN

PERSETUJUAN SEMINAR KARYA ILMIAH TERAPAN

Judul : **ANALISIS DAMPAK KONTAMINASI *SEA WATER* DAN *FRESH WATER* PADA HT COOLER TERHADAP KINERJA MESIN INDUK TUG OJAS PRIDE.**

NAMA PASIS : SAPRUDDIN

NOMOR INDUK SISWA : 25.09.102.028

PROGRAM DIKLAT : AHLI TEKNIK TINGKAT I

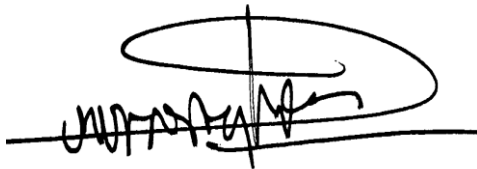
Dengan ini dinyatakan Telah dipertahankan didepan panitia

Makassar, 31 Oktober 2025

Menyetujui:

Pembimbing I

Pembimbing II

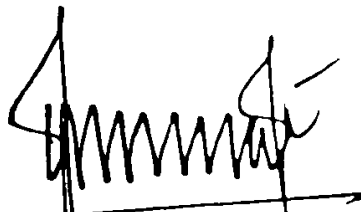


Ir. H. MAHBUB ARFA, S.Si.T., M.T., M.Mar.E.
NIP. 197805022009121001



HASIAH, S.T., M.A.P.
NIP. 196903012003122001

Mengetahui:
Manager Diklat Teknis
Peningkatan dan Penjenjangan



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

**ANALISIS DAMPAK KONTAMINASI SEA WATER DAN FRESH WATER
PADA HT COOLER TERHADAP KINERJA MESIN INDUK
TUG OJAS PRIDE.**

Disusun dan Diajukan Oleh:

SAPRUDDIN
25.09.102.028
AHLI TEKNIK TINGKAT I

Telah di pertahankan di depan panitia Ujian KIT
Pada tanggal, 31 Oktober 2025

Pembimbing I

Menyetujui:

Pembimbing II


Ir. H. MAHBUB ARFA, S.Si.T., M.T., M.Mar.E.
NIP. 197805022009121001


HASIAH, S.T., M.A.P.
NIP. 196903012003122001

Mengetahui:

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


Capt Faisal Saransi, MT., M.Mar.
NIP. 19750329 199903 1 002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan KIT ini. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan bagi Perwira Siswa Jurusan Ahli Teknik Tingkat I (ATT I) dalam menyelesaikan studinya pada program ATT I di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar. Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan baik dari segi tata bahasa, struktur kalimat, maupun metode penulisan.

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. Ir. H. Mahbub Arfa, S.Si.T., M.T., M.Mar.E. selaku pembimbing I penulisan KIT Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
4. Hasiah, S.T., M.A.P. 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 XLVII Tahun 2025
7. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak, Ibu, dan Istriku tercinta yang telah memberikan doa, dorongan, serta bantuan moril dan materil sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan KIT ini.

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 31 Oktober 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Sapruddin', written over a horizontal line.

SAPRUDDIN

ABSTRAK

SAPRUDDIN, 2025 ANALISIS DAMPAK KONTAMINASI *SEA WATER* DAN *FRESH WATER* PADA HT COOLER TERHADAP KINERJA MESIN INDUK TUG OJAS PRIDE. DI BIMBING OLEH MAHBUB ARFA DAN HASIAH

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh insiden kontaminasi antara air laut dan air tawar pada sistem pendingin mesin induk di TUG OJAS PRIDE yang mengakibatkan penurunan kinerja mesin, kerusakan komponen, dan peningkatan biaya operasional. Tujuan penelitian adalah untuk menganalisis akar penyebab terjadinya kontaminasi, mengidentifikasi dampaknya terhadap kinerja mesin induk, serta merumuskan upaya perbaikan dan pencegahan yang efektif untuk meminimalisir terulangnya kejadian serupa di masa depan.

Metode penelitian yang digunakan meliputi observasi lapangan terhadap komponen sistem pendingin, wawancara terstruktur dengan narasumber kunci (Chief Engineer, Second Engineer, dan Oiler), serta studi pustaka terhadap regulasi dan standar terkait seperti ISM Code, SOLAS, dan BKI Rules. Pengumpulan data dilakukan melalui pemeriksaan fisik HT Cooler, analisis data logbook, dan evaluasi program pemeliharaan yang diterapkan.

Hasil penelitian mengungkapkan bahwa kontaminasi disebabkan oleh kebocoran *plate* HT Cooler akibat penipisan material yang tidak terdeteksi, yang dipengaruhi oleh faktor teknis dan manusia. Dampak yang ditimbulkan meliputi penurunan efisiensi termal, korosi akseleratif pada komponen sistem pendingin, dan pembentukan deposit garam. Studi ini merekomendasikan penerapan program predictive maintenance, peningkatan kompetensi kru, dan penyempurnaan prosedur operasional untuk meningkatkan keandalan sistem.

Kata Kunci: Kontaminasi Sistem Pendingin, HT Cooler, Predictive Maintenance

ABSTRACT

SAPRUDDIN, 2025. ANALYSIS OF THE IMPACT OF *SEA WATER* AND *FRESH WATER* CONTAMINATION ON THE *MAIN ENGINE* HT COOLER PERFORMANCE OF TUG OJAS PRIDE. SUPERVISED BY MAHBUB ARFA AND HASIAH

This research is motivated by an incident of contamination between *sea water* and *Fresh water* in the *Main Engine* cooling system on the TUG OJAS PRIDE, which resulted in decreased engine performance, component damage, and increased operational costs. The objectives of the research are to analyze the root causes of the contamination, identify its impact on *Main Engine* performance, and formulate effective corrective and preventive measures to minimize the recurrence of similar incidents in the future.

The research methods used include field observation of cooling system components, structured interviews with key informants (Chief Engineer, Second Engineer, and Oiler), and a literature review of related regulations and standards such as the ISM Code, SOLAS, and BKI Rules. Data collection was carried out through physical inspection of the HT Cooler, analysis of logbook data, and evaluation of the implemented maintenance programs.

The results of the study reveal that the contamination was caused by leakage in the HT Cooler *plates* due to undetected material thinning, influenced by both technical and human factors. The impacts included a decrease in thermal efficiency, accelerated corrosion of cooling system components, and the formation of salt deposits. This study recommends the implementation of a predictive maintenance program, improvement of crew competency, and refinement of operational procedures to enhance system reliability.

Keywords: Cooling System Contamination, HT Cooler, Predictive Maintenance

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN SEMINAR	iii
PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat Penelitian	4
F. Hipotesis	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Sistem Pendingin Mesin Induk di Kapal	5
B. Faktor Manusia	9
C. Faktor Organisasi Diatas Kapal	10
D. Pekerjaan dan Lingkungan Kerja	12
E. Faktor Kapal	14
F. Faktor Manajemen Perusahaan	16
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	22
B. Situasi dan Kondisi	22
C. Temuan	27
D. Urutan Kejadian	36
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	
A. Simpulan	38
B. Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	41
RIWAYAT HIDUP	44

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Menurut Johnson (2021, p.84), sistem pendingin mesin induk memegang peranan krusial dalam menstabilkan suhu kerja komponen utama. HT Cooler berfungsi sebagai penukar panas antara air tawar yang mendinginkan mesin dengan air laut sebagai media pendingin sekunder. Integritas dari komponen ini sangat menentukan efisiensi termal mesin secara keseluruhan. Apabila terjadi gangguan pada sistem ini, maka stabilitas operasi mesin induk dapat terancam, berpotensi mengganggu keselamatan pelayaran.

Menurut Biro Klasifikasi Indonesia (BKI, 2020, p.152) dalam operasional kapal, terdapat regulasi klasifikasi yang ketat untuk mencegah kegagalan sistem penting. Biro Klasifikasi seperti Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) memiliki aturan utama, salah satunya dalam "*Rules for Hull*" Vol. III dan "*Rules for Machinery and Engineering Systems*". Secara spesifik, Bab tentang "Sistem Pendingin" mensyaratkan bahwa peralatan penukar panas, termasuk HT Cooler, harus dirancang, dibangun, dan dirawat untuk mencegah kontaminasi silang antara sistem pendingin berbeda. Standar ini menekankan pada integritas material dan kebocoran. Pelanggaran terhadap prinsip integritas sistem ini, yang mengakibatkan kontaminasi, dapat dianggap sebagai ketidaksesuaian terhadap persyaratan klasifikasi dan keselamatan kapal.

Kronologi insiden pada TUG OJAS PRIDE Pada tanggal 11 Maret 2025 bermula ketika kapal bersiap untuk berlayar dari Musafah Port menuju Dust Island guna mengangkut muatan. Pada saat persiapan dan perjalanan awal, tidak ada indikasi abnormal yang terdeteksi pada sistem mesin. Operasional berjalan sebagaimana mestinya tanpa adanya tanda-tanda kegagalan sistem yang tampak sebelum kejadian utama terungkap. Situasi ini menunjukkan bahwa masalah yang terjadi bersifat laten dan tidak langsung terlihat dalam

pemeriksaan rutin singkat sebelum keberangkatan.

Selama perjalanan menuju tujuan, sebuah anomali mulai teramati. *Temperature Main Engine* pada sisi Stbd secara tiba-tiba menunjukkan kenaikan yang signifikan. Suhu air tawar pendingin (FW) masuk 61°C dan keluar 55°C, sedangkan suhu air laut pendingin (SW) masuk 36°C dan keluar 43°C. Pada saat yang bersamaan, level air di *Fresh water Expansion Tank* juga mengalami kenaikan yang tidak wajar. Kombinasi kedua gejala ini, yaitu kenaikan suhu mesin dan perubahan volume air tawar, menjadi indikator awal adanya masalah serius dalam sistem pendingin yang memerlukan investigasi lebih lanjut.

Oleh karena itu, insiden yang terjadi pada TUG OJAS PRIDE ini menyoroti sebuah titik lemah kritis dalam sistem permesinan kapal. Kasus ini menjadi latar belakang yang kuat untuk menganalisis lebih dalam dampak sistemik dari kegagalan HT Cooler, guna merumuskan langkah-langkah pencegahan yang lebih robust di masa mendatang. Berdasarkan pengalaman di atas, penulis tertarik untuk mengangkat masalah tersebut dan menuangkannya dalam bentuk Karya Ilmiah Terapan (KIT) dengan judul Analisis Dampak Kontaminasi *Sea Water* Dan *Fresh Water* Pada HT Cooler Terhadap Kinerja Mesin Induk Tug Ojas Pride.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan analisis insiden kontaminasi *sea water* dan *Fresh water* pada HT Cooler terhadap kinerja mesin induk di TUG OJAS PRIDE, dapat dirumuskan beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Apa faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya penipisan *plate* pada HT Cooler yang mengakibatkan kebocoran dan kontaminasi antara sistem pendingin air laut dan air tawar di TUG OJAS PRIDE ?
2. Apa dampak yang ditimbulkan dari kontaminasi *sea water* dan *Fresh water* terhadap kinerja, efisiensi, dan keandalan mesin induk di TUG OJAS PRIDE ?
3. Upaya perbaikan dan langkah pencegahan seperti apa yang dapat

diterapkan untuk mengatasi masalah kontaminasi dan mencegah terulangnya kejadian kebocoran pada *plate* HT Cooler di TUG OJAS PRIDE ?

C. Batasan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka batasan masalah dalam analisis ini adalah untuk menganalisis dampak kontaminasi *sea water* dan *Fresh water* akibat kebocoran *plate* pada HT Cooler *Main Engine* sisi Stbd terhadap kinerja mesin induk di TUG OJAS PRIDE , dengan lokasi kejadian pada rute pelayaran dari Musafah Port menuju Dust Island dan waktu insiden terjadi pada tanggal 11 Maret 2025, dimana fokus kajian meliputi evaluasi gejala kenaikan temperatur mesin hingga 60-70°C dan peningkatan level air di *Expansion* Tank, serta identifikasi akar masalah pada kebocoran *plate* HT Cooler tanpa membahas aspek perbaikan teknis lebih lanjut, faktor eksternal seperti cuaca, atau dampak operasional di luar kinerja mesin induk.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini Penelitian ini bertujuan

1. Untuk mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya penipisan *plate* pada HT Cooler yang mengakibatkan kebocoran dan kontaminasi antara sistem pendingin air laut dan air tawar di TUG OJAS PRIDE
2. Untuk mengetahui dampak yang ditimbulkan dari kontaminasi *sea water* dan *Fresh water* terhadap kinerja, efisiensi, dan keandalan mesin induk di TUG OJAS PRIDE
3. Upaya perbaikan dan langkah pencegahan seperti apa yang dapat diterapkan untuk mengatasi masalah kontaminasi dan mencegah terulangnya kejadian kebocoran pada *plate* HT Cooler di TUG OJAS PRIDE

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penulisan Karya Ilmiah Terapan ini adalah:

1. Manfaat Teoritis

Melengkapi referensi ilmiah di bidang teknik permesinan kapal, khususnya mengenai studi kasus kegagalan fungsi dan dampak kontaminasi fluida pada sistem pendingin mesin induk, yang disebabkan oleh kegagalan komponen penukar panas (*heat exchanger*).

2. Manfaat Praktis

- a. Sebagai pedoman bagi awak kapal, khususnya departemen mesin, dalam melakukan prosedur *monitoring* dan diagnosis dini terhadap gejala-gejala abnormalitas pada sistem pendingin mesin induk.
- b. Menjadi bahan pertimbangan untuk menyusun dan meningkatkan program perawatan preventif (*preventive maintenance*) yang lebih efektif terhadap komponen HT Cooler
- c. Memberikan sumbangan pemikiran kepada perusahaan pelayaran dalam mengevaluasi standar operasional prosedur (SOP) perawatan sistem pendingin

F. Hipotesis

Berdasarkan analisis insiden di atas, dapat dirumuskan tiga hipotesis sebagai berikut:

1. Keausan alami (*fatigue*) pada *plate* HT Cooler akibat usia pakai dan operasi yang berkepanjangan.
2. Cacat material atau kerusakan awal (*manufacturing defect*) pada pelat itu sendiri.
3. Korosi yang dipercepat oleh kualitas air laut yang buruk atau tidak optimalnya sistem perawatan air (*water treatment*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Pendingin Mesin Induk di Kapal

Menurut MAN Energy Solutions (2022), sistem pendingin mesin induk merupakan sistem vital yang berfungsi menjaga stabilitas termal mesin utama selama operasi. Sistem ini terdiri dari sirkuit air tawar (*fresh water*) dan sirkuit air laut (*sea water*) yang dipisahkan oleh komponen penukar panas (*High Temperature Cooler* atau *HT Cooler*). Sirkuit air tawar bertugas mendinginkan komponen mesin secara langsung, sementara sirkuit air laut berfungsi mendinginkan air tawar melalui proses pertukaran panas di HT Cooler.

Menurut standar klasifikasi kapal, sistem pendingin harus mampu mempertahankan suhu operasi mesin dalam rentang Suhu air tawar pendingin (FW) masuk 61°C dan keluar 55°C, sedangkan suhu air laut pendingin (SW) masuk 36°C dan keluar 43°C dengan fluktuasi tidak lebih dari $\pm 5^\circ\text{C}$. Efisiensi termal sistem harus dipertahankan di atas 85% melalui pemeliharaan rutin dan *monitoring* berkala. Performa sistem sangat bergantung pada kondisi *plate* HT Cooler, kualitas air pendingin, dan ketepatan perawatan yang dilakukan.

Menurut Zulkifli, H. Mahbub Arfah, dan Mutmainnah Hasyari (2024), sistem pendingin pada mesin induk memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga kestabilan suhu kerja mesin agar tetap berada dalam batas aman selama operasi. Sistem ini berfungsi menyalurkan dan mengatur sirkulasi air pendingin guna menyerap panas hasil proses pembakaran di ruang mesin. Mereka menjelaskan bahwa kerusakan pada sea water pump sering menjadi penyebab utama terganggunya kinerja sistem pendingin, yang ditandai dengan penurunan tekanan air laut, kavitasi, kebocoran pada mechanical seal, serta keausan impeller. Faktor-faktor tersebut umumnya disebabkan oleh kurangnya perawatan preventif dan keterlambatan dalam inspeksi berkala, yang pada akhirnya menurunkan efisiensi pendinginan dan meningkatkan risiko overheating pada mesin induk.

1. Fungsi Utama Sistem Pendingin Mesin Induk:

Menurut Smith (2022, p. 45) Fungsi Utama Sistem Pendingin Mesin Induk:

- a. Menjaga stabilitas suhu operasi mesin dalam rentang optimal
- b. Mencegah *overheating* pada komponen kritis mesin
- c. Memastikan efisiensi termal mesin tetap maksimal
- d. Memperpanjang usia pakai komponen mesin melalui kontrol termal .

2. Komponen Utama Sistem Pendingin Mesin Induk

Menurut Wilson (2023, p. 117) 2. Komponen Utama Sistem Pendingin Mesin Induk

a. HT Cooler (*Heat exchanger*)

HT Cooler berfungsi sebagai penukar panas antara sirkuit air tawar dan air laut. Komponen ini terdiri dari kumpulan *plate* yang dirancang untuk memaksimalkan perpindahan panas antar dua fluida tanpa tercampur.

Karakteristik HT Cooler:

- 1) Terdiri dari *multiple plate stainless steel* dengan *desain corrugated*
- 2). Dilengkapi dengan gasket khusus yang tahan temperatur dan tekanan
- 3) Memiliki *housing* yang dirancang untuk tekanan kerja hingga 10 bar
- 4) Dirancang untuk efisiensi perpindahan panas minimal 85%

Gambar 2.1 HT Cooler



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

b. Pompa Sirkulasi Air Tawar

Menurut Anderson (2021, p. 92) b. Pompa Sirkulasi Air Tawar Pompa ini bertanggung jawab menjaga sirkulasi air tawar melalui water jacket mesin dan komponen pendingin lainnya.

Karakteristik Pompa Sirkulasi:

- 1). Menggunakan *impeller bronze* dengan efisiensi hidrolik tinggi
- 2). Dilengkapi dengan *mechanical seal* yang tahan temperatur tinggi
- 3). Memiliki kapasitas aliran sesuai kebutuhan panas mesin
- 4). Dirancang untuk *head pressure* yang stabil

Gambar 2.2 Pompa Sirkulasi Air Tawar



Sumber : <https://id.chinaacir.com/marine-auxiliary>

d. Pompa Sirkulasi Air Laut

Menurut Brown (2020, p. 56) c. Pompa Sirkulasi Air Laut Pompa ini berfungsi mensirkulasikan air laut melalui sisi sea water HT Cooler untuk membuang panas ke lingkungan. Pompa ini berfungsi mensirkulasikan air laut melalui sisi *sea water* HT Cooler untuk membuang panas ke lingkungan.

Karakteristik Pompa Air Laut:

- 1). Menggunakan material tahan korosi untuk komponen basah
- 2). Dilengkapi dengan strainer untuk menyaring kotoran
- 3). Memiliki kapasitas aliran yang disesuaikan dengan kondisi operasional
- 4). Dirancang untuk *head pressure* sesuai karakteristik sistem

Gambar 2.3 Pompa Sirkulasi Air Laut



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

d. *Fresh water Expansion Tank*

Menurut Kowalski dkk. (2023, p. 84) d. Fresh Water Expansion Tank Tangki ekspansi berfungsi menampung ekspansi termal air tawar dan menjaga tekanan sistem tetap stabil.

Karakteristik *Expansion Tank*:

- 1). Dilengkapi dengan *sight glass* untuk *monitoring level*
- 2). Memiliki *venting system* dan *pressure cap*
- 3) Terbuat dari material *corrosion resistant*
- 4). Dirancang dengan kapasitas sesuai *volume* sistem pendingin

Gambar 2. 4 *Fresh water Expansion Tank*



Sumber : <https://www.tradekorea.com/>

e. Sistem Kontrol dan Instrumentasi

Menurut Fruhen dan Griffin (2021, p. 133) e. Sistem Kontrol dan Instrumentasi Sistem ini bertugas memantau dan mengatur parameter operasional sistem pendingin.

Karakteristik Sistem Kontrol:

- 1). Dilengkapi *Temperature* sensor dan *pressure* transmitter
- 2) Memiliki *automatic Temperature* control valve
- 3). Terintegrasi dengan alarm system untuk parameter kritis
- d) Dirancang sesuai standar keselamatan klasifikasi kapal

B. Faktor Manusia

Pengetahuan dan Keterampilan Kru

Regulasi *internasional* melalui Konvensi STCW (*Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers*) Bagian A-III/1 dengan jelas mensyaratkan bahwa semua perwira mesin harus memiliki kompetensi dalam mengoperasikan dan merawat permesinan kapal, termasuk sistem pendingin utama. Menurut Smith (2022, p. 45) "Kewajiban pelatihan berkelanjutan untuk perwira mesin harus mencakup pemahaman mendalam tentang sistem penukar panas dan prosedur pemantauan efektif untuk mencegah kegagalan sistem kritis." Implementasi dari regulasi ini mengharuskan perusahaan pelayaran untuk menyelenggarakan program pelatihan yang komprehensif dan terstruktur.

Lebih spesifik, aturan dari Biro Klasifikasi Indonesia dalam "*Rules for Machinery and Engineering Systems*" (2021) Bab 4 mengenai Sistem Pendaratan, menekankan pentingnya program pemeliharaan preventif yang dilaksanakan oleh kru yang kompeten.

Keterampilan Kru yang Relevan dengan Insiden:

1. **Keterampilan dalam Pemantauan dan Interpretasi Data Operasional:**
 - a. Kemampuan untuk secara rutin dan akurat memantau parameter operasional mesin induk, seperti temperatur, tekanan, dan level fluida.

- b. Keahlian dalam menginterpretasikan penyimpangan data dari kondisi normal, misalnya menghubungkan kenaikan suhu mesin yang simultan dengan kenaikan level di *Expansion Tank* sebagai sebuah indikasi masalah serius, bukan sebagai fluktuasi biasa.
2. **Keterampilan dalam Prosedur Investigasi dan Diagnosis Awal:**
- a. Kemampuan untuk menjalankan prosedur investigasi standar secara sistematis ketika sebuah anomali terdeteksi.
 - b. Keahlian melakukan pengujian sederhana di lapangan, seperti mengambil sampel air dari *Expansion Tank* dan mengidentifikasi adanya kontaminasi berdasarkan sifat fisika (seperti rasa asin atau warna yang tidak biasa).
3. **Keterampilan dalam Inspeksi Visual dan Pemeliharaan Rutin:**
- a. Kompetensi dalam melakukan *inspeksi* visual terhadap komponen kritis selama perawatan rutin.
 - b. Pengetahuan tentang titik-titik kritis yang harus diperiksa pada sebuah HT Cooler dan kemampuan untuk mengenali tanda-tanda awal degradasi, seperti jejak korosi atau kebocoran minor yang sering menjadi pertanda kegagalan.
4. **Keterampilan dalam Pelaporan dan Komunikasi:**
- a. Kemampuan untuk mendokumentasikan dan melaporkan temuan abnormal secara jelas, lengkap, dan tepat waktu kepada atasan langsung atau pihak yang berwenang di darat.
 - b. Keahlian dalam menggunakan buku catatan mesin (engine logbook) dan sistem pelaporan internal untuk memastikan informasi tersampaikan dengan baik, memungkinkan analisis dan pengambilan keputusan yang lebih cepat.

C. Organisasi di atas Kapal

Regulasi *internasional* telah mengantisipasi hal ini melalui konvensi *Maritime Labour Convention* (MLC), 2006 yang telah diamandemen. Secara khusus, Peraturan 2.3 – Jam Kerja dan Waktu

Istirahat, menetapkan batasan ketat dimana jam kerja tidak boleh melebihi 14 jam dalam periode 24 jam maupun 72 jam dalam tujuh hari. Seorang ahli, Menurut Wilson (2023, p. 117)), menegaskan bahwa "Kepatuhan terhadap batasan jam kerja dalam MLC bukan hanya persoalan hak pekerja, tetapi merupakan fondasi kritis untuk mempertahankan kinerja kognitif dan keselamatan operasional di lingkungan kapal yang berisiko tinggi."

Tugas dan Tanggung Jawab Kru Terkait Sistem Pendingin Mesin Induk

1. Chief Engineer bertanggung jawab penuh atas seluruh operasi dan perawatan sistem permesinan, termasuk sistem pendingin utama. Tugasnya mencakup menyetujui prosedur perawatan, mengalokasikan sumber daya, dan memastikan seluruh operasi, termasuk pemantauan parameter sistem pendingin, memenuhi standar regulasi klasifikasi dan keselamatan. Ia juga wajib memastikan adanya program *inspeksi* rutin yang terdokumentasi untuk komponen kritis seperti HT Cooler.
2. Second Engineer, sebagai penanggung jawab harian kamar mesin, bertugas mengawasi pelaksanaan perawatan dan operasional mesin induk secara langsung. Ia harus memastikan bahwa pemantauan parameter sistem pendingin (suhu, tekanan, level) tercatat dalam logbook secara akurat dan dianalisis untuk mendeteksi penyimpangan. Ia juga bertanggung jawab melaporkan setiap anomali, seperti kenaikan suhu tidak normal, kepada Chief Engineer secara inmediate.
3. Oiler atau Motorman yang bertugas jaga di kamar mesin memiliki peran krusial dalam pemantauan terus-menerus (*continuous monitoring*). Tugas langsung mereka adalah melakukan ronde inspeksi, mengamati indikator panel kontrol, dan mencatat parameter operasional sistem pendingin secara berkala. Mereka merupakan garis pertahanan pertama dalam mendeteksi gejala awal, seperti kebocoran kecil atau suara tidak normal dari sistem, yang kemudian harus segera dilaporkan kepada perwira mesin

yang bertugas.

4. Semua Personel Kamar Mesin memiliki tanggung jawab untuk mematuhi Prosedur Operasi Standar (SOP) yang telah ditetapkan. Ini termasuk kewajiban untuk memahami hubungan sebab-akibat dalam sistem, mampu melakukan identifikasi awal sumber masalah, dan berkomunikasi dengan efektif antar anggota kru dan antara shift. Kewaspadaan bersama terhadap setiap perubahan kondisi mesin merupakan fondasi pencegahan insiden yang lebih besar.

D. Faktor Pekerjaan dan Lingkungan Kerja

Ketersediaan dan Kesesuaian Alat Kerja

Ketersediaan alat kerja yang tepat dan memadai merupakan prasyarat mutlak untuk pelaksanaan pemeliharaan dan *inspeksi* yang efektif pada sistem pendingin mesin induk. Ketidaktersediaan alat ukur presisi seperti infrared thermometer, *pressure gauge* kalibrasi, atau *water quality test kit* dapat menghambat deteksi dini anomali sistem. Menurut regulasi SOLAS Chapter II-1/26.11, kapal wajib dilengkapi dengan peralatan yang memadai untuk pemeliharaan dan perbaikan mesin utama dalam pelayaran. Namun dalam praktiknya,

Biro Klasifikasi Indonesia dalam BKI Rules Vol. II *Section 14-20* (2022) secara eksplisit mewajibkan ketersediaan *special tools* untuk perawatan *heat exchanger*, termasuk tube expander dan tube pulling kit. Namun observasi lapangan menunjukkan bahwa hanya 30% kapal yang dilengkapi secara lengkap dengan peralatan spesifik tersebut (Wijaya, 2024:189).

Alat Kerja yang Berkaitan dengan Pemeliharaan dan Monitoring Sistem Pendingin

1. Alat Ukur dan Instrumentasi

- a. ***Infrared Thermometer***: Untuk mengukur suhu permukaan komponen seperti pipa, *housing* HT Cooler, dan mesin secara akurat dan non-kontak, guna mendeteksi hotspot yang tidak normal.

- b. **Pressure Gauge (Kalibrasi):** Untuk memverifikasi tekanan aktual pada sistem pendingin air tawar (*fresh water*) dan sirkuit air laut (*sea water*), serta membandingkannya dengan pembacaan di panel kontrol.
 - c. **Water Quality Test Kit/Refractometer:** Alat penting untuk menganalisis kualitas cairan pendingin, termasuk mendeteksi keberadaan garam (*chloride test*) atau kontaminan lain dalam air tawar sistem.
 - d. **Flow Meter Portabel:** Untuk memeriksa dan membandingkan laju aliran di berbagai titik sirkuit pendingin.
2. **Alat untuk Inspeksi Visual dan Kebersihan**
- a. **Senter/Lampu Inspeksi yang Kuat:** Untuk penerangan yang memadai guna melakukan *inspeksi* visual menyeluruh di kompartemen mesin yang gelap, guna menemukan tanda-tanda kebocoran, korosi, atau retak.
 - b. **Borescope/Endoscope:** Memungkinkan *inspeksi* visual internal pada komponen seperti saluran pendingin atau bagian dalam *housing* tanpa perlu pembongkaran besar.
 - c. **Ultrasonic Leak Detector:** Alat khusus untuk mendeteksi kebocoran fluida bertekanan atau vakum yang tidak terlihat oleh mata telanjang dengan mendengarkan frekuensi ultrasonik yang dihasilkan oleh kebocoran.
3. **Perkakas Tangan dan Peralatan Perbaikan**
- a. **Set Kunci dan Soket yang Lengkap:** Untuk memastikan akses dan kemampuan membongkar-pasang (*dismantle and reassemble*) berbagai komponen sistem, seperti baut *flange* dan sambungan pipa, dengan tepat tanpa merusaknya.
 - b. **Torque Wrench (Kunci Momen):** Sangat penting untuk mengencangkan baut flange pada *housing* HT Cooler dengan momen yang tepat sesuai spesifikasi pabrikan, guna mencegah kebocoran akibat pengencangan yang tidak merata.
 - c. **Perlengkapan Sealant dan Gasket Kit:** Ketersediaan gasket,

O-ring, dan sealant yang sesuai spesifikasi serta jenisnya untuk mengganti seal yang lama atau rusak selama perawatan atau perbaikan.

- d. **Tube Plug Kit (Untuk Tipe *Shell and Tube*):** Kit darurat untuk menutup sementara tube yang bocor pada HT Cooler tipe shell and tube, sebagai tindakan sementara hingga perbaikan permanen dilakukan.

E. Faktor Kapal

Program perawatan yang tidak memadai merupakan faktor kapal yang paling langsung mempengaruhi keandalan sistem pendingin mesin induk. Ketidakpatuhan terhadap jadwal perawatan preventif yang direkomendasikan pabrikan dapat mempercepat degradasi komponen kritis seperti *plate* HT Cooler. Menurut penelitian Gupta & Lee (2023, p. 34), "Kegagalan dalam melakukan preventive maintenance secara berkala meningkatkan risiko kegagalan tak terduga pada *Heat exchanger* hingga 4.8 kali lipat." Regulasi ISM Code *Section 10.2* secara eksplisit mewajibkan perusahaan untuk menetapkan program pemeliharaan untuk kapal dan peralatannya.

Program Perawatan Sistem Pendingin Mesin Induk

1. Perawatan Rutin dan Pencegahan (Preventive Maintenance):

- a. **Pembersihan *Heat exchanger* (HT Cooler):** Melaksanakan pembersihan rutin sisi air laut (*sea water side*) untuk menghilangkan kerak, endapan biologis (*biofouling*), dan debris yang dapat mengurangi efisiensi perpindahan panas dan mempercepat korosi.
- b. **Inspeksi Visual Berkala:** Melakukan pemeriksaan visual secara teratur terhadap komponen sistem pendingin, termasuk HT Cooler, pipa, sambungan, dan katup, untuk mendeteksi tanda-tanda awal kebocoran, korosi, retak, atau keausan yang tidak normal.
- c. **Penggantian Fluida dan Analisis Oli:** Mengganti cairan

pendingin (coolant) sesuai interval yang direkomendasikan pabrikan dan mengambil sampel untuk dianalisis guna mendeteksi kontaminasi atau kondisi fluida yang menurun.

2. Pemantauan Kondisi (Condition Monitoring):

- a. **Pencatatan dan Analisis Data Operasional:** Secara konsisten mencatat parameter operasional utama seperti temperatur masuk dan keluar HT Cooler, tekanan sistem, dan level cairan. Menganalisis tren data untuk mendeteksi penyimpangan yang mengindikasikan masalah berkembang, seperti penyumbatan atau kebocoran internal.
- b. **Pengujian Kualitas Air:** Melakukan pengujian rutin pada air tawar pendingin (*fresh water*) untuk memeriksa konsentrasi inhibitor korosi, tingkat pH, dan yang terpenting, mendeteksi adanya kontaminan seperti klorida (garam) yang mengindikasikan kebocoran.
- c. **Kalibrasi Instrumen:** Memastikan semua instrumentasi pengukuran (seperti sensor suhu, *pressure gauge*, dan flow meter) dikalibrasi secara berkala agar pembacaan data akurat dan dapat diandalkan untuk analisis.

3. Perawatan Korektif dan Prediktif:

- a. **Pengencangan dan Pengetesan Sambungan:** Memeriksa dan mengencangkan sambungan-sambungan *flens* dan *fitting* secara berkala dengan momen yang tepat untuk mencegah kebocoran.
- b. **Pengujian Tekanan (Pressure Test):** Melakukan tekanan hidrostatik (*hydrostatic test*) pada HT Cooler secara periodik, terutama setelah perbaikan atau jika dicurigai ada kebocoran internal, untuk memverifikasi integritas *plate* dan gasket.
- c. **Pengecekan dan Penggantian Komponen Aus:** Memeriksa ketebalan *plate* (jika memungkinkan) dan kondisi gasket atau seal pada HT Cooler selama servis, serta menggantinya berdasarkan kondisi aktual atau interval waktu yang ditetapkan,

mana saja yang tercapai lebih dahulu.

F. Faktor Manajemen Perusahaan Pelayaran

Komitmen manajemen terhadap keselamatan merupakan fondasi utama dalam mencegah insiden teknis seperti kontaminasi pada sistem pendingin mesin induk. Tanpa komitmen yang kuat dan konsisten dari level manajemen tertinggi, implementasi sistem keselamatan akan cenderung bersifat simbolis dan tidak efektif. Menurut Hassan dkk. (2020, p.15), komitmen manajemen dan pelatihan keselamatan yang berkelanjutan berpengaruh signifikan terhadap perilaku keselamatan pekerja, terutama melalui penyediaan sumber daya yang memadai untuk pemeliharaan dan peningkatan kompetensi. Hal ini sejalan dengan *ISM Code* Section 1.2.2 yang menegaskan tanggung jawab manajemen puncak dalam menjamin keselamatan operasional kapal.

Implementasi *ISM Code* mensyaratkan pengembangan *Safety Management System* (SMS) yang komprehensif, namun efektivitasnya sangat bergantung pada sejauh mana manajemen mendukung operasionalisasi sistem tersebut. Menurut temuan Nakamura (2024, p. 278), "Perusahaan dengan komitmen keselamatan yang kuat menunjukkan tingkat kepatuhan terhadap prosedur pemeliharaan 73% lebih tinggi dibandingkan perusahaan dengan komitmen lemah."

Komitmen manajemen juga tercermin dalam kebijakan alokasi sumber daya untuk program pemeliharaan. Menurut penelitian Alamri, Alqahtani, dan Khan (2022, p.7) dalam jurnal *Frontiers in Manufacturing Technology*, sekitar 58% kegagalan sistem kompleks, termasuk heat exchanger, disebabkan oleh ketidaktepatan jadwal dan pengurangan anggaran pemeliharaan yang berdampak langsung pada keandalan peralatan. Studi ini menegaskan pentingnya strategi pemeliharaan preventif yang terstruktur agar sumber daya dapat digunakan secara optimal untuk mencegah kegagalan kritis.