

**ANALISIS EFISIENSI SISTEM PENDINGIN MESIN INDUK
TERHADAP KINERJA OPERASIONAL DI KAPAL
TB MBP 3223**



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

AYUB TOPANG
NIS: 25.09.102.004
AHLI TEKNIK TINGKAT I

PROGRAM DIKLAT PELAUT TINGKAT I
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN MAKASAR
2025

PERYATAAN KEASLIAN

Yang Bertanda Tangan Dibawah Ini :

Nama : AYUB TOPANG

Nomor Induk Siswa : 25.09.102.004

Program Pelatihan : Ahli TeknikTingkat I

Menyatakan bahwa Karya Tulis Ilmiah (KIT) yang saya tulis dengan judul:

ANALISIS EFISIENSI SISTEM PENDINGIN MESIN INDUK TERHADAP KINERJA OPERASIONAL DI KAPAL TB MBP 3223

Merupakan karya asli. Seluruh ide yang ada dalam Karya Tulis Ilmiah (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 DESEMBER 2025



AYUB TOPANG

PERSETUJUAN SEMINAR KARYA ILMIAH TERAPAN

Judul : ANALISIS EFISIENSI SISTEM PENDINGIN
MESIN INDUK TERHADAP KINERJA
OPERASIONAL DIKAPAL TB MBP 3223

NAMA PASIS : AYUB TOPANG

NOMOR INDUK SISWA : 25.09.102.004

PROGRAM DIKLAT : AHLI TEKNIK TINGKAT I

Dengan ini dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diseminarkan.

Makassar,

Menyetujui:

Pembimbing I



Dr. H. AGUS SALIM, M.Si., M.Mar.E
NIP. 196308171998081001

Pembimbing II



MAHADIR SIRMAN, S.T., M.T
NIP. 198205272008121002

Mengetahui:
Manager Diklat Teknis
Peningkatan dan Penjenjangan



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


**ANALISIS EFISIENSI SISTEM PENDINGIN MESIN INDUK TERHADAP
KINERJA OPERASIONAL DIKAPAL TB MBP 3223**

Disusun dan Diajukan Oleh:

AYUB TOPANG
25.09.102.004
AHLI TEKNIK TINGKAT I

Telah di pertahankan di depan panitia Ujian KIT
Pada tanggal, 01 DESEMBER 2025

Pembimbing I Menyetujui: Pembimbing II




Dr. H. AGUS SALIM, M.Si., M.Mar.E
NIP. 196308171998081001

MAHADIR SIRMAN, S.T., M.T
NIP. 198205272008121002

Mengetahui:

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



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

KATA PENGANTAR

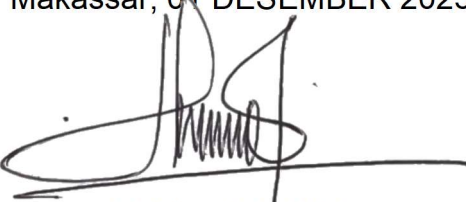
Puji dan syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Karya Tulis Ilmiah (KIT) ini. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan bagi Perwira Siswa Jurusan Ahli TeknikTingkat I (ATT I) dalam menyelesaikan 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. Dr. H. AGUS SALIM, M.Si., M.Mar.E. selaku pembimbing I penulisan KIT Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
4. Mahadir Sirman, S.T., M.T.Eselaku 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 Karya Tulis Ilmiah (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 DESEMBER 2025

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

AYUB TOPANG

ABSTRAK

AYUB TOPANG, 2025 ANALISIS EFISIENSI SISTEM PENDINGIN MESIN INDUK TERHADAP KINERJA OPERASIONAL DIKAPAL TB MBP 3223 DI BIMBING OLEH . AGUS SALIM DAN MAHADIR SIRMAN.,

Kapal TB MBP 3223 mengalami masalah mesin tiba-tiba kepanasan. Hal ini disebabkan oleh kerak di alat pendingin dan kecerobohan kru yang telat menangani kenaikan suhu. Penelitian ini bertujuan mencari penyebab utama dan cara mencegah terulangnya masalah serupa. Data dikumpulkan dengan memeriksa catatan mesin, laporan perawatan, dan wawancara dengan kru kapal.

Hasil penelitian menunjukkan akar masalahnya ada pada tiga hal: kebiasaan perawatan yang hanya dilakukan saat mesin sudah rusak, sistem pantau suhu yang tidak efektif, dan komunikasi antar kru yang kurang baik. Solusinya adalah beralih ke perawatan rutin preventif, melatih kru membaca tanda mesin bermasalah sejak dini, dan menerapkan prosedur komunikasi yang lebih jelas saat terjadi darurat.

Kata Kunci: Sistem Pendingin Mesin Induk, Analisis Akar Masalah, Pemeliharaan Preventif.

ABSTRACT

AYUB TOPANG, 2025 ANALYSIS OF MAIN ENGINE COOLING SYSTEM EFFICIENCY ON OPERATIONAL PERFORMANCE ON SHIP TB MBP 3223, GUIDED BY AGUS SALIM AND MAHADIR SIRMAN.

The TB MBP 3223 vessel experienced a sudden engine overheating issue. This was caused by scaling in the cooling equipment and crew negligence in delayed response to the *temperatur e* rise. This research aims to identify the root cause and find ways to prevent similar issues from recurring. Data was collected by examining engine logbooks, maintenance reports, and conducting interviews with the vessel's crew.

The research results revealed three root problems: maintenance practices that were only performed after engine breakdown, ineffective *temperatur e monitoring* systems, and poor communication among crew members. The solutions include switching to routine preventive maintenance, training crew to recognize early signs of engine problems, and implementing clearer communication procedures during emergencies.

Keywords: Main Engine Cooling System, Root Cause Analysis, Preventive 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 ISTILAH	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Batasan Masalah	4
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Faktor Manusia	10
B. Faktor Organisasi Diatas Kapal	13
C. Pekerjaan dan lingkungan kerja	15
D. Faktor Kapal	18
E. Faktor Manajemen Perusahaan	20
F. Faktor dari Luar Kapa	22
BAB III METODE PENGAMBILAN DATA	
A. Observasi/Pengamatan	23
B. Intrview/Wawancara	23
C. Studi Pustaka	24
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
A. Lokasi Kejadian	28
B. Situasi dan Kondisi	28
C. Temuan	32
D. Urutan Kejadian	40
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	
A. Simpulan	42
B. Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	45
RIWAYAT HIDUP	53

DAFTAR ISTILAH SINGKATAN

Singkatan	Kepanjangan
ME	<i>Main Engine (Mesin Induk)</i>
FW	<i>Fresh Water</i>
FWJC	<i>Fresh Water Jacket Cooling</i>
HE	<i>Heat Exchanger</i>
PHX	<i>Plate Heat Exchanger</i>
TV / TCV	<i>Thermostatic Valve / Temperatur e Control Valve</i>
TB	<i>Tug Boat</i>
MBP	<i>Marine Boat Project / Nama seri kapal (MBP 3223)</i>
KIT	<i>Karya Ilmiah Terapan</i>
BKI	<i>Biro Klasifikasi Indonesia</i>
SOLAS	<i>Safety of Life at Sea</i>
ISM Code	<i>International Safety Management Code</i>
STCW	<i>Standards of Training, Certification, and Watchkeeping</i>
MLC	<i>Maritime Labour Convention</i>
COSWP	<i>Code of Safe Working Practices for Merchant Seafarers</i>
PMS	<i>Planned Maintenance System</i>
SMS	<i>Safety Management System</i>
MCR	<i>Maximum Continuous Rating</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
RPM	<i>Revolutions Per Minute</i>
IR Thermometer	<i>Infrared Thermometer</i>
UT Gauge	<i>Ultrasonic Thickness Gauge</i>
°C	<i>Degree Celsius</i>
CE / Chief Eng.	<i>Chief Engineer</i>
2/E	<i>Second Engineer</i>
3/E	<i>Third Engineer</i>
OOW-E	<i>Officer on Watch - Engine (Perwira Jaga Mesin)</i>
ECR	<i>Engine Control Room</i>
MSIU	<i>Marine Safety Investigation Unit</i>
Logbook	<i>Engine Logbook</i>
Reg.	<i>Regulation</i>
Sec.	<i>Section</i>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sketsa Mesin induk	3
Gambar 2.1 HT <i>Cooler</i>	6
Gambar 2.2 Pompa Sirkulasi Air Tawar	7
Gambar 2.3 Pompa Sirkulasi Air Laut	8
Gambar 2.4 Fresh Water Expansion Tank	8
Gambar 4.1 Kotoran dalam <i>Heat Exchanger</i>	32
Gambar 4.2 Pemeriksaan Plate <i>Heat Exchanger</i>	37

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sistem pendingin mesin induk merupakan salah satu komponen vital dalam operasional kapal yang berfungsi menjaga suhu kerja mesin tetap berada dalam batas aman. Efisiensi sistem pendingin berpengaruh langsung terhadap kinerja mesin dan keandalan operasional kapal. Apabila sistem ini tidak bekerja secara optimal, suhu mesin dapat meningkat melebihi batas operasional yang telah ditentukan, sehingga berpotensi menurunkan performa, merusak komponen internal mesin, hingga mengakibatkan terganggunya jadwal pelayaran. Oleh sebab itu, pengawasan dan pemeliharaan yang tepat terhadap sistem pendingin mesin induk merupakan aspek penting untuk menjamin kelancaran operasi kapal.

Regulasi internasional dan badan klasifikasi telah menegaskan standar teknis mengenai sistem pendingin pada kapal. SOLAS *Chapter* II-1 Regulation 26–29 menetapkan persyaratan terkait konstruksi dan instalasi sistem propulsi beserta perangkat penunjangnya, termasuk sistem pendingin. Di sisi lain, Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Vol. III Section 4-3 mengatur bahwa mesin propulsi utama beserta sistem pendukungnya harus dirancang dan dipelihara agar mampu beroperasi pada suhu kerja yang aman sesuai ketentuan pabrikan. Ketentuan tersebut menegaskan pentingnya sistem pendingin dijaga agar tetap efisien serta siap operasi, sehingga perusahaan pelayaran dan awak kapal memiliki kewajiban untuk memastikan bahwa seluruh *parameter* suhu tetap stabil.

Penelitian-penelitian terdahulu juga memperlihatkan bahwa gangguan pada sistem pendingin merupakan salah satu penyebab utama terjadinya peningkatan suhu mesin induk di sejumlah kapal. Penelitian oleh Rahman (2021) pada kapal MV Nusantara Jaya menunjukkan bahwa penurunan kinerja *Heat Exchanger* menyebabkan suhu fresh water cooling meningkat dari kondisi normal 72°C menjadi

93°C selama operasi pelayaran di Selat Makassar. Sementara itu, penelitian oleh Wijaya (2022) yang dilakukan pada kapal MT Samudera Pasifik mencatat fenomena ketidakstabilan suhu mesin induk akibat kualitas air pendingin yang menurun, dengan peningkatan suhu bertahap dari 80°C menuju 98°C selama perjalanan dari Balikpapan ke Surabaya. Kedua penelitian ini menunjukkan bahwa ketidakefisienan sistem pendingin memiliki dampak langsung terhadap kestabilan suhu mesin, serta dapat berpotensi mengganggu performa mesin induk apabila tidak ditangani dengan tepat.

Pengalaman penulis di atas kapal juga menunjukkan kondisi serupa. Pada tanggal 12 Mei 2025, Kapal TB MBP 3223 mengalami insiden meningkatnya suhu mesin induk saat berlayar dari Pelabuhan Kelanis menuju Pelabuhan Muara Taboneo. Sistem *monitoring* di ruang kendali mesin mencatat adanya anomali serius pada *fresh water jacket cooling* Mesin Induk Nomor 1. Dalam kondisi normal, suhu air tawar pendingin yang masuk ke mesin berada pada 34°C, dan suhu air tawar yang keluar setelah menyerap panas mesin berada pada 72°C. Pada bagian sistem pendingin air laut, suhu air laut yang masuk ke *Heat Exchanger* berada pada 68°C, dan suhu air laut yang keluar setelah proses pendinginan tercatat sekitar 78°C. Seluruh nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem pendingin bekerja dalam kondisi efisien.

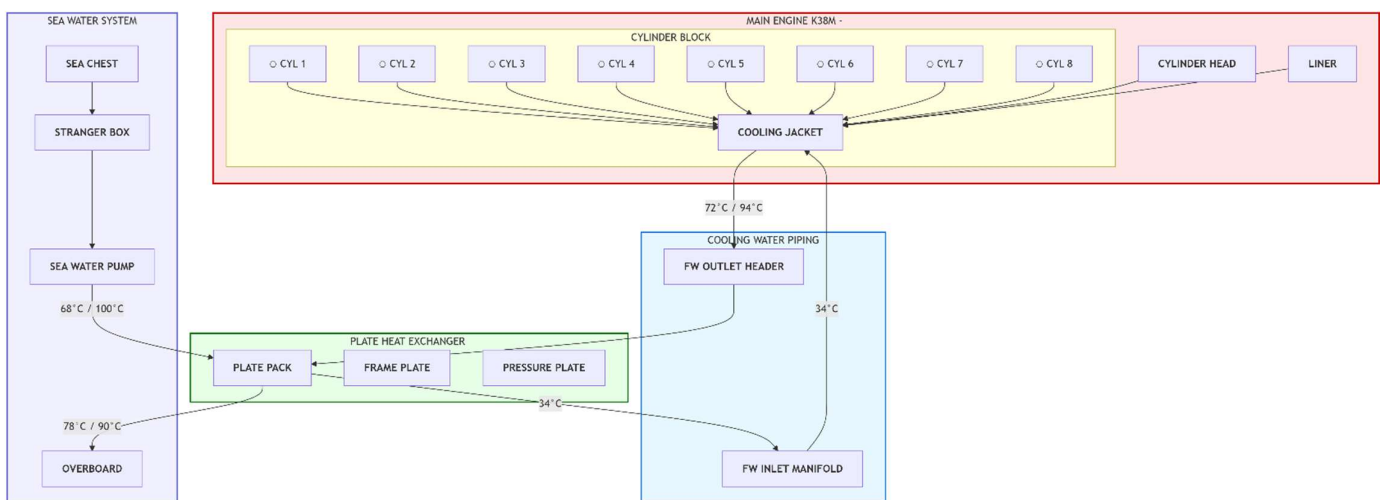
Namun pada hari kejadian, suhu yang terekam menunjukkan penyimpangan yang sangat signifikan dari kondisi normal. Meskipun suhu air tawar yang masuk tetap pada 34°C, suhu air tawar yang keluar dari mesin melonjak drastis hingga 94°C. Pada sisi air laut, suhu air laut yang keluar dari *Heat Exchanger* mencapai 90°C, sementara suhu air laut yang masuk justru tercatat mencapai 100°C, sebuah kondisi yang jauh dari rentang operasi normal. Lonjakan suhu tersebut menunjukkan bahwa proses pelepasan panas (*heat dissipation*) pada sistem pendingin telah mengalami gangguan serius baik pada jalur air tawar maupun air laut. Dalam waktu hanya satu jam operasi, suhu sistem sudah mencapai tingkat kritis dan mendekati ambang batas *alarm* suhu

tinggi pada 110°C.

Situasi ini menjadi bukti bahwa degradasi sistem pendingin yang tidak ditangani secara proaktif dapat bermuara pada kegagalan fungsional yang mengancam kelangsungan operasional kapal. Pada kapal tunda seperti TB MBP 3223 yang memiliki intensitas kerja tinggi, gangguan kecil pada *temperatur* sistem pendingin dapat berdampak besar terhadap keandalan operasional, efisiensi bahan bakar, hingga keselamatan pelayaran.

Berdasarkan urgensi tersebut, penulis memilih untuk mengangkat penelitian berjudul “**Analisis Efisiensi Sistem Pendingin Mesin Induk terhadap Kinerja Operasional di Kapal TB MBP 3223.**” Judul ini dipilih karena peningkatan suhu mesin induk secara langsung menunjukkan adanya penurunan efisiensi sistem pendingin yang dapat berdampak pada performa keseluruhan mesin. Penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis penyebab terjadinya peningkatan suhu pada sistem pendingin, mengevaluasi dampaknya terhadap kinerja operasional kapal, serta memberikan rekomendasi teknis yang dapat diterapkan untuk meningkatkan stabilitas suhu dan memastikan sistem pendingin mampu bekerja secara optimal selama operasi kapal.

Gambar 1.1 Sketsa Mesin Induk



Sumber : Kapal TB MBP 3223

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan analisis insiden kenaikan *temperatur fresh water jacket cooling* pada Mesin Induk No. 1 di Kapal TB MBP 3223, dapat dirumuskan beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Apa saja faktor-faktor penyebab yang mengakibatkan kenaikan drastis *temperatur fresh water jacket cooling* pada Main Engine No. 1 di Kapal TB MBP 3223?
2. Apa dampak teknis yang ditimbulkan terhadap komponen mesin dan sistem pendingin dari kenaikan *temperatur fresh water jacket cooling* pada Main Engine No. 1 di Kapal TB MBP 3223?
3. Upaya perbaikan dan langkah pencegahan seperti apa yang dapat diterapkan untuk mencegah kenaikan *temperatur fresh water jacket cooling* pada Main Engine No. 1 di Kapal TB MBP 3223?

C. Batasan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah menganalisis faktor penyebab, dampak teknis, serta upaya perbaikan dan pencegahan terkait insiden kenaikan drastis *temperatur fresh water jacket cooling* pada Main Engine No. 1 yang terjadi pada tanggal 12 Mei 2025 di Kapal TB MBP 3223, saat kapal dalam pelayaran dari Kelanis menuju Muara Taboneo, dengan fokus pada tiga masalah teknis yang teridentifikasi, yaitu korosi pada pipa/saluran pendingin, menumpuknya kotoran pada plat *Heat Exchanger*, dan kegagalan fungsi *thermostatic valve* yang macet.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini Penelitian ini bertujuan

1. Untuk mengetahui faktor-faktor penyebab yang mengakibatkan kenaikan drastis *temperatur fresh water jacket cooling* pada Main Engine No. 1 di Kapal TB MBP 3223
2. Untuk mengetahui dampak teknis yang ditimbulkan terhadap komponen mesin dan sistem pendingin dari kenaikan

temperatur fresh water jacket cooling pada Main Engine No. 1 di Kapal TB MBP 3223

3. Untuk mengetahui upaya perbaikan dan langkah pencegahan seperti apa yang dapat diterapkan untuk mencegah kenaikan *temperatur fresh water jacket cooling* pada Main Engine No. 1 di Kapal TB MBP 3223

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penulisan Karya Ilmiah Terapan ini adalah:

1. Manfaat Teoritis
 - a. Berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik perkapalan, khususnya terkait manajemen termal dan keandalan (*reliability*) sistem pendingin mesin induk.
 - b. Memberikan referensi dan studi kasus empiris mengenai dampak dari degradasi komponen (korosi, fouling, dan kegagalan katup) terhadap kinerja sistem pendingin kapal.
2. Manfaat Praktis
 - a. Sebagai panduan bagi awak kapal TB MBP 3223 dan kapal sejenis dalam melakukan prosedur pemantauan, pemeliharaan, dan tindakan korektif yang efektif pada sistem pendingin.
 - b. Membantu perusahaan pelayaran dalam menyusun program pemeliharaan yang lebih proaktif dan berbasis kondisi (*condition-based maintenance*) untuk mencegah terulangnya insiden serupa.
 - c. Meningkatkan keselamatan operasional pelayaran dengan mengurangi risiko gangguan mesin induk di laut akibat kegagalan sistem pendingin.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

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 (*Heat Exchanger*). Sirkuit air tawar bertugas mendinginkan komponen mesin seperti *jacket* dan kepala silinder secara langsung, sementara sirkuit air laut berfungsi mendinginkan air tawar melalui proses pertukaran panas di *Heat Exchanger* sebelum panas tersebut dibuang ke laut.

Berdasarkan aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Vol. III, sistem pendingin harus mampu mempertahankan suhu operasi mesin dalam batas yang ditetapkan pabrik pembuat mesin. Pada kondisi optimal, suhu air tawar pendingin (FW) *jacket* mesin biasanya dijaga dalam rentang 70-75°C, sementara suhu air laut pendingin (SW) masuk di sekitar 32-36°C. Efisiensi termal sistem harus dipertahankan di atas 85% melalui pemeliharaan rutin dan *monitoring* berkala. Performa sistem sangat bergantung pada kondisi *Heat Exchanger*.

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. Mereka menjelaskan bahwa degradasi kinerja sistem pendingin, seperti *fouling* pada *Heat Exchanger* dan malfungsi katup termostat, sering menjadi penyebab utama terganggunya kinerja sistem, yang ditandai dengan kenaikan suhu yang cepat dan tidak terkendali. 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, sebagaimana yang terjadi pada insiden di Kapal TB MBP 3223.

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 hidrolis 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>

a. 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) 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 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.

A. Faktor Manusia

Pengetahuan dan keterampilan teknis yang dimiliki oleh kru, khususnya perwira jaga mesin, dalam melakukan pemantauan, interpretasi data, dan tindakan prosedural terhadap sistem pendingin mesin induk. Kompetensi ini secara langsung dipengaruhi oleh kualitas dan frekuensi pelatihan serta pengalaman lapangan yang dimiliki. Dalam konteks insiden ini, kemampuan untuk mengenali gejala awal (*early signs*) seperti tren kenaikan suhu yang tidak normal, dan kemudian menghubungkannya dengan kemungkinan penyebab teknis seperti *fouling* pada *Heat Exchanger* atau malfungsi *thermostatic valve*, merupakan keterampilan kunci yang harus dimiliki.

Regulasi internasional secara tegas telah mengamankan persyaratan kompetensi minimum bagi perwira mesin. *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers* (STCW) Code, Section A-III/1, secara spesifik menetapkan standar kompetensi untuk perwira mesin yang bertugas jaga. Salah satu kompetensi intinya adalah kemampuan untuk "memantau dan mengoperasikan sistem utilitas kapal, termasuk sistem pendingin" (*monitor and operate shipboard auxiliary machinery systems, including cooling systems*). Standar ini mensyaratkan tidak hanya pengetahuan teoritis tetapi juga kemahiran praktis dalam menangani situasi abnormal. Pengetahuan yang memadai tentang prosedur pemantauan *parameter* seperti suhu, tekanan, dan aliran

pada sistem pendingin merupakan hal yang fundamental (IMO, 2022: 45).

Keterampilan Teknis Yang Harus Dimiliki Kru Mesin

1. System Monitoring and Data Interpretation

- a. Kemampuan mengoperasikan dan membaca instrumen pada panel kontrol mesin induk dan sistem pendingin.
- b. Kemampuan mengenali pola normal dari *parameter* sistem (*baseline performance*), seperti suhu *fresh water* dan *sea water*, tekanan, dan laju alir.
- c. Kemampuan mengidentifikasi secara dini adanya deviasi atau anomali dari *parameter* normal, misalnya tren kenaikan suhu yang konsisten meskipun dalam rentang belum mencapai *alarm*.
- d. Kemampuan membedakan antara fluktuasi sementara yang normal dengan perubahan yang mengindikasikan masalah serius.

2. Procedural Compliance and Emergency Response

- a. Pengetahuan mendalam tentang *Standing Order* dan *Engine Room Procedures* khususnya yang terkait dengan operasi dan penanganan darurat sistem pendingin.
- b. Kemampuan untuk melaksanakan *planned maintenance system* (PMS) untuk sistem pendingin sesuai dengan jadwal dan prosedur yang ditetapkan pabrik dan perusahaan.
- c. Kemampuan untuk menjalankan prosedur darurat (*emergency response*) secara tepat dan tenang ketika *alarm* berbunyi atau *parameter* terlampaui, seperti prosedur atau *shutdown* mesin induk.
- d. Kemampuan untuk memandu tindakan selama situasi normal maupun darurat guna mencegah kelalaian.

3. Analytical Troubleshooting and Root Cause Analysis

- a. Kemampuan untuk melakukan pendekatan sistematis dalam mendiagnosis masalah, tidak hanya berfokus pada gejala (*symptom*) tetapi mencari akar penyebab (*root cause*).

- b. Kemampuan menghubungkan hubungan sebab-akibat antara berbagai sistem, misalnya bagaimana kinerja *sea water cooling system* mempengaruhi efisiensi *fresh water cooling system*.
 - c. Kemampuan menggunakan alat bantu seperti diagram sistem (*system schematic*) untuk melacak aliran dan komponen yang berpotensi bermasalah.
 - d. Kemampuan untuk mengisolasi (*isolate*) komponen yang diduga rusak untuk memastikan diagnosis yang akurat.
4. **Practical Maintenance and Inspection Skills**
- a. Kemampuan praktis untuk membongkar, membersihkan, memeriksa, dan memasang kembali komponen kritis, seperti *Heat Exchanger*, *thermostatic valve*, dan pompa sirkulasi, sehingga peralatan dapat berfungsi sesuai standar operasional dan mencegah terjadinya gangguan pada sistem.
 - b. Kemampuan melakukan inspeksi visual untuk mendeteksi tanda-tanda awal korosi, kebocoran, *fouling*, atau keausan pada komponen sistem pendingin.
 - c. Kemampuan melakukan perawatan rutin seperti *chemical dosing* pada sistem pendingin, *bleeding* udara dari sistem, dan penggantian *sacrificial anode*.
 - d. Kemampuan menggunakan alat ukur dan alat bantu, seperti *infrared thermometer*, *pressure gauge*, serta alat pembersih tube atau *plate Heat Exchanger*, untuk memastikan kondisi operasional peralatan dapat dievaluasi dan dipelihara secara akurat.
5. **Communication and Reporting**
- a. Kemampuan melaporkan kondisi mesin dan setiap kejadian tidak normal (*abnormal event*) secara jelas, akurat, dan tepat waktu kepada *Chief Engineer* dan *Master*.
 - b. Kemampuan mendokumentasikan dengan baik semua temuan inspeksi, tindakan perbaikan, dan pelaksanaan pemeliharaan dalam *engine logbook*.

- c. Kemampuan berkomunikasi secara efektif dengan anggota tim jaga lainnya untuk mengkoordinasikan tindakan selama operasi rutin maupun situasi darurat.

B. Organisasi di atas Kapal

Efektivitas implementasi *Planned Maintenance System* (PMS) dan penjadwalan perawatan untuk sistem pendingin mesin induk. PMS merupakan kerangka kerja terstruktur yang dirancang untuk mencegah kegagalan peralatan melalui pemeliharaan yang terjadwal dan terdokumentasi. Dalam konteks insiden ini, ketidakefektifan dalam menjadwalkan dan melaksanakan aktivitas pemeliharaan preventif untuk komponen-komponen kritis sistem pendingin—seperti *Heat Exchanger*, *thermostatic valve*, dan jaringan pipa—dapat mengakibatkan akumulasi masalah yang tidak terdeteksi hingga mencapai titik kritis.

Regulasi internasional secara implisit mewajibkan penerapan sistem manajemen pemeliharaan yang terstruktur. *International Safety Management* (ISM) Code, Bagian 10.1, menyatakan bahwa perusahaan harus "memastikan bahwa pemeliharaan kapal dan peralatannya dilakukan sesuai dengan prosedur yang ditetapkan" (*ensure that the ship and its equipment are maintained in accordance with provisions of established procedures*). Kode ini menekankan pentingnya pendokumentasian dan penjadwalan yang jelas untuk semua aktivitas pemeliharaan, termasuk inspeksi rutin dan pembersihan komponen sistem pendingin (IMO, 2022: 28).

Lebih lanjut, *International Convention for the Safety of Life at Sea* (SOLAS) Bab II-1/Regulasi 3-1 mensyaratkan bahwa "kapal dan peralatannya harus dipelihara sedemikian rupa untuk memastikan, sejauh yang dapat dicapai secara wajar, kesesuaiannya dengan kondisi yang diatur dalam sertifikat keselamatan" (*The ship and its equipment shall be maintained to conform to the provisions of the present regulations to ensure that the ship in all respects will remain fit to proceed to sea without danger to the ship or persons on board*).

Pernyataan ini menciptakan kewajiban hukum bagi perusahaan pelayaran untuk menerapkan sistem pemeliharaan yang dapat mencegah degradasi sistem kritis seperti sistem pendingin mesin induk.

Tugas dan Tanggung Jawab Kru Terkait Insiden Sistem Pendingin

1. **Captain/Master** Bertanggung jawab penuh atas keselamatan kapal secara keseluruhan. Atas insiden ini, *Captain* harus memastikan bahwa laporan insiden disampaikan kepada perusahaan dan otoritas terkait sesuai prosedur, serta mendukung keputusan teknis *Chief Engineer* untuk menghentikan mesin guna mencegah kerusakan yang lebih parah.
2. **Chief Engineer** Sebagai penanggung jawab tertinggi di departemen mesin, *Chief Engineer* bertanggung jawab atas pemeliharaan semua sistem permesinan, termasuk sistem pendingin mesin induk. Atas insiden ini, kegagalan dalam mengawasi pelaksanaan *Planned Maintenance System (PMS)*—seperti pembersihan *Heat Exchanger* dan inspeksi *thermostatic valve*—serta kurangnya pengawasan terhadap prosedur pemantauan yang dilakukan oleh anak buahnya menjadi faktor kontribusi utama.
3. **Second Engineer/First Assistant Engineer** Biasanya bertugas mengelola pemeliharaan harian dan teknis. Dalam konteks ini, *Second Engineer* mungkin gagal dalam menjadwalkan dan melaksanakan pemeliharaan preventif pada komponen kritis sistem pendingin, seperti pembersihan *Heat Exchanger* dan kalibrasi katup, yang mengakibatkan penumpukan kotoran dan kegagalan komponen.
4. **Third Engineer/Second Assistant Engineer** Sering ditugaskan untuk mengoperasikan dan memelihara sistem pendingin serta mesin induk. *Third Engineer* kemungkinan tidak melakukan pemantauan *parameter* sistem (seperti tren kenaikan suhu)

dengan cermat, atau tidak melaporkan gejala abnormal secara tepat waktu, sehingga menghambat tindakan korektif dini.

5. **Fourth Engineer/Third Assistant Engineer & Oiler** Bertugas membantu perawatan rutin dan memantau sistem mesin. Kurangnya pelatihan atau pengawasan dapat menyebabkan mereka tidak mampu mendeteksi tanda-tanda awal masalah, seperti kebocoran kecil atau korosi pada pipa pendingin, selama inspeksi rutin mereka.
6. **Electrical Engineer** Bertanggung jawab atas sistem kontrol dan instrumentasi. Kegagalan dalam memastikan sensor suhu dan sistem *alarm fresh water jacket cooling* berfungsi dengan akurat dapat menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi kenaikan suhu yang berbahaya.
7. **Deck Department (Deck Officers & Ratings)** Meskipun tidak bertanggung jawab langsung atas sistem mesin, kru dek harus memahami prosedur darurat. Dalam situasi ini, mereka harus siap mendukung komunikasi dan koordinasi jika diperlukan, serta memahami dampak operasional dari gangguan mesin induk terhadap keselamatan pelayaran.

C. Faktor Pekerjaan dan Lingkungan Kerja

Ketersediaan dan Kesesuaian Alat Kerja

Ketersediaan dan kesesuaian alat kerja, alat ukur, suku cadang kritis, dan perlengkapan untuk pemeliharaan sistem pendingin. Ketidaktersediaan alat yang tepat, seperti alat pembersih *Heat Exchanger* yang khusus, *calibration tool* untuk *thermostatic valve*, atau alat ukur suhu yang akurat, dapat menghambat pelaksanaan pemeliharaan preventif yang berkualitas, yang berujung pada akumulasi masalah yang tidak terdeteksi.

Regulasi internasional secara tegas mewajibkan kapal untuk dilengkapi dengan peralatan dan suku cadang yang memadai. *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) Bab II-*

1/Regulasi 3-2 mensyaratkan bahwa "kapal harus dilengkapi dengan suku cadang, peralatan, dan material operasional yang memadai sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan" (*ships shall be provided with adequate spare parts, tools and operational documentation as specified*). Amanat ini menekankan bahwa kesiapan operasional kapal tidak hanya bergantung pada peralatan utama, tetapi juga pada kelengkapan pendukungnya untuk pemeliharaan dan perbaikan (IMO, 2021: 67).

The International Safety Management (ISM) Code, Bagian 10.2, lebih lanjut mewajibkan perusahaan untuk "memastikan bahwa peralatan kritis kapal dan sistem teknis diidentifikasi dan bahwa tindakan pengamanan khusus untuk operasinya dibuat" (*ensure that critical shipboard equipment and technical systems are identified and that special measures are taken to ensure their operation*). Sistem pendingin mesin induk jelas merupakan sistem kritis, dan "tindakan pengamanan khusus" harus mencakup ketersediaan alat khusus, prosedur pemeliharaan, dan suku cadang kritis untuk memastikan keandalannya.

Alat Yang Diperlukan Untuk Pemeliharaan Sistem Pendingin Mesin Induk

1. Alat Perawatan *Heat Exchanger*

- a. *Tube cleaning kit* (untuk *shell and tube Heat Exchanger*) atau *plate cleaning kit* (untuk *plate Heat Exchanger*)
- b. *Hydraulic pressure testing pump* untuk uji tekanan setelah perakitan
- c. *Gasket cutter* dan material *gasket* untuk pembuatan *gasket* baru
- d. *Torque wrench* untuk pengencangan baut sesuai spesifikasi pabrik

2. Instrumen Kalibrasi dan Pengujian

- a. *Infrared thermometer* untuk verifikasi pembacaan suhu di berbagai titik
- b. *Portable temperature calibrator* untuk kalibrasi sensor dan

pemancar suhu

- c. *Pressure gauge calibrator* untuk kalibrasi alat ukur tekanan
- d. *Multimeter* digital untuk pengujian rangkaian sensor dan katup termostat

3. Peralatan Pengolahan dan Analisis Air

- a. *Water testing kit* untuk analisis kimia air pendingin (*pH*, *klorida*, *kekerasan*)
- b. *Refractometer* untuk mengukur konsentrasi *inhibitor* pendingin
- c. *Chemical dosing pump* yang terkalibrasi untuk injeksi inhibitor

4. Alat Perawatan Mekanik

- a. *Pipe inspection camera* untuk inspeksi visual bagian dalam pipa
- b. *Ultrasonic thickness gauge* untuk mengukur ketebalan dinding pipa dan *Heat Exchanger*
- c. Alat potong dan ulir pipa untuk perbaikan saluran pendingin
- d. *Flange alignment tools* untuk pemasangan *flange* yang tepat

5. Alat Keselamatan dan Perlindungan Diri (*PPE*)

- a. Sarung tangan tahan panas dan pelindung wajah untuk menangani komponen panas
- b. Kacamata pelindung cipratan kimia untuk penanganan bahan kimia pendingin
- c. Pelindung pendengaran untuk lingkungan bising di ruang mesin

6. Dokumentasi dan Materi Referensi

- a. Manual pabrik pembuat asli (*OEM*) untuk *Heat Exchanger* dan katup termostat
- b. Diagram skema untuk pemecahan masalah (*troubleshooting*)
- c. Sertifikat kalibrasi dan laporan pengujian untuk alat ukur

7. Persediaan Suku Cadang

- a. Katup termostat cadangan dan *actuator*
- b. *Gasket* dan *seal* cadangan untuk *Heat Exchanger* dan pompa
- c. Sensor suhu dan pemancar tekanan cadangan
- d. Anoda seng cadangan untuk sistem pendingin air tawar

D. Faktor Kapal

Perawatan yang reaktif, tidak terjadwal, dan tidak memenuhi standar teknis pabrik pembuat peralatan dapat mengakibatkan akumulasi masalah seperti korosi, fouling, dan keausan komponen yang tidak terdeteksi hingga mencapai titik kritis. Sistem pendingin mesin induk memerlukan pendekatan perawatan yang komprehensif dan proaktif untuk mencegah degradasi kinerja secara bertahap.

Regulasi internasional secara tegas mewajibkan dilakukannya perawatan terhadap kapal dan seluruh peralatannya. *International Safety Management (ISM) Code*, Bagian 10.1, secara eksplisit menyatakan bahwa perusahaan harus "memastikan bahwa kapal dan peralatannya dipelihara sesuai dengan prosedur yang ditetapkan" (*ensure that the ship and its equipment are maintained in accordance with provisions of established procedures*). Prosedur yang dimaksud harus mencakup jadwal perawatan rutin, inspeksi, dan pemantauan kondisi untuk sistem kritis seperti sistem pendingin mesin induk (IMO, 2022: 28).

Lebih lanjut, *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)* Bab II-1/Regulasi 3-1 menetapkan kewajiban bahwa "kapal dan peralatannya harus dipelihara untuk memastikan kesesuaiannya dengan ketentuan konvensi ini" (*The ship and its equipment shall be maintained to conform to the provisions of the present regulations*). Pernyataan ini menciptakan kewajiban hukum yang bersifat terus-menerus, yang berarti perawatan harus dilaksanakan secara konsisten sepanjang usia operasional kapal, bukan hanya pada saat inspeksi.

Perawatan Sistem Pendingin Mesin Induk

1. Pembersihan dan Inspeksi *Heat Exchanger*

- a. Pembersihan rutin *plate Heat Exchanger* atau *tube bundle* dari kerak dan kotoran
- b. Inspeksi visual terhadap korosi, erosi, dan kebocoran pada pelat atau pipa

- c. Pressure test setelah perakitan ulang untuk memastikan tidak ada kebocoran
 - d. Penggantian *gasket* dan *seal* sesuai interval yang direkomendasikan
2. **Kalibrasi dan Pengujian Sistem Kontrol**
 - a. Kalibrasi berkala sensor suhu dan tekanan
 - b. Pengujian fungsi *thermostatic valve* dan actuator
 - c. Verifikasi akurasi pembacaan instrumen di panel kontrol
 - d. Pengujian sistem *alarm* dan shutdown otomatis
 3. **Perawatan Sistem Air Pendingin**
 - a. Analisis kimia air pendingin secara berkala (*pH, chloride, inhibitor concentration*)
 - b. Pembersihan dan penggantian *filter* air pendingin
 - c. Pengecekan dan penggantian *sacrificial anode*
 - d. *Chemical dosing* yang tepat sesuai hasil analisis air
 4. **Inspeksi Mekanikal dan Visual**
 - a. Pemeriksaan visual pipa dan saluran pendingin untuk deteksi korosi
 - b. Pengukuran ketebalan pipa dengan *ultrasonic thickness gauge*
 - c. Pemeriksaan kondisi pompa sirkulasi dan impeller
 - d. Pengecekan kebocoran pada flange dan sambungan
 5. **Perawatan Katup dan Pipa**
 - a. Operasional katup isolasi secara berkala untuk mencegah macet
 - b. Pembersihan strainer dan *filter* pada sistem pendingin
 - c. Pressure test saluran pendingin sesuai jadwal
 - d. Inspeksi support dan hanger pipa
 6. **Manajemen Suku Cadang**
 - a. Penyediaan suku cadang kritis (*thermostatic valve, sensor, gasket*)
 - b. Rotasi persediaan suku cadang sesuai masa berlaku
 - c. Pencatatan penggunaan suku cadang untuk forecasting

- d. Penyimpanan suku cadang yang sesuai dengan spesifikasi pabrik

7. Dokumentasi dan Analisis Data

- a. Pencatatan hasil perawatan dalam *engine logbook*
- b. Analisis tren suhu dan tekanan operasional
- c. Update *Planned Maintenance System* berdasarkan kondisi aktual
- d. Review laporan perawatan untuk peningkatan berkelanjutan

8. Pelatihan dan Prosedur

- a. Pelatihan rutin untuk kru mengenai prosedur perawatan
- b. Update prosedur mengikuti rekomendasi pabrik pembuat
- c. Simulasi penanganan keadaan darurat sistem pendingin
- d. Pembaruan manual teknis dan diagram system

E. Faktor Manajemen Perusahaan Pelayaran

Komitmen ini tidak hanya sebatas pernyataan formal di atas kertas, tetapi harus tercermin dalam alokasi sumber daya, prioritas anggaran, dan keputusan strategis yang mendukung pemeliharaan dan peningkatan keselamatan kapal. Tanpa komitmen yang kuat dan konsisten dari manajemen, program keselamatan dan pemeliharaan akan cenderung diabaikan ketika berhadapan dengan tekanan operasional dan target komersial.

Regulasi internasional secara eksplisit mewajibkan komitmen aktif dari manajemen puncak. *International Safety Management (ISM) Code*, Bagian 1.2.2, menetapkan bahwa "perusahaan harus menetapkan kebijakan keselamatan dan pencegahan pencemaran yang mendorong continuous improvement" (*the Company should establish a safety and environmental protection policy which describes how the objectives will be achieved*). Lebih penting lagi, Bagian 1.4 mensyaratkan bahwa "jaminan harus diberikan bahwa otoritas dan tanggung jawab yang ditetapkan didefinisikan, didokumentasikan, dan dikomunikasikan di dalam semua level organisasi" (*ensure that the*

authority and interrelation of all personnel are defined and documented) (IMO, 2022: 8-9).

Komitmen manajemen ini harus diwujudkan dalam bentuk penyediaan sumber daya yang memadai. ISM Code Bagian 3.2 mewajibkan perusahaan untuk "memastikan bahwa sumber daya dan dukungan yang memadai disediakan untuk memungkinkan orang yang ditunjuk melaksanakan fungsinya" (*ensure that adequate resources and shore-based support are provided*). Sumber daya ini mencakup anggaran untuk suku cadang berkualitas, alat kerja yang tepat, pelatihan berkelanjutan bagi awak kapal, dan akses ke keahlian teknis darat. Kurangnya alokasi anggaran untuk pemeliharaan preventif sistem kritis seperti pendingin mesin induk merupakan indikasi kuat lemahnya komitmen manajemen.

Komitmen ini juga harus tercermin dalam budaya pelaporan tanpa rasa takut (*non-punitive reporting culture*). ISM Code Bagian 9.1 mewajibkan perusahaan untuk "menetapkan prosedur untuk melaporkan kecelakaan dan ketidaksesuaian" (*establish procedures for the reporting of accidents and hazardous situations*). Manajemen harus secara aktif mendorong awak kapal untuk melaporkan setiap kondisi tidak normal, termasuk gejala awal penurunan kinerja sistem pendingin, tanpa khawatir akan dampak negatif terhadap karier mereka.

F. Faktor dari Luar Kapal

Regulasi internasional mengakui pentingnya kualitas lingkungan laut meskipun tidak secara langsung mengatur spesifikasi teknis air pendingin. *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships* (MARPOL) Annex IV mengatur pembuangan limbah dari kapal, sementara Annex V mengatur pembuangan sampah, yang secara tidak langsung mempengaruhi kualitas air laut. Namun, tanggung jawab utama untuk merancang sistem yang toleran terhadap variasi kualitas air laut tetap berada pada perusahaan pelayaran dan pabrik pembuat peralatan (IMO, 2023: 112).

International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) Bab II-1/Regulasi 3-1 menetapkan kewajiban umum bahwa "kapal dan peralatannya harus dipelihara untuk memastikan kesesuaiannya dengan ketentuan konvensi ini" (*The ship and its equipment shall be maintained to conform to the provisions of the present regulations*). Pernyataan ini menciptakan kewajiban bagi perusahaan untuk mempertimbangkan semua kondisi operasional yang wajar, termasuk variasi kualitas air laut di berbagai wilayah pelayaran, dalam program pemeliharaan kapal.

Biro Klasifikasi seperti *Biro Klasifikasi Indonesia* (BKI) dalam *Rules for Machinery Installations* mensyaratkan bahwa sistem pendingin harus dirancang untuk beroperasi dalam kondisi lingkungan tertentu. Meskipun tidak secara spesifik menentukan *parameter* kualitas air, aturan ini mengimplikasikan bahwa sistem harus memiliki margin keamanan yang memadai untuk mengatasi kondisi air laut yang kurang ideal yang mungkin dihadapi selama operasional normal.