

**ANALISA PENYEBAB KERUSAKAN *HEAT EXCHANGER*
(*LUBE OIL COOLER*) TERHADAP KONTAMINASI OLI DAN
AIR PADA MESIN INDUK DI KAPAL NAUTILUS TUG (NTT)
BERUAS**



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

ANDI RUDI IRAWAN
NIS: 25.11.102.004
AHLI TEKNIKTINGKAT I

PROGRAM DIKLAT PELAUT TINGKAT I
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN MAKASAR

2026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : ANDI RUDI IRAWAN
Nomor Induk Siswa : 25.11.102.004
Program Pelatihan : Ahli TEKNIKA Tingkat I

Menyatakan bahwa KIT dengan judul:

ANALISA PENYEBAB KERUSAKAN *HEAT EXCHANGER (LUBE OIL COOLER)* TERHADAP KONTAMINASI OLI DAN AIR PADA MESIN INDUK DI KAPAL NAUTILUS TUG (NTT) BERUAS

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, 23 Januari 2026



ANDI RUDI IRAWAN
NIS : 25.11.102.004

**PERSETUJUAN SEMINAR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

Judul : **ANALISA PENYEBAB KERUSAKAN HEAT
EXCHANGER (LUBE OIL COOLER) TERHADAP
KONTAMINASI OLI DAN AIR PADA MESIN INDUK
DI KAPAL NAUTILUS TUG (NTT) BERUAS**

Nama Pasis : **ANDI RUDI IRAWAN**

Nomor Induk Siswa : **25.11.102.004**

Program Diklat : **Ahli TEKNIKATingkat I**

Dengan ini dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diseminarkan.

Makassar, 21 Januari 2026

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. SARIFUDDIN, M. Pd., M. Mar. E
NIP. 19671209 1999031001



Ir. FRANS TANDIBURA, S.T., M.M., M. Mar. E

Mengetahui:
Manager Diklat
Peningkatan dan Penjenjangan



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

ANALISA PENYEBAB KERUSAKAN *HEAT EXCHANGER (LUBE OIL COOLER)* TERHADAP KONTAMINASI OLI DAN AIR PADA MESIN INDUK DI KAPAL NAUTILUS TUG (NTT) BERUAS

Disusun dan Diajukan Oleh:

ANDI RUDI IRAWAN
NIS. 25.11.102.004
Ahli TEKNIKATingkat I

Telah dipresentasikan di depan Panitia Ujian KIT
Pada Tanggal 23 January 2026

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. SARIFUDDIN, M. Pd., M.Mar.E **Ir. FRANS TANDIBURA, S.T., M.M., M.Mar.E**
NIP. 19671209 1999031001

Mengetahui:

A.n Direktur

Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
Pembantu Direktur I



Capt Faisa Saransi, MT., M.Mar.
NIP. 197503291999031002

KATA PENGANTAR

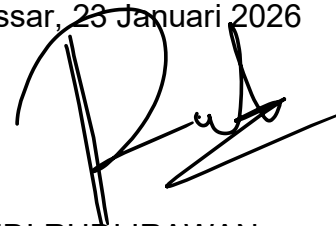
Puji dan syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas segala rahmat dan karunia-Nya yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan KIT ini. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan bagi Perwira Siswa Jurusan Ahli TEKNIKA Tingkat I (ANT I) dalam menyelesaikan studinya pada program ANT I di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.

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. Sarifuddin, M. Pd., M. Mar. E selaku pembimbing I penulisan KIT Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar
4. Ir. Frans Tandibura, S.T., M.M.,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 TEKNIKA Tingkat I di PIP Makassar.
6. Rekan-rekan Pasis Angkatan XLVIII Tahun 2025
7. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak, Ibu, Istri, Anak serta saudara saudaraku 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.

Makassar, 23 Januari 2026



ANDI RUDI IRAWAN

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PERSETUJUAN SEMINAR	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Batasan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian	3
E. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Faktor Manusia	9
B. Organisasi diatas Kapal	12
C. Pekerjaan dan Lingkungan Kerja	14
D. Faktor Kapal	15
E. Faktor Manajemen Perusahaan Pelayaran	17
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Observasi/Pengamatan	19
B. Intrview/Wawancara	19
C. Studi Pustaka	20
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
A. Lokasi Kejadian	21
B. Situasi dan Kondisi	21
C. Temuan	25
D. Urutan Kejadian	35
BAB V PENUTUP	
A. Simpulan	41
B. Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	44
RIWAYAT HIDUP	49

DAFTAR TABEL

4.1	Tabel Kondisi Oli Pelumas	24
4.2	Tabel Kondisi <i>Heat Exchanger (LO cooler)</i>	24
4.3	Tabel Kondisi Operasi Mesin Induk	24
4.4	Tabel Urutan Kejadian	35

DAFTAR GAMBAR

4.1	Gambar Kerusakan <i>Heat Exchanger (LO cooler)</i>	25
4.2	Gambar Perbaikan <i>MGPS System</i>	27

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Gambar Kapal	43
Lampiran 2 : Sketsa Sistem Pelumasan	43
Lampiran 3 : <i>Lube Oil Cooler</i>	44
Lampiran 4 : Kerusakan <i>Heat Exchanger</i>	45
Lampiran 5 : Pemeriksaan <i>L.O Cooler</i>	45
Lampiran 6 : <i>Engine Room</i>	46
Lampiran 7 : <i>Crew List</i>	47
Lampiran 8 : <i>Ship Particulars</i>	48

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Heat exchanger (Lube oil cooler) merupakan komponen kritis dalam sistem pelumasan mesin induk kapal. Fungsinya adalah untuk mendinginkan oli pelumas agar suhu kerja mesin tetap optimal dan mencegah *overheating*. Namun, integritas *Heat exchanger (Lube oil cooler)* sering kali terancam oleh kondisi operasional yang keras di lingkungan laut, seperti getaran konstan, tekanan tinggi, dan paparan fluida dengan kualitas variatif. Ketika komponen ini mengalami gangguan, salah satu akibat yang paling serius adalah terjadinya kontaminasi silang antara oli pelumas dengan air pendingin. Kontaminasi ini mengancam efektivitas pelumasan secara langsung, yang pada akhirnya dapat mengganggu keandalan dan keselamatan operasional mesin induk.

Dalam konteks regulasi, keberadaan dan kondisi *Heat exchanger (LO Cooler)* serta sistem pelumasan diatur secara ketat untuk menjamin keselamatan kapal. Peraturan klasifikasi seperti dari *Bureau Veritas (BV)* dan konvensi internasional SOLAS (*Safety of Life at Sea*) menetapkan standar perawatan dan inspeksi berkala. Secara spesifik, aturan-aturan tersebut mewajibkan pemeriksaan tekanan (*pressure test*) pada *Heat exchanger (LO Cooler)* secara periodik untuk mendeteksi kebocoran, serta analisis laboratorium terhadap sampel oli secara rutin guna memantau kemurniannya. Pelanggaran atau kelalaian dalam memenuhi standar ini dapat dianggap sebagai bentuk non-kepatuhan yang membahayakan keselamatan kapal dan awaknya, dengan konsekuensi hukum yang jelas.

Berdasarkan pengalaman penulis di atas kapal, pada tanggal 1 Agustus 2025 di Vale Terminal Lumut Port, Oli pelumas mesin terkontaminasi oleh air, bermula dari kewaspadaan awak kamar mesin

dalam menjalankan rutinitas harian. Saat petugas oli atau *oiler duty* melakukan pengecekan Level oli di tangki *sump* Mesin Induk, ia langsung menyadari ada yang tidak beres. Warna oli pelumas yang seharusnya jernih dan cokelat kekuningan telah berubah menjadi keruh dan tampak berwarna putih seperti susu. Perubahan fisik yang jelas ini adalah tanda bahaya utama yang tidak bisa diabaikan, karena langsung mengindikasikan adanya air yang telah bercampur ke dalam sistem pelumasan. Dalam pengalaman di lapangan, temuan visual seperti ini selalu menjadi alarm untuk segera bertindak. *Oiler duty* pun segera melaporkan kondisi ini kepada Kepala Kamar Mesin atau *Chief Engineer*, karena jika dibiarkan, oli yang terkontaminasi dapat menyebar dan berpotensi menyebabkan kerusakan parah pada bantalan dan permukaan logam di dalam mesin yang bergerak dengan kecepatan tinggi.

Oleh karena itu, masalah kontaminasi oli dan air pada mesin induk tidak dapat dilihat sebagai kejadian insidental semata. Ini adalah manifestasi dari interaksi antara keandalan perangkat keras, kepatuhan terhadap regulasi, tekanan lingkungan kerja, dan efektivitas prosedur pemeliharaan. Pemahaman menyeluruh terhadap latar belakang ini penting untuk membangun pendekatan pencegahan yang lebih komprehensif dan proaktif.

Berdasarkan pengalaman di atas, penulis tertarik untuk mengangkat masalah tersebut dan menuangkannya dalam bentuk Karya Ilmiah Terapan (KIT) dengan judul **“Analisa Penyebab Kerusakan *Heat exchanger (Lube oil cooler)* Terhadap Kontaminasi Oli Dan Air Pada Mesin Induk Di Kapal NTT Beruas”**

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Apa faktor penyebab kerusakan *Heat exchanger (Lube oil cooler)* yang mengakibatkan kontaminasi oli dengan air pada mesin induk

Kapal NTT Beruas?

2. Bagaimana dampak dari kontaminasi oli dengan air tersebut terhadap kinerja dan keandalan (*reliability*) mesin induk Kapal NTT Beruas
3. Apa Tindakan *Engineer* sebagai solusi untuk mengatasi kerusakan pada *Heat Exchanger (Lube oil cooler)* di kapal NTT Beruas?

C. Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan, dibatasi pada investigasi akar penyebab kerusakan *Heat exchanger (Lube oil cooler)* dan terjadinya kontaminasi silang antara oli pelumas (*lube oil*) dengan air pendingin pada mesin induk di kapal NTT Beruas serta apa langkah yang diambil dalam mengatasi kerusakan tersebut, berdasarkan insiden yang terdeteksi pada 1 Agustus 2025 di Vale Terminal Lumut Port. Pembahasan akan difokuskan pada periode mulai dari deteksi gejala, proses *troubleshooting* di lapangan, hingga identifikasi titik kegagalan pada komponen *heat exchanger (Lube oil cooler)*. dan apa tindakan *engineer* sebagai solusi untuk mengatasi kerusakan setelah masalah ditemukan.

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Untuk Mengetahui apa faktor penyebab kerusakan *Heat exchanger (Lube oil cooler)* yang mengakibatkan kontaminasi oli dengan air pada mesin induk Kapal NTT Beruas?
2. Untuk mengetahui dampak dari kontaminasi oli dengan air tersebut terhadap kinerja dan keandalan (*reliability*) mesin induk Kapal NTT Beruas?
3. Untuk mengetahui tindakan *Engineer* sebagai solusi mengatasi kerusakan pada *Heat Exchanger (Lube oil cooler)* di kapal NTT Beruas

E. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

- a. Melengkapi referensi teknik kelautan khususnya studi kasus kegagalan *Heat exchanger (Lube oil cooler)* dan kontaminasi fluida.
- b. Memberikan kontribusi pada pemahaman mengenai mekanisme dan pola kerusakan komponen kritis di lingkungan maritim.

2. Manfaat Praktisnya

- a. Sebagai panduan atau *checklist* prosedur *troubleshooting* sistematis untuk insiden serupa di kapal.
- b. Menjadi bahan evaluasi untuk meningkatkan efektivitas program pemeliharaan (*maintenance*) pencegahan (*preventive*) dan prediktif (*predictive*) pada *heat exchanger (Lube oil cooler)*.
- c. Membantu dalam pengambilan keputusan teknis terkait inspeksi, penggantian, atau pemilihan material komponen yang lebih andal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Pelumasan Mesin Induk di Kapal

Sistem pelumasan mesin induk merupakan sistem vital yang berfungsi untuk mengurangi gesekan, mendinginkan komponen, membersihkan kotoran, dan mencegah korosi pada seluruh bagian bergerak di dalam mesin induk (Prasetyo, H. 2019). Sistem ini memastikan bahwa oli pelumas didistribusikan secara merata ke semua bantalan (*bearings*), poros engkol (*crankshaft*), silinder, dan komponen kritis lainnya, sehingga menjaga keandalan dan umur pakai mesin. Sistem ini terdiri dari tangki oli (*sump tank*), pompa sirkulasi, *filter*, *cooler* (penukar panas), dan jaringan pipa distribusi yang kompleks (Gambar sketsa system pelumasan terlampir 2).

Menurut standar klasifikasi *Bureau Veritas* (BV) dan rekomendasi pabrik pembuat mesin (*Original Equipment Manufacturer/OEM*), sistem pelumasan harus mampu menjaga tekanan oli yang stabil, viskositas yang sesuai, serta suhu oli dalam rentang optimal, umumnya 45–55°C setelah melewati *lube oil cooler*. Efisiensi sistem pelumasan sangat bergantung pada kebersihan dan integritas oli serta kondisi seluruh komponen pendukung, khususnya *lube oil cooler* yang berfungsi sebagai penukar panas antara oli pelumas dan air pendingin. Apabila kinerja *lube oil cooler* menurun akibat kotoran, penyumbatan, atau kebocoran internal, maka suhu oli akan meningkat dan berdampak langsung pada penurunan kualitas pelumasan serta keandalan mesin induk.

Fungsi Utama Sistem Pelumasan Mesin Induk:

1. Pelumasan (*Lubrication*): Membentuk lapisan film oli (*oil film*) di antara permukaan logam yang bergesekan untuk mengurangi keausan.
2. Pendinginan (*Cooling*): Membuang panas dari komponen mesin yang panas seperti bantalan dan piston.
3. Pembersihan (*Cleaning*): Membersihkan partikel logam, karbon, dan kotoran dari dalam mesin lalu menyaringnya.

4. Perlindungan (*Protection*): Mencegah korosi dan karat pada permukaan logam bagian dalam mesin.
5. Perapat (*Sealing*): Membantu menyekat celah kecil antara ring piston dan dinding silinder.

Komponen Utama Sistem Pelumasan:

Menurut Daryanto dalam bukunya yang berjudul “Sistem Pendinginan pelumasan” (2012:36) peralatan penunjang pada system pelumasan yaitu:

1. *Lube oil cooler* (Pendingin Oli / *Heat Exchanger*) *Lube oil cooler* adalah komponen inti yang berfungsi mendinginkan oli panas yang telah menyerap panas dari mesin, dengan menggunakan air laut atau air tawar sebagai media pendingin. Integritasnya sangat kritis untuk mencegah pencampuran (*cross-contamination*) antara oli dan air (gambar *Lube oil cooler* terlampir 3).

Karakteristik Lube Oil Cooler:

- a. Biasanya tipe *shell and tube*, di mana oli mengalir di sisi *shell* dan air pendingin di dalam *tube*.
 - b. Terbuat dari bahan tahan korosi seperti paduan tembaga-nikel (CuNi) atau titanium untuk *tube*-nya
 - c. Dilengkapi dengan *end covers* yang dapat dibongkar untuk inspeksi dan pembersihan *tube Bundle*.
 - d. Memiliki katup *bypass* untuk mengatur suhu oli.
2. Tangki Oli Induk (*Main Lube Oil Sump Tank*) Tangki ini berfungsi sebagai *reservoir* atau penampung oli pelumas utama untuk sistem sirkulasi. Dilengkapi dengan peralatan pemantauan seperti *level gauge*, *temperature sensor*, dan *sampling point*.

Karakteristik Tangki Oli:

- a. Kapasitasnya dirancang untuk menampung seluruh volume oli sirkulasi ditambah cadangan.
- b. Memiliki *cofferdam* atau jaket pemanas (*heating jacket*) untuk menjaga viskositas oli di daerah dingin.
- c. Dilengkapi dengan *sounding pipe* dan *air vent*.

- d. Terdapat *suction strainer* di saluran isap pompa.
3. Pompa Sirkulasi Oli (*Lube Oil Pumps*) Bertugas untuk mensirkulasikan oli bertekanan ke seluruh sistem. Biasanya terdiri dari satu pompa utama dan satu atau lebih pompa cadangan (*stand-by*).
Karakteristik Pompa:
- a. Biasanya jenis pompa roda gigi (*gear pump*) yang handal dan mampu memberikan tekanan konstan.
 - b. Dilengkapi dengan *relief valve* untuk keamanan sistem dari tekanan berlebih.
 - c. Dikendalikan secara otomatis untuk menjaga tekanan yang dibutuhkan mesin.
4. Penyaring Oli (*Lube oil filters*) Berfungsi untuk menyaring kotoran dan partikel abrasif dari oli yang bersirkulasi, menjaga kebersihan oli.
Karakteristik Filter:
- a. Dapat berupa *filter single* atau duplex (dengan katup pengalih untuk pembersihan saat operasi).
 - b. Dilengkapi dengan *differential pressure gauge* untuk mengindikasikan kondisi penyumbatan.
 - c. Memiliki elemen filter yang dapat diganti (*replaceable cartridge*).

Pendinginan Tertutup

Proses pendinginan tertutup (air tawar) adalah sistem pendinginan mesin yang menggunakan air tawar yang bersirkulasi secara tertutup di dalam mesin dan tidak bersentuhan langsung dengan air laut. Sistem ini bertujuan menjaga suhu kerja mesin tetap stabil, mencegah panas berlebih, serta melindungi komponen mesin dari korosi dan kerak yang biasa ditimbulkan oleh air laut (Taylor, 1996).

Pada proses ini, air tawar dipompa oleh fresh water cooling pump menuju bagian-bagian mesin yang panas, seperti *cylinder jacket*, *cylinder head*, *liner*, dan *valve area*. Ketika mesin bekerja, panas hasil pembakaran diserap oleh air tawar tersebut. Air tawar tidak dibuang, melainkan terus bersirkulasi dalam sistem, sehingga disebut sebagai

sistem tertutup.

Setelah menyerap panas dari mesin, air tawar panas dialirkan ke *heat exchanger (fresh water cooler)*. Di dalam *heat exchanger*, panas dari air tawar dipindahkan ke air laut yang mengalir di sisi lain pipa. Air laut berfungsi sebagai media pendingin, tetapi tidak bercampur dengan air tawar. Dengan proses ini, suhu air tawar turun kembali ke suhu kerja yang aman.

Air tawar yang sudah dingin kemudian kembali ke mesin melalui pipa balik, dan siklus pendinginan ini berlangsung terus-menerus selama mesin beroperasi. Untuk menjaga suhu tetap konstan, sistem ini dilengkapi dengan *thermostatic valve*, yang mengatur apakah air tawar langsung kembali ke mesin atau terlebih dahulu melewati *cooler*, tergantung pada temperatur air.

Keunggulan sistem pendinginan tertutup air tawar adalah perlindungan mesin lebih baik, karena air tawar tidak menyebabkan karat dan endapan garam seperti air laut. Pendingin air tawar juga dapat di campur dengan *chemical* yang tentunya harus sesuai dengan *manual maker mesin / chemical supplier*. Selain itu, suhu mesin lebih mudah dikontrol sehingga umur mesin lebih panjang dan performa lebih stabil. Oleh karena itu, sistem ini banyak digunakan pada mesin induk dan mesin bantu kapal modern.

Alur sistem pendinginan tertutup (air tawar) dalam bentuk poin:

1. Air tawar disimpan di *expansion tank* sebagai cadangan dan tempat pemuain.
2. *Fresh water cooling pump* memompa air tawar ke sistem pendinginan mesin.
3. Air tawar mengalir ke *jacket water* dan menyerap panas dari *cylinder liner, cylinder head*, dan bagian panas mesin lainnya.
4. Air tawar yang telah panas keluar dari mesin menuju *thermostatic valve*.
5. Jika suhu masih rendah, air tawar langsung kembali ke mesin tanpa melewati *cooler*.

6. Jika suhu tinggi, *thermostatic valve* mengarahkan air ke *fresh water cooler (heat exchanger)*.
7. Di dalam cooler, panas air tawar dipindahkan ke air laut tanpa tercampur.
8. Air laut yang membawa panas dibuang ke *overboard*.
9. Air tawar yang sudah dingin kembali ke mesin untuk bersirkulasi ulang.
10. Sensor suhu dan sistem *alarm* memantau temperatur agar tetap dalam batas normal.

A. Faktor Manusia

Pengetahuan dan Keterampilan kru

Kecakapan teknis awak kapal, terutama di departemen mesin, adalah benteng pertama dalam mencegah dan mendeteksi dini kerusakan peralatan kritis seperti *heat exchanger*. Pengetahuan yang memadai tentang prinsip kerja, komponen rentan (seperti *tube*, *gasket*, dan *tube sheet*), serta gejala awal kegagalan sangat menentukan. Seorang *oiler* atau *engineer* yang terlatih akan mampu membedakan antara kondisi oli normal dan terkontaminasi hanya dari *visual check* dan *sounding* rutin, serta memahami alur *troubleshooting* yang sistematis ketika anomali terdeteksi.

Kurangnya pemahaman mendalam dapat menyebabkan gejala awal, seperti perubahan warna oli yang sedikit keruh, terlewatkan atau dianggap remeh. Pelatihan yang tidak komprehensif juga berisiko menghasilkan prosedur inspeksi *Heat exchanger (Lube oil cooler)* yang tidak tepat, misalnya dalam melakukan *pressure test* atau interpretasi hasilnya, sehingga kebocoran kecil yang berpotensi menjadi besar tidak teridentifikasi selama inspeksi berkala. Regulasi internasional secara tegas mengamankan hal ini.

Konvensi *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW)* 1978 yang telah diamandemen, khususnya Bab III yang mengatur standar kompetensi

awak kamar mesin, menekankan pentingnya pengetahuan dan pelatihan praktis mengenai perawatan dan pemecahan masalah sistem permesinan, termasuk sistem pendingin dan pelumasan. Selain itu, *International Safety Management (ISM) Code* mewajibkan perusahaan pelayaran untuk memastikan bahwa personel kapal dilatih dengan baik untuk melaksanakan tugas mereka dengan aman (ISM Code, Bagian 6.2 & 6.5).

Keterampilan Kru Yang Harus Dimiliki

1. Kemampuan *Troubleshooting* Sistematis: Kemampuan untuk mengikuti alur logika dalam mendiagnosis masalah, dimulai dari mengidentifikasi gejala, mengeliminasi kemungkinan penyebab satu per satu, hingga mengerucut pada akar masalah. Contohnya, mampu membedakan prosedur untuk mendeteksi kebocoran *internal engine* dengan kebocoran pada *heat exchanger (Lube oil cooler)*.
2. Keahlian *Inspection & Monitoring*: Keterampilan dalam melakukan inspeksi visual, taktil, dan instrumental secara rutin dan detail. Ini termasuk kemampuan melakukan *sounding*, pengambilan sampel oli, interpretasi warna dan konsistensi oli, serta pemeriksaan visual pada komponen *Heat exchanger (Lube oil cooler)* untuk tanda-tanda korosi, erosi, atau deposit.
3. Kompetensi dalam *Pressure testing*: Keterampilan praktis untuk melakukan *hydrostatic test* pada *Heat exchanger (Lube Oil Cooler)* sesuai standar. Kru harus mampu mengisolasi peralatan, menyiapkan perangkat uji, menerapkan tekanan yang sesuai (biasanya 1,5 kali tekanan kerja), memantau penurunan tekanan (*pressure drop*), dan mengidentifikasi titik kebocoran secara akurat.
4. Pemahaman Prosedur *Isolation & Lockout/Tagout*): Kemampuan untuk mengisolasi peralatan (*heat exchanger*) dari sistem secara aman sebelum dilakukan pekerjaan inspeksi atau perbaikan. Ini mencakup keterampilan dalam menutup katup yang tepat,

membuang tekanan (*depressurize*), dan menerapkan sistem *LOTO* untuk mencegah pengoperasian yang tidak disengaja, sebagaimana diamanatkan dalam prosedur keselamatan.

5. Keterampilan *Reporting & Documentation*: Kemampuan untuk mencatat dan melaporkan temuan inspeksi, pembacaan parameter, dan hasil *troubleshooting* secara jelas, akurat, dan tepat waktu ke atasan (misalnya, *Chief Engineer*). Laporan yang baik adalah dasar untuk analisis lebih lanjut dan keputusan perawatan.
6. Pengetahuan tentang *Manufacturer's* Keterampilan untuk memahami, mengakses, dan menerapkan petunjuk perawatan, batasan teknis (*technical limits*), dan prosedur spesifik dari pabrik pembuat (*Original Equipment Manufacturer/OEM*) untuk *Heat exchanger (Lube oil cooler)* dan sistem terkait.
7. Kesadaran akan *Safety Procedures*: Keterampilan untuk selalu bekerja dengan memperhatikan keselamatan diri dan rekan, termasuk penggunaan *Personal Protective Equipment (PPE)* yang sesuai, kesadaran terhadap bahaya lingkungan kerja (panas, permukaan licin, tekanan tinggi), dan prosedur tanggap darurat jika terjadi insiden.

B. Organisasi di atas Kapal

Beban kerja yang berlebihan, jadwal *watchkeeping* yang padat tanpa periode istirahat yang memadai, serta tekanan untuk menyelesaikan pekerjaan pemeliharaan di sela-sela tugas jaga, secara langsung mengarah pada kelelahan kronis (*chronic fatigue*). Kelelahan ini berdampak sangat signifikan pada penurunan kognitif, termasuk menurunnya kewaspadaan, kemampuan observasi, konsentrasi, dan ketelitian.

Dalam konteks pemeliharaan seorang *engineer* atau *oiler* yang mengalami kelelahan berisiko tinggi untuk melewatkan tanda-tanda awal kegagalan selama inspeksi rutin, seperti perubahan warna oli yang samar, suara tidak normal, atau tanda kebocoran kecil.

Prosedur *troubleshooting* yang seharusnya dilakukan secara sistematis dan teliti pun dapat terpotong atau dilakukan secara tergesa-gesa, sehingga akar penyebab seperti retak mikro pada *tube sheet* atau kegagalan *gasket* tidak terdeteksi.

Regulasi internasional telah dengan tegas mengatur hal ini untuk memitigasi risiko akibat kelelahan. *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW)*, sebagaimana diamandemen, secara khusus memuat ketentuan mengenai jam kerja dan istirahat dalam Kode A-VIII/1. Regulasi ini menetapkan batasan maksimum jam kerja dan minimum jam istirahat. Menurut ketentuan tersebut, jam kerja tidak boleh melebihi 14 jam dalam periode 24 jam, dan 72 jam dalam 7 hari. Sebaliknya, waktu istirahat minimal adalah 10 jam dalam periode 24 jam, dan 77 jam dalam 7 hari (IMO, 2010: 76). Meski referensi tahunnya di luar rentang yang diminta, prinsip ini tetap berlaku dan menjadi acuan utama. Lebih lanjut, *Maritime Labour Convention (MLC), 2006*, yang sering disebut sebagai *seafarers' bill of rights*, memperkuat prinsip ini dalam Standard A2.3 – *Hours of work and hours of rest*. Konvensi ini menekankan bahwa pengaturan jam kerja dan istirahat harus dicatat dan diawasi ketat untuk melindungi kesehatan dan keselamatan pelaut.

Dalam struktur organisasi di atas kapal, tugas kru dibagi secara hierarkis dan fungsional untuk menjamin kelancaran operasi dan keselamatan (*MLC, 2006*).

1. Nakhoda (*Master/Captain*) merupakan otoritas tertinggi di kapal yang memikul tanggung jawab menyeluruh atas keselamatan kapal, awak, muatan, dan lingkungan. Tugasnya mencakup pengambilan keputusan navigasi, memastikan kepatuhan terhadap semua regulasi internasional dan nasional, serta menjadi perwakilan utama pemilik kapal.
2. Perwira Dek (*Deck Officers*) yang dipimpin oleh Kepala Perwira Kapal (*Chief Officer/Chief Mate*), bertanggung jawab atas operasi dek, pemuatan dan pembongkaran muatan, perawatan struktur kapal, serta

pengelolaan awak dek. Mereka juga bertugas jaga di anjungan (*bridge watchkeeping*) untuk navigasi.

3. Kepala Kamar Mesin (*Chief Engineer*) memegang komando penuh atas seluruh sistem permesinan dan kelistrikan kapal. Tanggung jawabnya meliputi perawatan, perbaikan, dan operasi mesin induk, generator, serta semua peralatan bantu, serta memastikan efisiensi bahan bakar dan pelumas.
4. Perwira Mesin (*Engine Officers*) yang dipimpin oleh Perwira Mesin Pertama (*Second Engineer/First Assistant Engineer*), membantu *Chief Engineer* dan bertugas dalam jaga di kamar mesin (*engine room watchkeeping*), pengawasan operasi harian mesin, dan pelaksanaan pemeliharaan rutin.
5. Awak Dek (*Ratings Deck*) seperti keluarga Kapal (*Bosun/Boatswain*) dan Kelasi (*Able Seaman/AB*) melaksanakan pekerjaan praktis di dek seperti pencucian, pengecatan, bongkar muat, serta tugas-tugas penjagaan di anjungan. Sementara itu,
6. Awak Mesin (*Ratings Engine*) yang dipimpin oleh Juru Minyak (*Oiler/Motorman*) dan Juru Listrik (*Electrician*) bertugas membantu perwira mesin dalam operasi harian, pemeliharaan rutin, perbaikan ringan, serta pemantauan parameter mesin. Dengan pembagian tugas yang jelas dan berjenjang ini, setiap anggota kru berkontribusi pada operasi kapal yang aman, efisien, dan sesuai dengan regulasi yang berlaku.

C. Faktor Pekerjaan dan Lingkungan Kerja.

Ketersediaan dan Kesesuaian Alat Kerja

Faktor pekerjaan dan lingkungan kedua yang sangat menentukan adalah ketersediaan dan kesesuaian alat kerja, alat ukur, dan suku cadang (*spare parts*) yang diperlukan untuk pemeliharaan dan *troubleshooting* peralatan kritis seperti *heat exchanger* (manual book Daihatsu DK-28e). Kru kamar mesin membutuhkan perangkat yang tepat untuk mendeteksi dan mendiagnosis masalah. Ini mencakup alat ukur tekanan (*pressure gauges*) yang terkalibrasi, *ultrasonic leak*

detector, tube cleaning kits khusus, perangkat untuk *pressure test* (pompa hidrolis, selang, adaptor), serta perkakas tangan yang memadai. Ketidak tersediaan atau ketidak sesuaian alat-alat ini dapat menghambat proses inspeksi berkala yang mendalam atau memaksa kru menggunakan metode improvisasi yang kurang akurat dan berpotensi berbahaya.

Alat Yang Diperlukan

1. ***Pressure test Kit***: Perangkat lengkap untuk *hydrostatic testing*, termasuk *test pump* (manual atau listrik), *calibrated pressure gauge*, selang tekanan tinggi, serta berbagai *adapter* dan *blanking flange* yang sesuai dengan ukuran dan tipe *flange* pada *heat exchanger* (Walt Boyes 2011).
2. ***Ultrasonic Leak Detector***: Alat untuk mendeteksi kebocoran udara atau fluida bertekanan yang sangat kecil dengan mendengarkan frekuensi ultrasonik, sangat berguna untuk menemukan *leak path* pada *tube sheet, gasket*, atau sambungan (UE Systems Inc.2018).
3. ***Tube Inspection & Cleaning Kit***: Peralatan khusus untuk inspeksi visual internal tube, seperti *borescope* atau *fiberscope*, serta perangkat pembersih tube (*tube cleaning brushes, drill-powered cleaner*) untuk menghilangkan kerak (*scale*) dan deposit yang dapat menyebabkan korosi terlokalisir (Alfa Laval AB. 2019).
4. ***Calibrated Temperature Gun atau Infrared Thermometer***: Untuk memetakan distribusi suhu pada permukaan *Heat exchanger* guna mendeteksi area yang tersumbat atau aliran yang tidak normal, yang dapat mengindikasikan masalah internal (Fluke Corporation 2020).
5. ***Oil sample Analysis Kit (Portable)***: Kit untuk pengambilan sampel oli yang representatif dan steril, serta peralatan *on-site* sederhana seperti *crackle test kit* atau *centrifuge* untuk deteksi awal kandungan air (Parker Kittiwake 2019).
6. ***Torque Wrench (Kunci Momen) yang Terkalibrasi***: Untuk memastikan pengencangan baut *flange* dan *end cover* pada *Heat*

exchanger dilakukan dengan momen pengencangan (*tightening torque*) yang tepat sesuai spesifikasi pabrik, guna mencegah kegagalan *gasket* (Norbar Torque tools Ltd. 2020).

7. **Complete Set of Hand Tools & Specialized Tools:** Perkakas tangan standar serta alat khusus sesuai *original equipment manufacturer*, seperti *tube plugging kit* untuk sementara menutup *tube* yang bocor, *tube roller* atau *expander* untuk perbaikan, serta *gasket cutter* yang tepat (Alfa Laval AB. 2019).

D. Faktor Kapal

Perawatan yang reaktif (*breakdown maintenance*), di mana perbaikan hanya dilakukan setelah kegagalan terjadi, sama sekali tidak sesuai untuk komponen yang kegagalannya dapat menyebabkan kerusakan sekunder yang parah seperti kontaminasi sistem pelumasan. Sebaliknya, program perawatan yang efektif harus bersifat preventif (*preventive maintenance* - mengganti part berdasarkan waktu/jam operasi) dan prediktif (*predictive maintenance* - berdasarkan kondisi aktual). Untuk *heat exchanger (Lube oil cooler)*, ini mencakup jadwal pembongkaran, pembersihan, inspeksi visual, *pressure testing*, dan penggantian *gasket* secara berkala, serta analisis rutin sampel oli dan air pendingin untuk mendeteksi jejak kontaminasi silang secara dini.

Lebih dari sekadar memiliki jadwal, kualitas eksekusi perawatan juga diatur. *ISM Code* menekankan pentingnya perusahaan memastikan bahwa personel kapal diberi wewenang dengan jelas dan mendapat dukungan yang memadai untuk melaksanakan tugas mereka dengan aman, yang mencakup pelaksanaan perawatan (*ISM Code*, 2018). Ini berarti perusahaan harus menyediakan manual prosedur yang jelas, kesalahan pemasangan dan perawatan (*maintenance error*) daripada keausan normal.

Perawatan yang Diperlukan dan Waktunya

1. **Pemeriksaan Harian/Setiap Jaga (*Daily/Every Watch Check*)**

- a. **Aktivitas:** Pemeriksaan visual cepat, pemantauan suhu dan tekanan masuk/keluar, pendengaran suara abnormal.
 - b. **Waktu:** Setiap shift kerja oleh kru jaga mesin.
2. **Pemantauan Mingguan/Bulanan (*Weekly/Monthly Monitoring*)**
- a. **Aktivitas:** Pengambilan sampel oli dan air untuk analisis laboratorium guna mendeteksi kontaminasi dini.
 - b. **Waktu:** Sesuai jadwal program *oil analysis* kapal (biasanya mingguan atau bulanan).
3. **Perawatan Tahunan (*Annual/Pre-Dry Dock Maintenance*)**
- a. **Aktivitas:** Pembongkaran parsial, inspeksi visual internal, pembersihan *tube Bundle*, pemeriksaan *tube*, *tube sheet*, dan *gasket*.
 - b. **Waktu:** Sekali setahun atau sebelum dok.
4. **Pengujian Tekanan (*Pressure testing / Hydrostatic Test*)**
- a. **Aktivitas:** Uji kebocoran dengan tekanan pada sisi *tube* dan shell secara terpisah.
 - b. **Waktu:** Setelah perakitan ulang dan sesuai interval survei klasifikasi (biasanya setiap 2.5 atau 5 tahun).
5. **Penggantian Gasket (*Gasket Replacement*)**
- a. **Aktivitas:** Mengganti semua *gasket* dan seal dengan yang baru.
 - b. **Waktu:** Setiap kali *Heat exchanger (Lube oil cooler)* dibongkar (minimal setahun sekali).
6. **Pembersihan Tube (*Tube Cleaning*)**
- a. **Aktivitas:** Membersihkan bagian dalam *tube* secara mekanis atau kimia.
 - b. **Waktu:** Berdasarkan kebutuhan (peningkatan tekanan diferensial) atau minimal setahun sekali.
7. **Kalibrasi Instrumen (*Calibration of Associated Instruments*)**
- a. **Aktivitas:** Mengkalibrasi alat ukur suhu, tekanan, dan aliran.
 - b. **Waktu:** Sesuai jadwal kalibrasi kapal (biasanya setiap 1-2 tahun).

E. Faktor Manajemen Perusahaan Pelayaran

Kebijakan dan pengelolaan praktis terhadap jadwal berlayar (*voyage schedules*) dan jadwal cuti (*leave schedules*) bagi awak kapal. Jadwal yang terlalu padat, tidak realistis, dan selalu berubah-ubah (*frequent changes*) menciptakan dua masalah besar: tekanan waktu (*time pressure*) yang kronis dan gangguan terhadap kehidupan pribadi serta waktu pemulihan (*recovery time*) kru.

Tekanan waktu yang konstan mendorong praktik *shortcuts* atau pelanggaran prosedur kerja aman (*violations*) di kapal, karena kru dan perwira terdesak untuk menyelesaikan pemeliharaan atau perbaikan dalam waktu yang terbatas di pelabuhan. Sebuah prosedur *pressure test* pada *Heat exchanger (Lube oil cooler)* yang membutuhkan waktu 8 jam dengan pendinginan, persiapan, eksekusi, dan pemantauan yang cermat, mungkin akan dipersingkat secara berbahaya menjadi 4 jam jika kapal harus segera berangkat. Selain itu, jadwal cuti yang tidak teratur atau sering ditunda mengakibatkan kelelahan berkepanjangan dan penurunan moral, yang selanjutnya mengurangi kewaspadaan dan ketelitian dalam semua tugas, termasuk pemantauan rutin.

Regulasi yang secara langsung mengatur aspek ini adalah *Maritime Labour Convention (MLC), 2006*. MLC 2006 didesain khusus untuk melindungi hak-hak pelaut, termasuk hak atas kondisi kerja dan kehidupan yang layak. *Regulation 2.5 Repatriation* menjamin hak pelaut untuk dipulangkan dengan biaya perusahaan pada akhir masa kontrak.