

**ANALISIS PEMELIHARAAN *HEAT EXCHANGER TYPE*
SHELL AND TUBE AIR TAWAR PADA MESIN
INDUK CAT C 32 DI KAPAL SEAWAYS 28**



Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Program Pendidikan Dan
Pelatihan Pelaut (DP) Tingkat I.

HANDIKA HAMID

NIS. 25.03.102.008

AHLI TEKNIKA TINGKAT I

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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : HANDIKA HAMID

Nomor Induk Perwira Siswa : 25.03.102.008

Jurusan : Ahli Teknika Tingkat I

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul:

ANALISIS PEMELIHARAAN *HEAT EXCHANGER TYPE SHELL AND TUBE* AIR TAWAR PADA MESIN INDUK CAT C32 DI KAPAL SEAWAYS 28

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

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

Makassar 26 Mei 2025


HANDIKA HAMID
25.03.102.008

**PERSETUJUAN SEMINAR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

Judul **ANALISIS PEMELIHARAAN *HEAT EXCHANGER TYPE SHELL AND TUBE* AIR TAWAR PADA MESIN INDUK CAT C 32 DI KAPAL SEAWAYS 28**

Nama Pasis : HANDIKA HAMID

NIS : 25.03.102.008

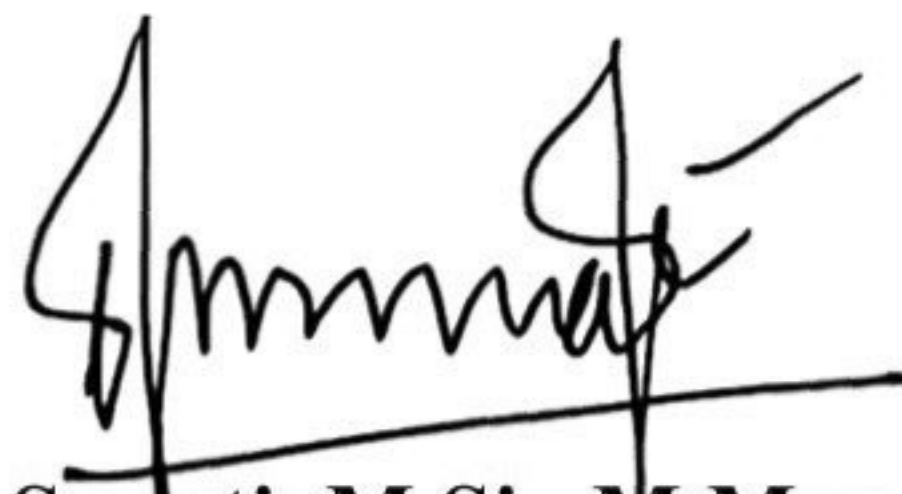
Program Diklat : Ahli Teknika Tingkat I

Dengan ini dinyatakan telah memenuhi syarat untuk di seminarkan

Makassar, 26 Mei 2025

Persetujuan,

Pembimbing I



Ir. Suyuti, M.Si., M.Mar.E
NIP. 19680508 200212 1 002

Pembimbing II



Rahmat Hidayat, S.T., M.Mar.E
NIP. 198605172010121006

Mengetahui:

Manager Diklat Teknis Peningkatan dan Penjenjangan



Ir. Suyuti, M.Si., M.Mar.E
NIP. 19680508 2002121002

**ANALISIS PERAWATAN RUTIN SISTEM PENDINGIN
MESIN INDUK DI KAPAL FCB SEAWAYS 28**

Disusun dan Diajukan Oleh

HANDIKA HAMID

NIS. 25.03.102.008

Ahli Teknik Tingkat I

Telah dipersentasikan di depan Panitia Seminar KIT

Pada Tanggal 26 Mei 2025

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



Ir. Suyuti, M.Si., M.Mar.E
NIP. 19680508 200212 1 002



Rahmat Hidayat, S.T., M.Mar.E
NIP. 198605172010121006

Mengetahui:

a.n. Direktur

Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar

Pembantu Direktur 1



Capt. Faizal Saransi, M.T., M.Mar
NIP. 19750329 199903 1 002

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan karya tulis ilmiah terapan ini yang berjudul “ANALISIS PEMELIHARAAN *HEAT EXCHANGER TYPE SHELL AND TUBE* AIR TAWAR PADA MESIN INDUK CAT C32 DI KAPAL SEAWAYS 28”, meskipun dalam keterbatasan waktu dan berbagai tantangan. Penyusunan karya tulis ini adalah bagian dari syarat kelulusan kurikulum Diklat Teknik Profesi Kepelautan, Program Studi Teknik Tingkat I, guna mencapai kompetensi pelaut sebagai pemegang Sertifikat Ahli Teknik Tingkat I (ATT – I) di Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Makassar.

Penulis menyadari bahwa karya ini masih jauh dari sempurna, terutama dalam keterbatasan teori dan tata bahasa yang benar. Dengan demikian, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada:

1. Capt. Rudy Susanto, M.Pd., selaku Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Makassar.
2. Bapak Ir. Suyuti, M.Si., M.Mar.E., selaku Manager Diklat Teknis, Peningkatan, dan Penjenjangan di Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Makassar dan juga selaku pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan arahan dengan sabar dan teliti.
3. Bapak Jamaluddin, S.H., M.H., M.Mar.E selaku pembimbing II yang juga dengan kesabaran membimbing dalam penyusunan karya ini.
4. Seluruh dosen dan staf Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Makassar.
5. Orang tua dan keluarga yang senantiasa memberikan dukungan, cinta, dan doa.
6. Rekan-rekan peserta Diklat ATT I Angkatan XLII/2025.
7. Semua pihak yang telah membantu, namun tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis juga menyampaikan terima kasih yang mendalam kepada orang tua dan keluarga yang selalu memberikan cinta, dukungan, serta doa. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada seluruh dosen, staf, serta rekan-rekan pasis di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar yang telah memberikan motivasi dan dorongan

selama proses penyusunan karya ilmiah ini. Tak lupa, penghargaan juga diberikan kepada pihak-pihak lain yang telah membantu, namun tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa karya tulis ilmiah ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi pembaca, khususnya yang berkecimpung di bidang kelautan, serta dapat menjadi referensi yang bermanfaat di dunia pelayaran.

Makassar 26 Mei 2025



HANDIKA HAMID
25.03.102.008

ABSTRAK

HANDIKA HAMID 2025, “*ANALISIS PEMELIHARAAN HEAT EXCHANGER TYPE SHELL AND TUBE AIR TAWAR PADA MESIN INDUK CAT C 32 DI KAPAL SEAWAYS 28*”. Dibimbing oleh Bapak Ir. Suyuti, M.Si., M.Mar.E dan Bapak Jamaluddin, S.H., M.H., M.Mar.E

Heat exchanger merupakan komponen vital dalam sistem pendingin mesin kapal, khususnya tipe *shell and tube* yang digunakan pada mesin induk CAT C32. Pemeliharaan yang tidak optimal pada alat ini dapat menyebabkan gangguan perpindahan panas, meningkatkan risiko *overheat*, dan menurunkan performa operasional kapal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses pemeliharaan *heat exchanger* tipe *shell and tube* pada sistem pendingin air tawar mesin CAT C32, serta mengidentifikasi faktor-faktor penyebab gangguan dan solusinya.

Penelitian dilakukan di atas kapal *Seaways 28* yang beroperasi di wilayah perairan Luanda, Afrika, selama periode pelayaran komersial. Kondisi aktual menunjukkan adanya lonjakan suhu mesin hingga lebih dari 90°C akibat *fouling* berat pada bagian dalam *tube heat exchanger*. Situasi tersebut mengganggu kestabilan sistem pendingin dan memerlukan tindakan perbaikan darurat serta analisis mendalam terhadap prosedur pemeliharaan yang selama ini dilakukan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa *fouling*, korosi, dan kurangnya jadwal pembersihan berkala menjadi penyebab utama penurunan performa *heat exchanger*. Diperlukan pendekatan *preventive maintenance* yang lebih disiplin serta pemantauan kondisi komponen secara prediktif. Kesimpulannya, pemeliharaan yang tepat sangat berpengaruh terhadap kinerja mesin kapal dan keselamatan operasi.

Kata Kunci: *heat exchanger*, pemeliharaan, *overheat*

ABSTRACT

HANDIKA HAMID 2025, “ANALYSIS OF FRESHWATER *SHELL AND TUBE TYPE HEAT EXCHANGER MAINTENANCE* ON CAT C32 MAIN ENGINE ABOARD MV SEAWAYS 28”

Supervised by Mr. Ir. Suyuti, M.Si., M.Mar.E and Mr. Jamaluddin, S.H, M.H.,M.Mar.E

The *heat exchanger* is a vital component in the ship's engine cooling system, especially the *shell and tube type* used in the CAT C32 main engine. Inadequate *maintenance* of this device can cause heat transfer disruptions, increase the risk of *overheat*, and reduce the operational performance of the vessel. This study aims to analyze the *maintenance* process of the *shell and tube type heat exchanger* in the freshwater cooling system of the CAT C32 engine, as well as to identify the causes of failures and propose appropriate solutions.

The research was conducted aboard MV Seaways 28, operating in the waters off Luanda, Africa, during a commercial voyage. Actual conditions revealed a significant rise in engine temperature exceeding 90°C due to severe *fouling* inside the *heat exchanger tubes*. This situation disrupted the stability of the cooling system and required emergency corrective actions, along with a detailed evaluation of the existing *maintenance* procedures.

The analysis showed that *fouling*, corrosion, and a lack of regular cleaning schedules were the main causes of reduced *heat exchanger* performance. A more disciplined preventive *maintenance* approach and predictive monitoring of component conditions are essential. In conclusion, proper *maintenance* significantly impacts engine performance and operational safety.

Keywords: *heat exchanger, maintenance, overheat.*

DAFTAR ISI

	Halaman
HANDIKA HAMID	i
NIS. 25.03.102.008	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
Ir. Suyuti, M.Si., M.Mar.E	iii
NIP. 19680508 2002121002	iii
Capt. Faisal Saransi, M.T., M.Mar	iv
NIP. 19750329 199903 1 002	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Batasan Masalah.....	3
D. Tujuan Penelitian	3
E. Manfaat Penelitian	3
F. Hipotesis	4
BAB II	5
A. Sistem Pendingin Mesin Kapal.....	5
B. <i>Heat exchanger</i> pada Sistem Pendingin.....	8
C. <i>Shell and Tube Heat exchanger</i>.....	9

D. Permasalahan Pada <i>Heat exchanger</i> Tipe <i>Shell and Tube</i>	15
E. Pemeliharaan <i>Heat exchanger</i>	18
F. Kerangka Pikir Penelitian	22
BAB III	23
A. Lokasi Kejadian	23
B. Situasi dan Kondisi	25
C. Temuan Pemeriksaan Sistem Pendingin	27
D. Pembahasan	30
BAB IV	35
A. Kesimpulan	35
B. Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN	38
RIWAYAT HIDUP	43

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
Gambar 1 Mesin Induk CAT C32	5
Gambar 2 Sistem Pendingin Langsung dan Tidak Langsung	7
Gambar 3 <i>Heat exchanger Shell and Tubes</i>	10
Gambar 4 <i>U-tube exchanger</i>	11
Gambar 5 <i>Pull-through floating head exchanger</i>	12
Gambar 6 <i>Fixed tube plate exchanger</i>	13
Gambar 7 Structures <i>Shell & Tube Heat exchangers</i>	14
Gambar 8 Indikator Monitor Mesin Induk CAT C32	27
Gambar 9 Permukaan <i>Tube Heat exchanger</i>	28

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
Tabel 1 Ship Particular SEAWAYS 28	23
Tabel 2 Spesifikasi Teknis Mesin Induk CAT C32	24
Tabel 3 Perbandingan Kondisi Sistem Pendingin Mesin Induk	26
Tabel 4 Tren Temperatur Coolant terhadap Waktu	29
Tabel 5 Evaluasi Penerapan PMS Terhadap <i>Heat exchanger</i>	32

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sistem pendingin pada mesin induk merupakan salah satu komponen vital dalam menjaga kinerja mesin tetap optimal selama proses operasional kapal. Salah satu sistem pendingin yang umum digunakan adalah *heat exchanger* jenis *shell and tube*, yang berfungsi untuk mentransfer panas dari air tawar pendingin mesin ke air laut. Efisiensi perpindahan panas pada sistem ini sangat bergantung pada kondisi fisik dari pipa-pipa (*tube*) dan kebersihan permukaannya.

Heat exchanger jenis *shell and tube* terdiri atas beberapa komponen utama, seperti *shell*, *tube bundle*, dan *tube sheet*. Air tawar bersirkulasi dalam *tube*, sementara air laut mengalir melalui *shell* untuk menyerap panas dari air tawar. Jika terdapat kotoran atau penyumbatan dalam *tube*, maka laju perpindahan panas akan terganggu, menyebabkan air tawar tidak cukup dingin untuk mendinginkan mesin secara efektif.

Temperatur mesin yang melebihi batas normal dapat menjadi indikator awal dari masalah pada sistem pendingin. Mesin induk yang bekerja dalam kondisi temperatur tinggi secara terus menerus berisiko mengalami penurunan performa, *overheat*, hingga kerusakan permanen. Oleh karena itu, inspeksi dan pemeliharaan berkala pada seluruh bagian sistem pendingin menjadi langkah penting dalam mencegah terjadinya gangguan operasional kapal.

Pemeliharaan *heat exchanger* melibatkan proses pembersihan bagian dalam *tube*, pengecekan kebocoran, serta inspeksi terhadap adanya korosi atau *fouling*. *Fouling* adalah proses akumulasi kotoran atau material asing pada permukaan dalam *tube* yang menghambat laju perpindahan panas. Kondisi ini dapat diperparah oleh kualitas air laut yang digunakan, serta frekuensi perawatan yang kurang optimal.

Secara teori, pembersihan dan pemeriksaan rutin terhadap *shell and tube heat exchanger* dapat memperpanjang umur komponen, menjaga efisiensi sistem pendingin, dan mencegah kerusakan fatal pada mesin induk. Selain itu, pemahaman teknis tentang struktur dan prinsip kerja dari *heat exchanger* juga

penting bagi awak kapal untuk mengidentifikasi dan menangani masalah secara cepat dan tepat.

Kondisi di lapangan menunjukkan bahwa tidak semua kerusakan dapat diidentifikasi secara langsung tanpa dilakukan pembongkaran dan pengecekan menyeluruh terhadap sistem. Oleh sebab itu, metode troubleshooting secara sistematis harus diterapkan untuk menelusuri akar penyebab terjadinya lonjakan temperatur mesin.

Selama pelayaran di kapal Seaways 28 yang beroperasi di perairan Luanda, Afrika, penulis mengalami kondisi mesin induk CAT C32 yang menunjukkan lonjakan temperatur hingga 91°C , jauh di atas suhu operasional normal yaitu $70\text{--}75^{\circ}\text{C}$. Kondisi ini memicu kekhawatiran akan potensi kerusakan pada mesin jika tidak segera ditangani.

Untuk mengatasi hal ini, dilakukan pemeriksaan menyeluruh terhadap seluruh sistem pendingin, dimulai dari seachest, pompa air laut dan air tawar. *Sensor tekanan* dan sensor temperatur,

hingga thermostat. Namun setelah pengecekan komponen tersebut, suhu mesin tetap tinggi dan belum menunjukkan penurunan yang signifikan.

Pemeriksaan dilanjutkan ke komponen *shell and tube heat exchanger*, di mana ditemukan bahwa bagian dalam *tube* mengalami kotoran yang cukup parah, menyebabkan aliran air pendingin menjadi terhambat. Kotoran ini diyakini sebagai penyebab utama terganggunya perpindahan panas dari air tawar ke air laut.

Oleh karena itu, penulis tertarik untuk mengangkat permasalahan ini dalam Karya Ilmiah Terapan (KIT) dengan judul “**Analisis Pemeliharaan *Heat exchanger Type Shell and Tube* Air Tawar Pada Mesin Induk CAT C32 di Kapal Seaways 28**”

B. Rumusan Masalah

Dalam KIT ini, penulis merumuskan beberapa permasalahan utama yang menjadi fokus pembahasan, yakni:

1. Apa penyebab utama terjadinya lonjakan temperatur pada mesin induk CAT C32 di kapal Seaways 28?

2. Bagaimana upaya pemeliharaan yang tepat terhadap *shell and tube heat exchanger* untuk mengatasi dan mencegah gangguan pada sistem pendingin?

C. Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam karya ilmiah ini lebih terarah dan tidak melebar, maka penulis membatasi ruang lingkup penelitian pada hal-hal berikut:

1. Penelitian ini hanya membahas pemeliharaan *heat exchanger* jenis *shell and tube* pada sistem pendingin air tawar mesin induk CAT C32.
2. Objek penelitian dibatasi pada kapal Seaways 28 selama pelayaran di wilayah perairan Luanda, Afrika.

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memahami dan menganalisis permasalahan yang terjadi pada sistem pendingin mesin induk serta mencari solusi teknis dalam bentuk pemeliharaan yang efektif, dengan tujuan utama sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi penyebab kerusakan atau gangguan pada *shell and tube heat exchanger*.
2. Menjelaskan metode pemeliharaan yang tepat untuk menjaga kinerja sistem pendingin pada mesin induk.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat yang signifikan bagi berbagai pihak, baik secara praktis maupun teoritis, sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis
 - a. Memberikan kontribusi literatur mengenai pemeliharaan sistem pendingin berbasis *shell and tube heat exchanger* di kapal.
 - b. Menambah referensi ilmiah mengenai troubleshooting pada sistem pendingin mesin kapal, khususnya mesin induk CAT C32.
2. Manfaat Praktis
 - a. Menjadi acuan bagi teknisi atau engineer kapal dalam melakukan inspeksi dan perawatan *heat exchanger*.
 - b. Memberikan panduan pemeliharaan bagi pihak manajemen kapal dalam upaya pencegahan kerusakan mesin akibat gangguan sistem pendingin.

F. Hipotesis

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka hipotesis yang dapat dikemukakan adalah:

1. Endapan kotoran dan *fouling* pada *tube heat exchanger* di sebabkan karna kurangnya pemeliharaan secara berkala terhadap sistem pendingin mesin induk CAT C32 di kapal Seaways 28

BAB II

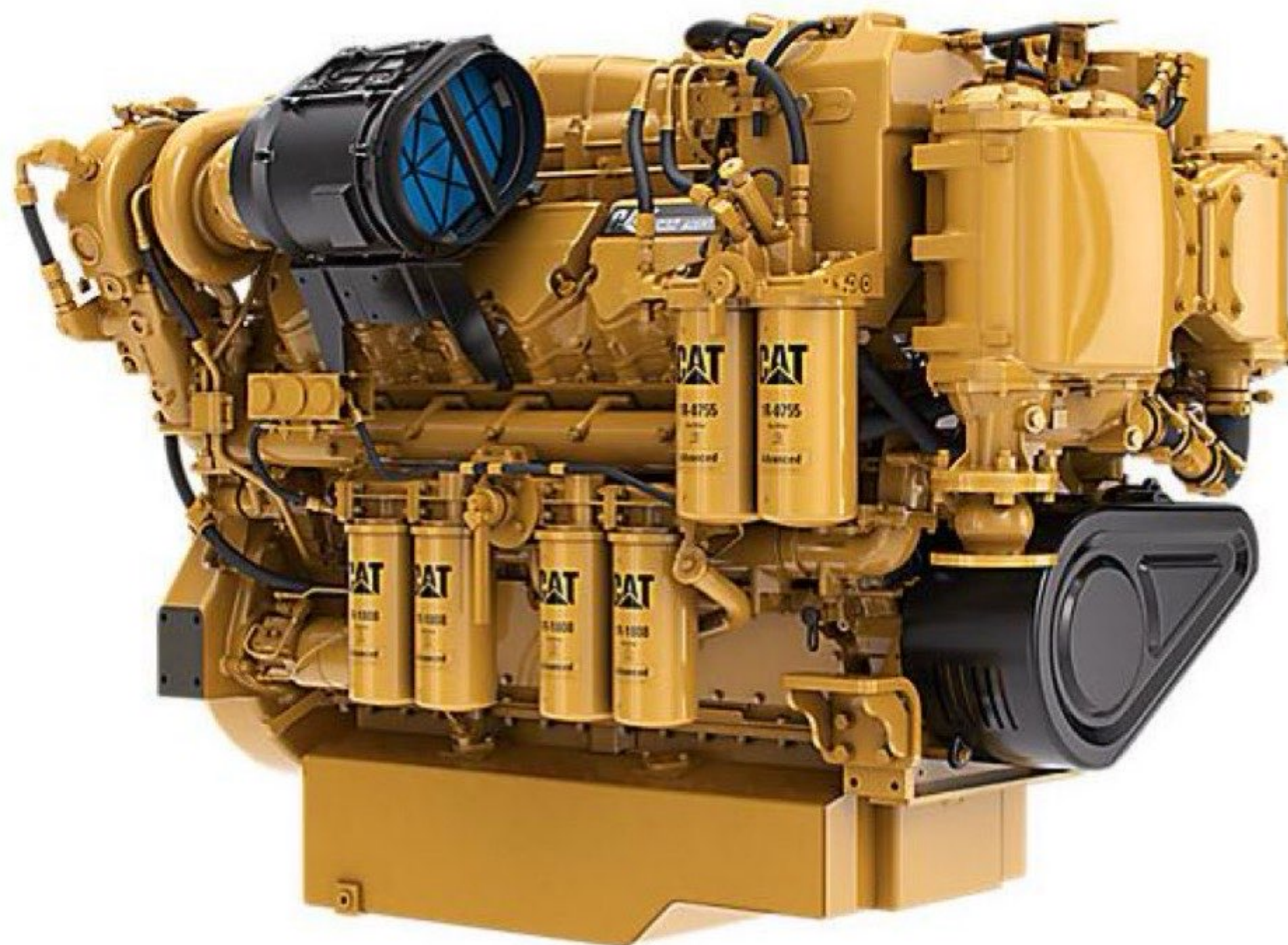
KAJIAN PUSTAKA

A. Sistem Pendingin Mesin Kapal

1. Pengertian Sistem Pendingin

Sistem pendingin merupakan salah satu sistem vital dalam operasional mesin diesel, termasuk pada mesin kapal. Mesin diesel bekerja dengan prinsip pembakaran internal, di mana energi kimia dari bahan bakar diubah menjadi energi panas dan selanjutnya menjadi energi mekanis. Proses pembakaran ini menghasilkan temperatur yang sangat tinggi, yang bila tidak dikendalikan akan menyebabkan berbagai permasalahan serius, seperti keausan dini, kerusakan komponen logam akibat ekspansi termal, penurunan efisiensi pembakaran, serta gangguan pada sistem pelumasan akibat degradasi oli.

Gambar 1 Mesin Induk CAT C32



Sumber: <https://emc.cat.com>

Sistem pendingin berfungsi untuk menjaga temperatur kerja mesin tetap berada dalam rentang optimal yang direkomendasikan oleh pabrikan, sehingga proses kerja mesin dapat berlangsung secara efisien dan aman. Tanpa sistem pendingin, panas yang dihasilkan tidak akan terserap dengan baik, mengakibatkan *overheat* dan kerusakan permanen pada mesin. Menurut Zainuddin et al. (2020), sistem pendingin yang dirancang dengan baik dapat

memperpanjang usia pakai mesin, mengurangi frekuensi perawatan, dan menekan konsumsi bahan bakar secara tidak langsung melalui efisiensi termal yang lebih baik.

2. Fungsi Sistem Pendingin pada Mesin Diesel

Fungsi utama sistem pendingin adalah untuk menjaga temperatur mesin agar tetap dalam batas operasional yang stabil, umumnya berkisar antara 70°C hingga 85°C. Batas ini ditentukan untuk memastikan oli pelumas tetap berada dalam kekentalan optimal, mencegah keausan, dan menjaga performa pembakaran. Dalam aplikasi pada mesin diesel kapal, kestabilan temperatur sangat penting karena mempengaruhi efisiensi daya dorong, konsumsi bahan bakar, dan keandalan sistem secara keseluruhan.

Selain menjaga temperatur mesin, sistem pendingin juga memiliki peran penting dalam mempertahankan kestabilan temperatur pada bagian-bagian mesin yang mengalami beban panas tinggi, seperti kepala silinder, dinding silinder, dan ruang bakar. Hal ini mencegah deformasi akibat perbedaan ekspansi termal yang ekstrem. Di sisi lain, sistem pendingin juga mendukung sistem pelumasan, karena pelumas mesin hanya akan bekerja secara optimal jika berada dalam rentang suhu tertentu (Ahmed & Ali, 2021).

3. Jenis-jenis Sistem Pendingin (Air Tawar dan Air Laut)

Pada kapal, sistem pendingin umumnya dibedakan menjadi dua jenis utama berdasarkan media pendinginnya, yakni sistem pendingin air tawar dan sistem pendingin air laut. Sistem ini bekerja secara sinergis melalui mekanisme penukar panas dua tingkat yang dikenal sebagai sistem pendingin tidak langsung (indirect cooling system).

a. Sistem Pendingin Air Tawar (Freshwater Cooling System):

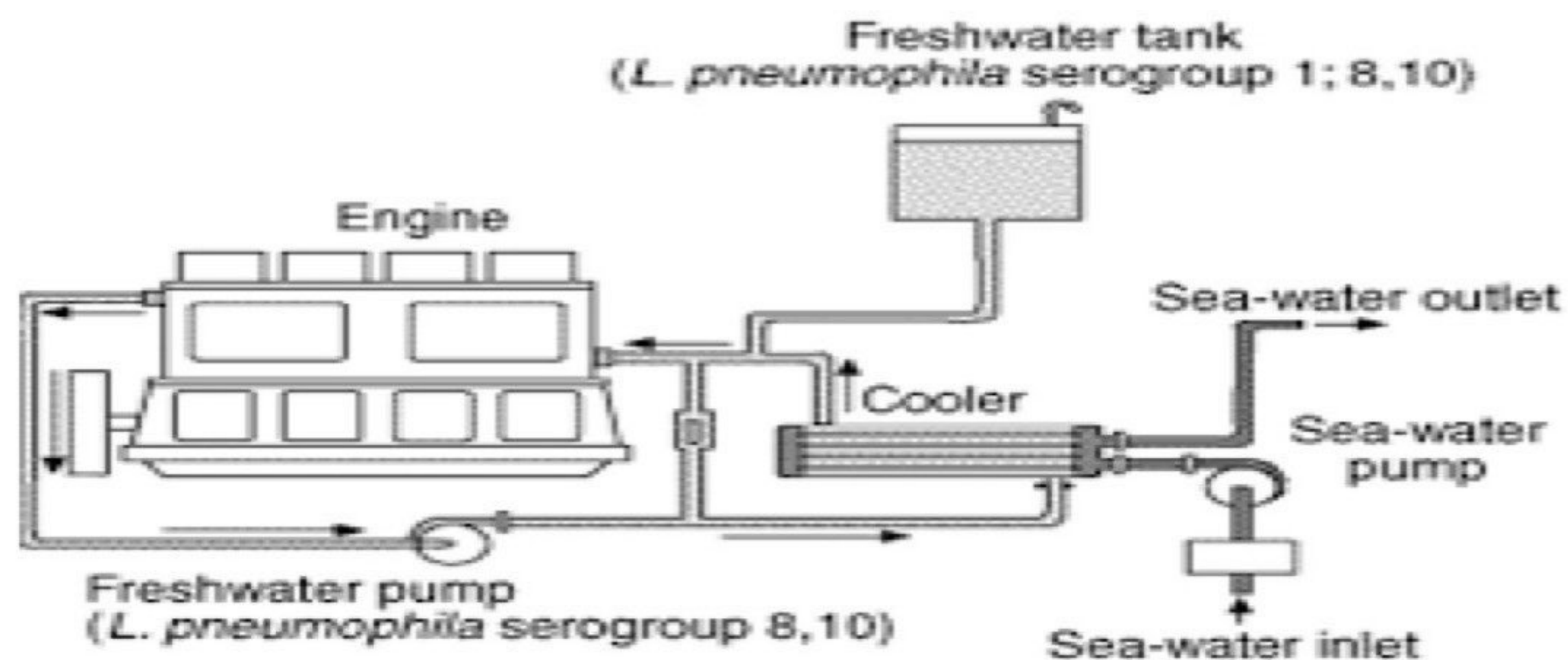
Air tawar berfungsi sebagai pendingin primer dan bersirkulasi tertutup di dalam mesin. Air ini mengalir melalui bagian-bagian mesin yang bersuhu tinggi seperti blok silinder, kepala silinder, dan manifold gas buang. Untuk mengatur suhu kerja air tawar, sistem ini biasanya dilengkapi dengan thermostat dan pompa sirkulasi. Keunggulan sistem ini adalah kemampuannya menjaga kestabilan suhu mesin dan mencegah

pembentukan kerak akibat mineral seperti pada penggunaan air laut langsung.

b. Sistem Pendingin Air Laut (Seawater Cooling System):

Sistem ini berfungsi sebagai pendingin sekunder, di mana air laut digunakan untuk mendinginkan air tawar yang sudah menyerap panas dari mesin melalui *heat exchanger*. Air laut tidak bersirkulasi dalam blok mesin secara langsung, melainkan hanya melewati *shell* dari alat penukar panas. Penggunaan air laut secara tidak langsung ini dimaksudkan untuk mencegah korosi pada komponen logam mesin akibat kadar garam dan ion agresif dalam air laut.

Gambar 2 Sistem Pendingin Air laut di mesin induk



Sumber: G

Kombinasi kedua sistem ini membentuk sistem pendingin tidak langsung yang banyak diterapkan pada kapal-kapal modern, terutama kapal-kapal yang memiliki operasional yang padat. Sistem ini terbukti efektif dalam menjaga efisiensi pendinginan serta mengurangi risiko kerusakan akibat korosi atau sedimentasi.

B. *Heat exchanger* pada Sistem Pendingin

1. Pengertian *Heat exchanger*

Heat exchanger (penukar panas) merupakan perangkat penting dalam sistem termal yang berfungsi untuk memindahkan panas antara dua fluida yang memiliki perbedaan temperatur tanpa terjadi pencampuran langsung di antara keduanya. Dalam sistem pendingin kapal, peran *heat exchanger* sangat krusial untuk menjaga suhu fluida pendingin (biasanya air tawar) agar tetap dalam kisaran ideal saat bersirkulasi dalam sistem mesin. Ini bertujuan agar mesin diesel kapal dapat beroperasi dengan efisien dan aman tanpa risiko *overheat*.

Kapal laut, khususnya kapal niaga dan kapal dengan mesin utama berbahan bakar diesel, sangat mengandalkan sistem pendingin yang efisien untuk menjaga integritas termal mesin. Karena lingkungan laut yang korosif dan terbatasnya ruang instalasi, jenis dan efisiensi *heat exchanger* menjadi faktor penting dalam desain sistem pendingin.

2. Prinsip Kerja *Heat exchanger*

Prinsip kerja *heat exchanger* bergantung pada mekanisme perpindahan panas secara konduksi dan konveksi. Perpindahan panas terjadi dari fluida bersuhu tinggi ke fluida bersuhu lebih rendah melalui dinding konduktif yang memisahkan keduanya. Pada kapal, air tawar panas yang telah menyerap panas dari mesin diesel dialirkan ke dalam *heat exchanger* untuk didinginkan oleh air laut yang lebih dingin, yang bersirkulasi sebagai fluida sekunder (Mohamed et al., 2021).

Efektivitas transfer panas ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- a. Perbedaan temperatur antar fluida,
- b. Luas permukaan kontak termal,
- c. Kecepatan aliran fluida,
- d. Sifat termofisik fluida,
- e. Kebersihan permukaan (tanpa *fouling* atau kerak).

Fouling yang terjadi akibat akumulasi biota laut, kerak garam, atau partikel tersuspensi, dapat secara signifikan menurunkan efektivitas *heat*

exchanger dan menyebabkan peningkatan temperatur operasi mesin (Wang et al., 2023).

3. Jenis-jenis *Heat exchanger* dalam Aplikasi Kelautan

Terdapat beberapa jenis *heat exchanger* yang digunakan dalam sistem pendingin mesin kapal, antara lain:

a. *Shell and Tube Heat exchanger*

Jenis ini paling umum digunakan di kapal karena desainnya yang kuat, efisien, dan tahan terhadap tekanan serta suhu tinggi. Keunggulannya antara lain kemudahan dalam pemeliharaan dan kemampuan beroperasi dalam kondisi laut yang ekstrem.

b. *Plate Type Heat exchanger*

Terdiri dari pelat-pelat logam yang disusun sejajar dengan pola aliran zig-zag untuk menciptakan turbulensi tinggi. Jenis ini memiliki efisiensi perpindahan panas tinggi dan cocok untuk ruang terbatas, namun kurang ideal untuk aplikasi tekanan tinggi (Arifin & Rahman, 2021).

c. *Finned Tube Heat exchanger*

Menggunakan sirip logam pada permukaan luar *tube* untuk memperbesar luas permukaan perpindahan panas. Umumnya digunakan pada sistem bantu atau ketika dibutuhkan pendinginan ekstra dalam ruang yang kecil.

Pemilihan jenis *heat exchanger* sangat tergantung pada spesifikasi mesin, ruang instalasi, dan kebutuhan efisiensi pendinginan.

C. *Shell and Tube Heat exchanger*

1. Pengertian *Shell and Tube Heat exchanger*

Shell and Tube Heat exchanger merupakan salah satu jenis alat penukar panas (*heat exchanger*) yang paling umum digunakan di berbagai industri, termasuk industri perkapalan, pembangkit listrik, dan pengolahan minyak. Alat ini dirancang untuk memindahkan panas antara dua fluida yang berbeda, biasanya satu mengalir di dalam pipa (*tube side*) dan satu lagi mengalir di luar pipa namun masih berada di dalam tabung besar yang disebut *shell* (*shell side*). *Shell and Tube Heat exchanger* banyak digunakan karena konstruksinya yang kokoh, kapasitas perpindahan panas yang tinggi, serta

kemudahan perawatan dan pembersihan. Pada kapal, alat ini biasanya digunakan dalam sistem pendingin mesin diesel, di mana air tawar panas dari mesin didinginkan oleh air laut di dalam *heat exchanger* sebelum kembali bersirkulasi.

Gambar 3 *Heat exchanger Shell and Tubes*



Sumber: <https://www.alfalaval.id>

2. Cara Kerja *Shell and Tube Heat exchanger*

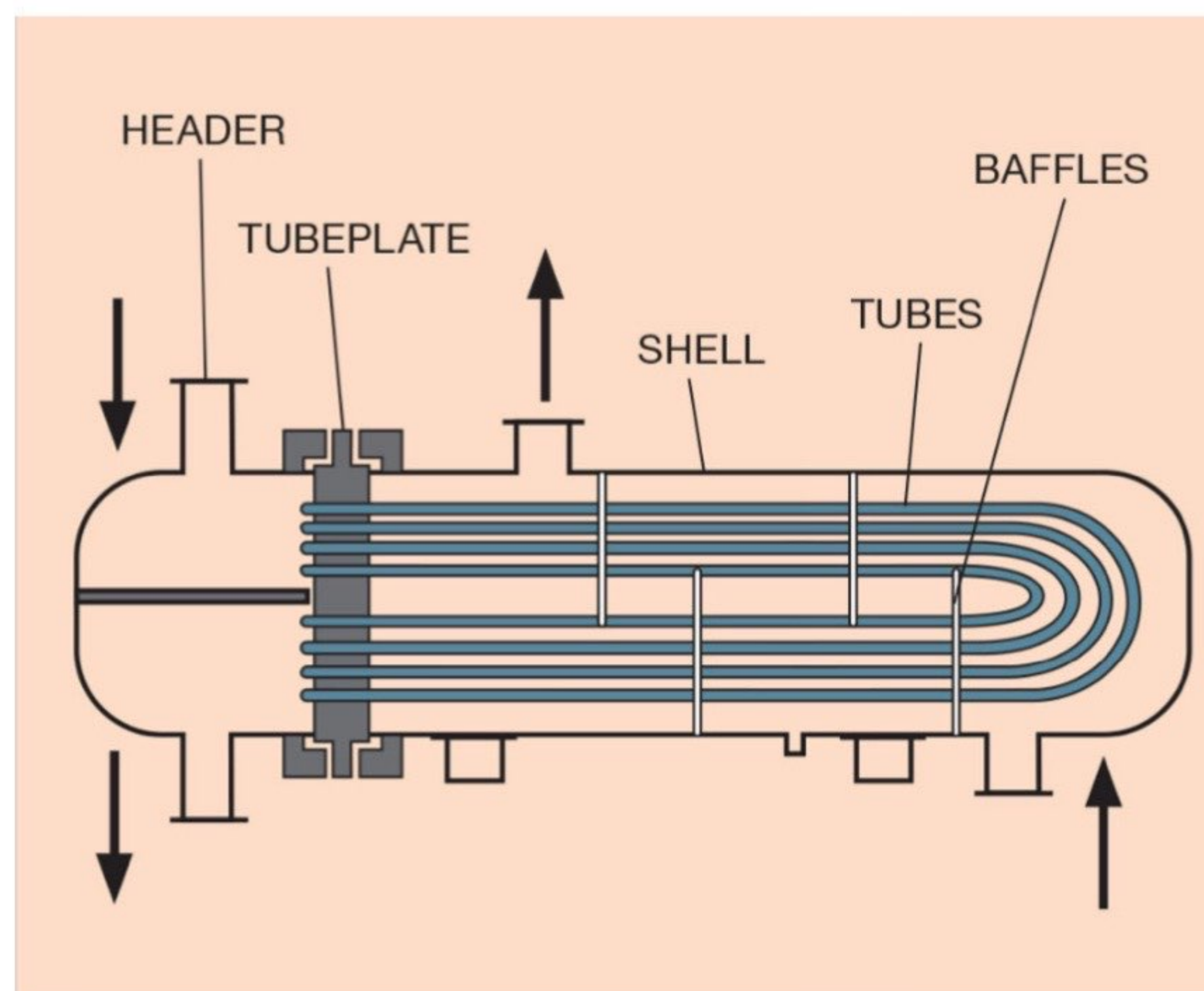
Cara kerja *Shell and Tube Heat exchanger* didasarkan pada prinsip konduksi dan konveksi panas. Salah satu fluida, misalnya air tawar dari sistem pendingin mesin, dipompa melalui pipa-pipa kecil (*tube bundle*) di dalam alat. Sementara itu, fluida kedua—seperti air laut—mengalir melalui ruang *shell* dan menyelimuti pipa-pipa tersebut. Ketika air tawar panas mengalir dalam pipa dan air laut dingin mengalir di sekitar pipa-pipa itu, panas akan berpindah dari air tawar ke air laut melalui dinding pipa sebagai media perantara. Perbedaan suhu antara kedua fluida menyebabkan perpindahan panas yang efisien. Biasanya, kedua aliran fluida ini diatur dalam arah yang berlawanan (*counterflow*) agar proses perpindahan panas berlangsung maksimal. Setelah terjadi proses pendinginan, air tawar yang suhunya telah turun kembali dialirkan ke mesin, sedangkan air laut yang menyerap panas dibuang ke laut.

3. Jenis-Jenis *Shell and Tube Heat exchanger*

a. *U-tube Exchanger*

U-tube Heat exchanger adalah jenis *shell and tube heat exchanger* yang memiliki bundel pipa yang dibengkokkan membentuk huruf “U”. Salah satu ujung pipa terhubung ke pelat tabung (*tube sheet*), sedangkan ujung lainnya bebas sehingga memungkinkan ekspansi termal. Jenis ini hanya memiliki satu pelat tabung (*single tube sheet*), dan fluida mengalir masuk dan keluar melalui sisi yang sama.

Gambar 4 *U-tube exchanger*



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

Kelebihan:

- 1) Mengakomodasi ekspansi termal dengan baik karena bentuk “U” yang fleksibel.
- 2) Cocok untuk aplikasi dengan perbedaan temperatur tinggi antara dua fluida.

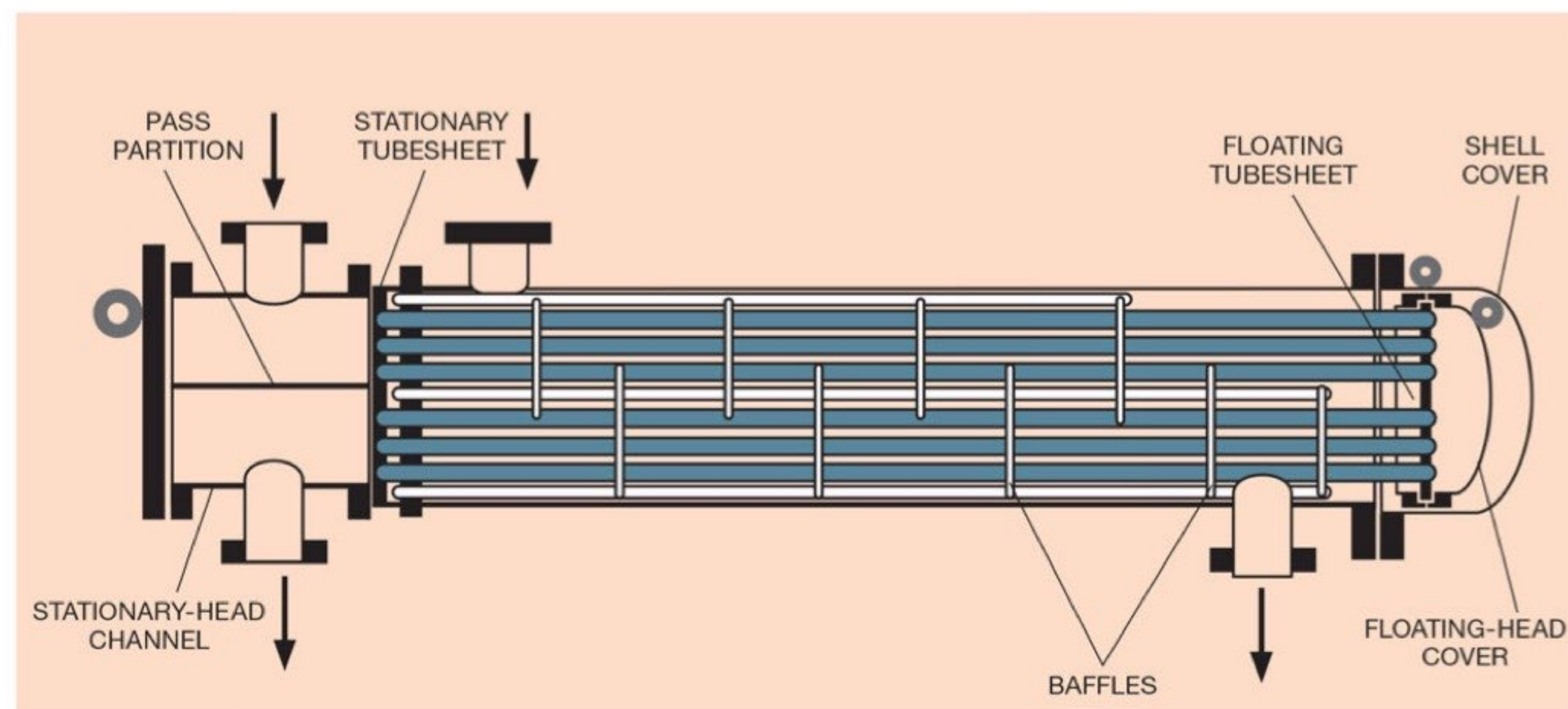
Kekurangan:

- 1) Lebih sulit dibersihkan secara mekanis, terutama pada bagian dalam tikungan pipa.
- 2) Tidak cocok untuk fluida kotor atau fluida yang menyebabkan deposit karena akses pembersihan terbatas.

b. *Pull-through floating head Exchanger*

Pull-through floating head Heat exchanger adalah jenis *heat exchanger* yang memiliki kepala tabung (*tube sheet*) yang dapat bergerak bebas atau “mengambang” di salah satu ujungnya. Sistem ini memungkinkan seluruh bundel tabung ditarik keluar untuk inspeksi atau pembersihan, tanpa harus melepas seluruh *shell*.

Gambar 5 *Pull-through floating head exchanger*



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

Kelebihan:

- 1) Mudah dibersihkan dan dirawat, terutama cocok untuk aplikasi dengan fluida yang kotor atau mengandung endapan.
- 2) Memungkinkan ekspansi termal bebas antara *shell* dan pipa tanpa menimbulkan tekanan termal yang berlebihan.

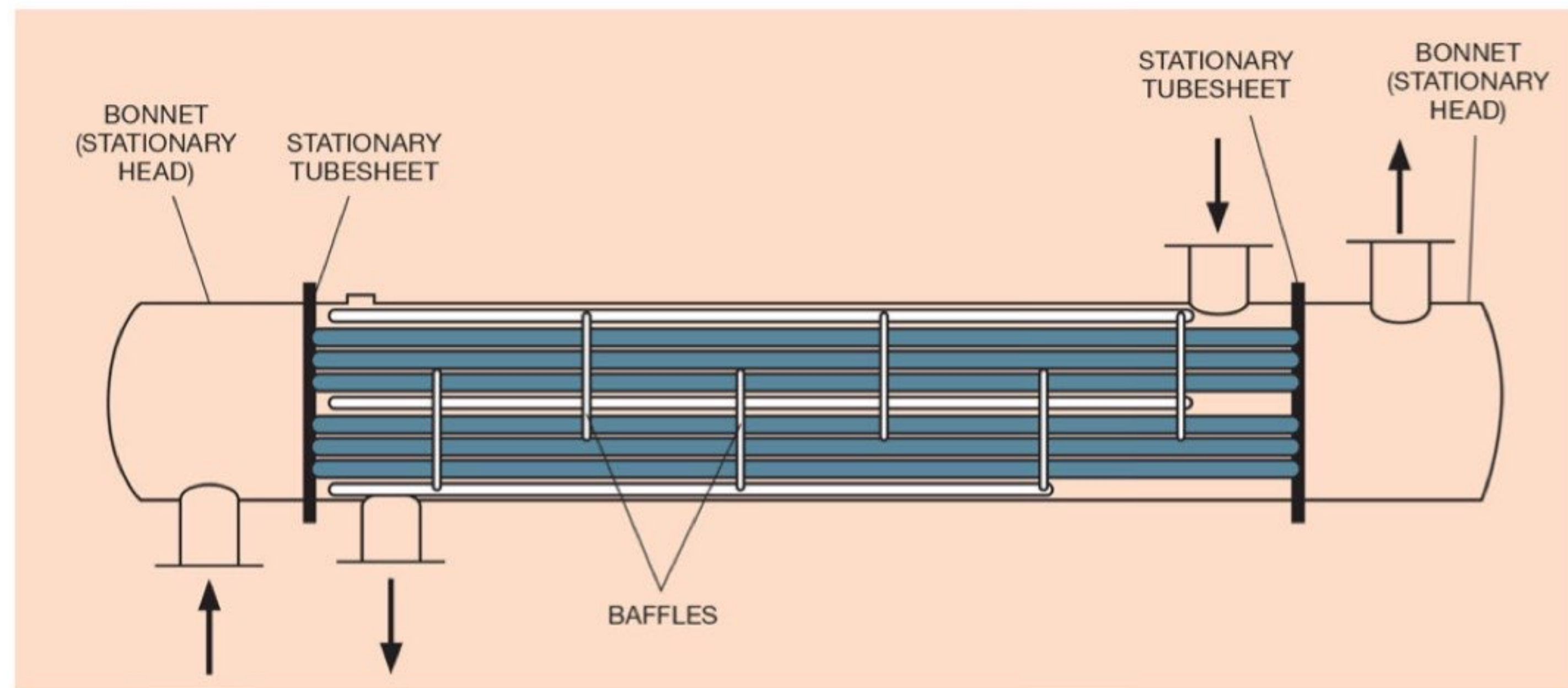
Kekurangan:

- 1) Desain dan fabrikasi lebih kompleks serta biaya lebih tinggi.
- 2) Lebih besar dan berat dibanding tipe lainnya, sehingga membutuhkan ruang lebih banyak.

c. *Fixed Tube Plate Exchanger*

Fixed Tube Plate Heat exchanger memiliki kedua ujung pipa terpasang secara permanen pada pelat tabung (*tube sheets*), yang menyatu dengan *shell*. Artinya, pipa-pipa tidak bisa dilepas atau digerakkan dari *shell*.

Gambar 6 Fixed tube plate exchanger



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

Kelebihan:

- 1) Desain sederhana dan ekonomis.
- 2) Ideal untuk fluida bersih di kedua sisi, karena perawatan dan pembersihan internal bisa dilakukan secara kimia (chemical cleaning).

Kekurangan:

- 1) Tidak dapat menyesuaikan perbedaan ekspansi termal antara pipa dan *shell*, sehingga berisiko mengalami kerusakan bila terjadi perbedaan temperatur besar.
- 2) Sulit dibersihkan secara mekanis dari sisi *shell* karena pipa tidak dapat dilepas.

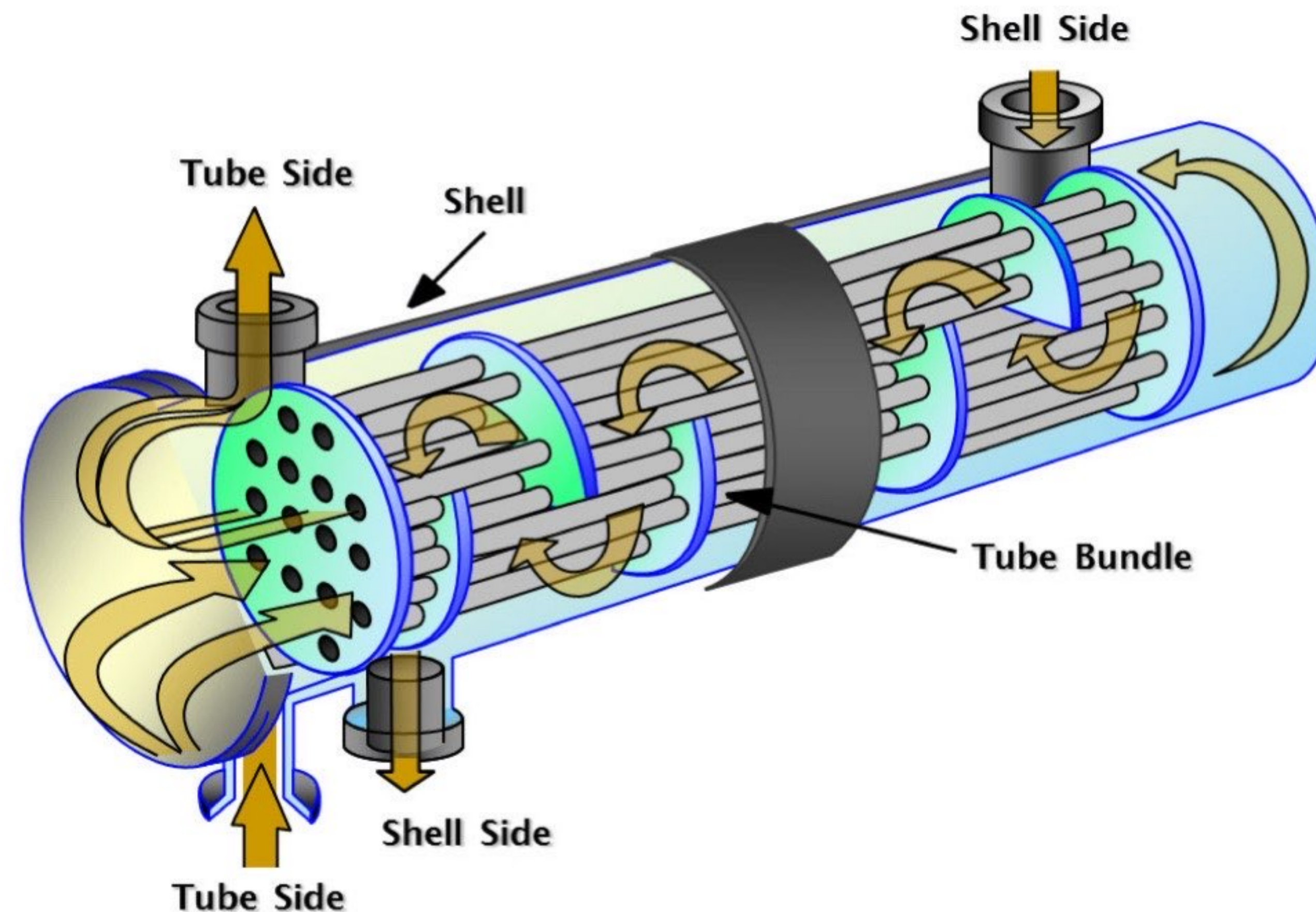
Ketiga jenis ini digunakan sesuai kebutuhan sistem, jenis fluida, perbedaan temperatur, serta kemudahan perawatan yang diinginkan pada aplikasi kapal maupun industri.

2. Struktur dan Komponen Utama

Shell and tube heat exchanger terdiri atas dua jalur aliran fluida utama yang dipisahkan oleh tabung (*tube*) logam:

- a. *Tube* bundle (kumpulan pipa), tempat fluida primer (biasanya air tawar) mengalir.
- b. *Shell* (cangkang) ruang di sekitar *tube* tempat fluida sekunder (biasanya air laut) mengalir.

Gambar 7 Structures Shell & Tube Heat exchangers



Sumber: <https://arvengtraining.com>

3. Komponen lainnya meliputi:

- c. *Tube sheet*, pelat logam yang menopang *tube* dan mengisolasi fluida masuk dan keluar.
- d. *Baffle*, pelat pengarah aliran yang memaksa air laut mengalir berkelok, meningkatkan turbulensi dan efisiensi perpindahan panas.
- e. *End cover* (penutup ujung), untuk distribusi fluida dan akses perawatan.

Desain ini memungkinkan perpindahan panas maksimal melalui konduksi dinding *tube* logam. *Shell and tube heat exchanger* juga dirancang agar tahan terhadap tekanan tinggi dan mudah dibongkar untuk proses pembersihan.

4. Mekanisme Pendinginan

Dalam aplikasi pendinginan mesin kapal, air tawar yang bersuhu tinggi dari sistem pendingin mesin dialirkan ke dalam *tube*, sementara air laut yang lebih dingin bersirkulasi dalam *shell*. Perpindahan panas terjadi dari air tawar ke air laut, dan hasilnya air tawar menjadi lebih dingin sebelum dikembalikan ke mesin.

Perpindahan panas ini tergantung pada:

- a. Perbedaan suhu antara air tawar dan air laut,

- b. Ketebalan dinding *tube*,
- c. Kecepatan dan arah aliran (*crossflow* atau *counterflow*),
- d. Material *tube* (biasanya tembaga, kuningan, atau baja tahan karat).

5. Perawatan dan Permasalahan Umum

Shell and tube heat exchanger, meskipun kokoh, tetap rentan terhadap masalah seperti:

- a. *Fouling*, akumulasi garam laut, mikroorganisme, dan lumpur di permukaan dalam *tube*.
- b. Korosi, akibat paparan air laut, terutama jika material *tube* tidak tahan terhadap kondisi lingkungan.
- c. Kebocoran, dapat terjadi di sambungan *tube sheet* atau pada *tube* yang aus.

Untuk menjaga efisiensi, diperlukan inspeksi berkala, pembersihan dengan metode kimia atau mekanis, serta penggantian *tube* jika ditemukan kerusakan serius (Sundén & Folić, 2019).

6. Keunggulan *Shell and Tube Heat exchanger* dalam Aplikasi Kapal

- a. Daya tahan tinggi terhadap tekanan dan suhu ekstrim.
- b. Konstruksi modular yang mudah dibongkar.
- c. Mampu menangani debit fluida besar.
- d. Lebih tahan terhadap *fouling* dibandingkan *plate type*.

Karena alasan inilah, *shell and tube heat exchanger* menjadi pilihan utama dalam sistem pendingin mesin induk maupun bantu pada kapal niaga, tanker, dan kapal LNG.

D. Permasalahan Pada *Heat exchanger* Tipe *Shell and Tube*

Heat exchanger, khususnya jenis *shell and tube*, memainkan peran yang sangat penting dalam sistem pendingin mesin induk. Fungsinya adalah untuk mentransfer panas dari air tawar yang mengalir melalui tabung ke air laut yang mengalir di sekitar *shell*. Proses ini memungkinkan air tawar untuk mendinginkan mesin dengan efisien, sehingga menjaga suhu operasi dalam batas yang aman. Namun, *heat exchanger* sering mengalami *fouling* pada permukaan tabung, baik dari sisi air tawar maupun sisi air laut. *Fouling* ini dapat berupa endapan kerak, lumpur, atau pertumbuhan organisme laut, yang semuanya dapat menghambat proses perpindahan panas secara efisien (Zhou & Wang, 2019).

1. Penyebab *Fouling* pada *Heat exchanger*

Fouling pada *heat exchanger* dapat disebabkan oleh berbagai faktor. Salah satu penyebab utama adalah akumulasi kerak yang terbentuk akibat pengendapan mineral dari air tawar dan air laut. Air tawar, meskipun lebih bersih dibandingkan air laut, masih mengandung mineral yang dapat mengendap dan membentuk kerak pada permukaan tabung. Di sisi lain, air laut mengandung garam dan mineral yang lebih tinggi, yang dapat mempercepat pembentukan kerak dan endapan.

Selain itu, lumpur yang terbawa oleh aliran air juga dapat menempel pada permukaan *heat exchanger*. Lumpur ini biasanya terdiri dari partikel halus yang berasal dari lingkungan, seperti debu, sisa-sisa bahan bakar, dan partikel lain yang terlarut dalam air. Ketika lumpur ini mengendap di dalam *heat exchanger*, ia dapat mengurangi area permukaan yang tersedia untuk perpindahan panas, sehingga mengurangi efisiensi sistem pendingin.

Pertumbuhan organisme laut, seperti lumut dan alga, juga merupakan masalah yang signifikan. Organisme ini dapat berkembang biak dengan cepat dalam lingkungan yang kaya nutrisi, seperti air laut, dan dapat membentuk lapisan biofilm yang menempel pada permukaan *heat exchanger*. *Biofouling* ini tidak hanya menghambat perpindahan panas, tetapi juga dapat menyebabkan kerusakan pada permukaan logam jika tidak ditangani dengan baik.

2. Dampak dari *Fouling* pada *Heat exchanger*

Akibat dari *fouling* pada *heat exchanger* sangat serius. Ketika endapan kerak, lumpur, atau organisme laut menghambat aliran dan perpindahan panas, suhu air tawar tidak dapat diturunkan dengan optimal. Hal ini menyebabkan mesin tetap beroperasi dalam suhu tinggi meskipun sistem pendingin aktif. Suhu yang tinggi dapat menyebabkan berbagai masalah, termasuk keausan dini pada komponen mesin, kerusakan gasket, dan bahkan kegagalan mesin secara keseluruhan.

Selain itu, *fouling* juga dapat menyebabkan peningkatan tekanan dalam sistem. Ketika aliran air terhambat, tekanan di dalam *heat exchanger* dapat meningkat, yang dapat menyebabkan kebocoran pada

sambungan pipa atau komponen lainnya. Kebocoran ini tidak hanya mengakibatkan kehilangan cairan pendingin, tetapi juga dapat menyebabkan kerusakan lebih lanjut pada sistem.

3. Pentingnya Pemeliharaan Rutin

Masalah *fouling* pada *heat exchanger* sering kali muncul akibat minimnya jadwal chemical cleaning atau manual brushing pada *heat exchanger*. Pemeliharaan rutin sangat penting untuk memastikan bahwa *heat exchanger* berfungsi dengan baik dan tidak mengalami *fouling* yang berlebihan. Chemical cleaning adalah proses di mana bahan kimia digunakan untuk melarutkan endapan dan kerak yang menempel pada permukaan *heat exchanger*. Proses ini harus dilakukan secara berkala, tergantung pada kondisi operasional dan kualitas air yang digunakan.

Manual brushing juga merupakan metode yang efektif untuk membersihkan permukaan tabung dari *fouling*. Dengan menggunakan sikat khusus, teknisi dapat menghilangkan endapan yang menempel dan memastikan bahwa area permukaan tetap bersih. Kombinasi antara chemical cleaning dan manual brushing dapat membantu menjaga efisiensi *heat exchanger* dan mencegah masalah yang lebih serius di kemudian hari.

4. Teknologi dan Inovasi dalam Pembersihan *Heat exchanger*

Seiring dengan perkembangan teknologi, berbagai metode baru untuk pembersihan *heat exchanger* juga telah diperkenalkan. Salah satunya adalah penggunaan sistem pembersihan otomatis yang dapat melakukan pembersihan secara berkala tanpa memerlukan intervensi manual. Sistem ini dapat dilengkapi dengan sensor yang mendeteksi tingkat *fouling* dan secara otomatis mengaktifkan proses pembersihan ketika diperlukan. Dengan cara ini, efisiensi *heat exchanger* dapat terjaga tanpa mengganggu operasi mesin.

Selain itu, penggunaan bahan pelapis khusus pada permukaan *heat exchanger* juga dapat membantu mengurangi *fouling*. Bahan pelapis ini dirancang untuk mengurangi adhesi partikel dan organisme laut, sehingga meminimalkan akumulasi *fouling*. Dengan mengadopsi teknologi dan inovasi

terbaru, operator kapal dapat meningkatkan kinerja sistem pendingin dan memperpanjang umur pakai *heat exchanger*.

E. Pemeliharaan *Heat exchanger*

1. Tujuan dan Pentingnya Pemeliharaan

Pemeliharaan (*maintenance*) adalah bagian vital dari sistem manajemen teknis kapal yang bertujuan untuk menjaga kinerja dan keandalan peralatan, termasuk *heat exchanger* sebagai komponen penting dalam sistem pendingin mesin. Di lingkungan kelautan yang ekstrem, seperti suhu tinggi, tekanan variabel, dan paparan air laut yang korosif, risiko kerusakan pada *heat exchanger* sangat tinggi. Oleh karena itu, pemeliharaan yang tepat dan terencana sangat diperlukan untuk mencegah kegagalan sistem pendingin dan menjaga efisiensi kerja mesin.

Tujuan utama pemeliharaan *heat exchanger* antara lain:

- a. Menjaga efisiensi perpindahan panas tetap optimal,
- b. Mencegah *overheat* mesin akibat pendinginan yang tidak efektif,
- c. Menghindari kerusakan mendadak yang dapat mengakibatkan downtime atau bahkan insiden keselamatan,
- d. Memperpanjang usia pakai unit *heat exchanger* dan komponen pendukungnya,
- e. Mengurangi biaya operasional melalui pencegahan biaya perbaikan besar (*corrective repair*).

Sistem pemeliharaan terjadwal yang terintegrasi dengan pemantauan kondisi (*condition-based maintenance*) telah terbukti menurunkan total biaya pemeliharaan kapal hingga 30% dalam jangka panjang, terutama pada komponen kritis seperti *heat exchanger*.

2. Jenis-Jenis Pemeliharaan (*Preventive, Predictive, Corrective*)

Dalam praktik operasional di atas kapal, jenis-jenis pemeliharaan terhadap *heat exchanger* dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Preventive Maintenance (Pemeliharaan Preventif)

Preventive maintenance dilakukan secara berkala dan terjadwal berdasarkan waktu atau jam operasi mesin, tanpa menunggu kerusakan terjadi. Langkah-langkahnya meliputi:

- 1) Pembersihan fisik permukaan *tube* dari *fouling*,
- 2) Penggantian gasket atau o-ring secara periodik,
- 3) Pemeriksaan tekanan fluida dan suhu outlet *heat exchanger*,
- 4) Inspeksi visual terhadap sambungan dan *shell* untuk mendeteksi kebocoran dini.

b. *Predictive Maintenance* (Pemeliharaan *Prediktif*)

Predictive maintenance menggunakan data real-time dari sensor suhu, tekanan, atau aliran fluida untuk memprediksi kapan potensi kerusakan akan terjadi. Teknologi seperti vibration analysis, infrared thermography, dan ultrasonic testing dapat digunakan untuk mendeteksi *fouling*, kebocoran, atau korosi internal secara dini.

Dengan memanfaatkan historical performance data dan algoritma AI, operator kapal dapat membuat keputusan pemeliharaan yang lebih efisien. Meskipun biaya awal sistem ini lebih tinggi, *predictive maintenance* mengurangi risiko kerusakan mendadak dan downtime.

c. *Corrective Maintenance* (Pemeliharaan *Korektif*)

Corrective maintenance dilakukan ketika komponen telah rusak. Pada *heat exchanger*, tindakan ini meliputi:

- 1) Pengelasan ulang pada area kebocoran,
- 2) Penggantian *tube* bundle yang korosi berat,
- 3) Recoating atau repainting area yang mengalami degradasi permukaan,
- 4) Penggantian unit *heat exchanger* secara keseluruhan jika kerusakan terlalu parah.

Jenis pemeliharaan ini mahal dan menyebabkan downtime signifikan, sehingga menjadi pilihan terakhir jika dua jenis sebelumnya tidak dilakukan secara efektif.

3. Prosedur Pembersihan *Shell and Tube Heat exchanger*

Prosedur pembersihan *heat exchanger* tipe *shell and tube* umumnya mengikuti langkah-langkah berikut:

- a. Shutdown sistem pendingin dan isolasi unit *heat exchanger*.
- b. Pembongkaran end cover (penutup ujung) untuk membuka akses ke *tube*.
- c. Inspeksi visual terhadap kondisi *tube*, *shell*, gasket, dan baffle.
- d. Pembersihan mekanis:

Menggunakan sikat fleksibel, bor air, atau jet tekanan tinggi untuk membersihkan bagian dalam *tube* dari lumpur, kerak, dan *fouling* biologis.

- e. Pembersihan kimia (jika diperlukan):

Sirkulasi bahan kimia seperti larutan asam sitrat atau HCl encer (dengan inhibitor korosi) untuk melarutkan mineral dan kerak (*scale*).

- f. Bilas dan pengeringan.
- g. Pemeriksaan tekanan (pressure test) untuk mendeteksi kebocoran.
- h. Perakitan ulang dan uji coba (re-commissioning).

SOP pembersihan harus mengacu pada manual produsen, standar IMO, dan rekomendasi dari Classification Society (misalnya ABS atau DNV) agar sesuai dengan aturan keselamatan kerja.

4. Faktor-faktor Penyebab Kerusakan (*Fouling*, Korosi, Kebocoran)

Beberapa penyebab utama kerusakan pada *heat exchanger* di kapal meliputi:

- a. *Fouling*

Fouling terjadi akibat akumulasi material asing seperti:

- 1) Lumpur atau partikel sedimen dari air laut,
- 2) Endapan mineral (*scaling*),
- 3) Organisme laut seperti alga dan kerang mikro (*biofouling*).

Fouling menyebabkan penurunan luas permukaan perpindahan panas dan peningkatan tekanan aliran fluida. Jika dibiarkan, dapat menyumbat *tube* sepenuhnya.

b. Korosi

Korosi merupakan degradasi logam akibat reaksi kimia, umumnya terjadi pada bagian yang bersentuhan langsung dengan air laut. Faktor pemicunya:

- 1) pH rendah,
- 2) Kandungan garam tinggi,
- 3) Oksigen terlarut,
- 4) Aliran turbulen yang merusak lapisan pasif.

Penggunaan material tahan karat seperti cupro-nickel atau stainless steel dan pemasangan sacrificial anode menjadi solusi umum pencegahannya.

c. Kebocoran

Kebocoran dapat disebabkan oleh:

- 1) Keretakan pada sambungan *tube* atau *tube* sheet akibat tekanan berlebih,
- 2) Gasket yang aus atau keras karena usia pakai,
- 3) Pengikisan (erosion) akibat aliran fluida berkecepatan tinggi atau turbulen.

Kebocoran tidak hanya menurunkan efisiensi sistem pendingin, tetapi juga berisiko mencemari air laut jika coolant mengandung bahan kimia. Oleh karena itu, pemantauan rutin dan perawatan sistem penyejukan menjadi penting.

F. Kerangka Pikir Penelitian

