

**STUDI KASUS KENAIKAN TEMPERATUR PENDINGIN AIR
TAWAR MESIN INDUK DENGAN METODE UJI STATISTIKA
DI KAPAL MV. ASIA STAR**



RENALDY PARAMBAN

NIT 21.42.108

TEKNIKA

**PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV PELAYARAN
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN MAKASSAR
TAHUN 2025**

**STUDI KASUS KENAIKAN TEMPERATUR PENDINGIN AIR
TAWAR MESIN INDUK DENGAN METODE UJI STATISTIKA
DI KAPAL MV ASIA STAR**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk
Menyelesaikan Program Pendidikan
Diploma IV Pelayaran

Program Studi Teknika

Disusun dan Diajukan Oleh

RENALDY PARAMBAN
NIT. 21.42.108

**PROGRAM PENDIDIKAN DIPLOMA IV PELAYARAN
POLITEKNIK ILMU PELAYARAN MAKASSAR
TAHUN 2025**

SKRIPSI

**STUDI KASUS KENAIKAN TEMPERATUR PENDINGIN AIR TAWAR MESIN INDUK
DENGAN METODE UJI STATISTIKA DI KAPAL MV. ASIA STAR**

Disusun dan Diajukan oleh:

RENALDY PARAMBAN

NIT. 21.42.108

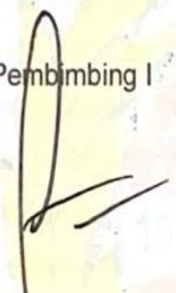
Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Skripsi

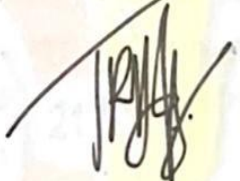
Pada tanggal, 14 November 2025

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II


Samsul Bahri, M.T., M.Mar.E.
NIP. 19730828 200604 1 001


Mahammad Tri Pujianto, S.S.T.Pel., M.Si.
NIP. 199212222023211012

Mengetahui:


a.n Direktur

Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar

Pembantu Direktur I

Ketua Program Studi Teknika


Capt. Faisal Sarani, M.T., M.Mar
NIP. 19750329 199903 1 002


Ir. Alberto, S.Si.T., M.Mar.E., M.A.P
NIP. 19760409 200604 1 001

PRAKATA

Penulis berterima kasih kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul "STUDI KASUS KENAIKAN TEMPERATUR AIR TAWAR PENDINGIN MESIN INDUK DENGAN METODE UJI STATISTIKA DI KAPAL MV ASIA STAR." Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan untuk menyelesaikan program Diploma IV jurusan Teknika di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.

Penyusunan skripsi ini atas bantuan dan peran serta berbagai pihak, sehingga segala hambatan dan rintangan yang dihadapi oleh penulis dapat teratasi dengan baik. Oleh karena itu, pada pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih sebesar besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan mendorong terwujudnya skripsi ini.

Dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada :

1. Bapak Capt. Rudi Susanto, M.Pd. selaku Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
2. Bapak Alberto, Si.T.,M. Mar.E. selaku Ketua Program Studi Teknika.
3. Bapak Samsul Bahri, M.T.,M. Mar.E.,. selaku dosen pembimbing I.
4. Bapak Muhammad Tri Pujianto, S.S.T.Pel., M.Si selaku dosen pembimbing II.
5. Seluruh staff Program Studi Teknika.
6. Seluruh dosen pengajar dan pegawai Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
7. Bapak Roby, selaku Presiden Direktur PT. Delmara Nusa Perkasa dan *crewing* PT. Delmara Nusa Perkasa yang telah mengizinkan dan memberi kesempatan kepada penulis dalam melaksanakan praktek laut.
8. Capt.Dong Xuegen, selaku penanggung jawab dan pembimbing penulis selama penulis melaksanakan praktek laut di MV. ASIA STAR.

9. Seluruh Crew PT. Delmara Nusa Perkasa khususnya *Engine Departement.* yang sudah membantu dan membimbing serta memberikan ilmu kepada penulis saat praktek laut.
10. Bapak Natan Rente salama dan Ibu Novianti orang tua tercinta, saudara-saudara saya yang telah memberikan dukungan doa dan motivasi kepada saya untuk menyelesaikan skripsi ini.
11. Seluruh Taruna/i PIP Makassar dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata, penulis dengan rendah hati memohon maaf atas segala kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua orang.

Makassar, 14 November 2025



Renaldy Paramban
Nit. 21.42.108

PERYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama : Renaldy Paramban

NIT : 21.42.108

Program Studi : TEKNIKA

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

**STUDI KASUS KENAIKAN TEMPERATUR PENDINGIN AIR TAWAR
MESIN INDUK DENGAN METODE UJI STATISTIKA DI KAPAL MV.
ASIA STAR**

Ini adalah karya original. Kecuali tema dan kutipan, saya membuat semua ide dalam skripsi ini sendiri. Jika pernyataan di atas tidak benar, saya bersedia menerima sanksi yang diberikan oleh Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.

Makassar, 14 November 2025



Renaldy Paramban
Nit. 21.42.108

ABSTRAK

RENALDY PARAMBAN, Studi Kasus Kenaikan Temperatur Air Tawar Pendingin Mesin Induk Dengan Metode Uji Statistika di Kapal MV. Asia Star (dibimbing oleh Samsul Bahri dan Muhammad Tri Pujiyanto).

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kenaikan temperature air tawar pendingin mesin induk dengan metode uji statistika di kapal MV. ASIA STAR.

Penelitian ini dilaksanakan di atas kapal MV. ASIA STAR saat penulis melaksanakan Praktek Laut (PRALA) Oktober 2023–November 2024 sumber data yang diperoleh dari tempat penelitian dengan cara observasi, dan dokumentasi langsung pada objek yang diteliti. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebab utama kenaikan temperatur adalah penyumbatan atau *fouling* pada *plate heat exchanger* yang menghambat proses penyerapan panas. Berdasarkan data temperatur, suhu maksimum air tawar tercatat mencapai 88°C, yang melebihi batas optimal (85°C). Pembersihan berkala dan pemeriksaan filter air laut terbukti efektif dalam menurunkan suhu kembali ke kisaran normal.

Penelitian ini memberikan gambaran nyata mengenai pentingnya pemeliharaan sistem pendingin secara berkala serta penerapan metode statistik dalam mendeteksi performa teknis sistem mesin di atas kapal.

Kata kunci : Pendingin mesin induk, air tawar, *heat exchanger*, temperature.

ABSTRACT

RENALDY PARAMBAN, *Case Study of Fresh Water Temperature Increase of Main Engine Cooler with Statistical Test Method on MV. ASIA STAR Ship (supervised by Samsul Bahri and Muhammad Tri Pujiyanto).*

The aim to be achieved from this research is to determine the increase in the temperature of the main engine cooling fresh water by statistical test method on the MV. ASIA STAR ship.

This research was conducted on board the MV. ASIA STAR when the author carried out Sea Practice (PRALA) October 2023-November 2024 data sources obtained from the research site by means of observation, and direct documentation on the object under study. The results show that the main cause of the temperature increase is fouling on the heat exchanger plate which inhibits the heat absorption process. Based on the temperature data, the maximum freshwater temperature was recorded at 88°C, which exceeded the optimal limit (85°C). Periodic cleaning and inspection of the seawater filter proved effective in reducing the temperature back to the normal range.

This research provides a real picture of the importance of regular maintenance of the cooling system and the application of statistical methods in detecting the technical performance of the engine system on board.

Keywords: main engine cooling, fresh water, heat exchanger, temperature.

DAFTAR ISI

PRAKATA	IV
PERYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	VI
ABSTRAK	VII
DAFTAR ISI	IX
DAFTAR GAMBAR	XI
DAFTAR TABEL	XII
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Batasan Masalah	3
E. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Mesin Utama (<i>Main Engine</i>)	4
B. Pengertian Pendingin (<i>cooler</i>)	5
C. Sistem Pendingin	7
D. Komponen Utama Sistem Pendingin	12
E. Tujuan Pendingin	19
F. Manfaat Pendingin	21
G. Faktor-Faktor Penyebab Kenaikan Temperatur Pendingin	22
H. Pengaruh Kenaikan Temperatur Air Tawar Pada Sistem Pendingin Mesin Induk	23

I. Peran Heat Exchanger Dalam Sistem Pendingin Mesin Induk Kapal	24
J. Faktor Lingkungan Yang Mempengaruhi System Pendingin Mesin Induk Kapal	26
K. Metode Uji Statistika Dalam Analisis Data	26
L. Kerangka Pikir	31
M. Hipotesis	29
BAB III METODE PENELITIAN	30
A. Jenis penelitian	30
B. Defenisi Operasional Variabel	30
C. Jenis dan sumber data	30
D. Teknik Pengumpulan Data	31
E. Teknik Analisis Data	31
F. Metode Uji Statistika yang Digunakan	32
G. Jadwal Penelitian	33
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	34
A. Deskripsi Hasil Penelitian	34
B. Pembahasan	45
C. Statistika deskriptif	48
D. Hubungan antara Gangguan Sistem Pendingin dan Kinerja Mesin	65
BAB V PENUTUP	66
A. Kesimpulan	66
B. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	69

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2. 1 Coller Main engine type plat</i>	7
<i>Gambar 2. 2 Skematik system pendingin terbuka</i>	9
<i>Gambar 2. 3 skematik system pendingin tertutup</i>	11
<i>Gambar 2. 4 pompa</i>	14
<i>Gambar 2. 5 tanki ekspansi</i>	15
<i>Gambar 2. 6 thermostat</i>	16
<i>Gambar 2. 7 heat exchanger</i>	18
<i>Gambar 4. 1 cooling fresh water line</i>	37
<i>Gambar 4. 2 heat exchanger</i>	41
<i>Gambar 4. 3 plate heat exchanger</i>	46
<i>Gambar 4. 4 strainer sea chast</i>	47

DAFTAR TABEL

<i>TABEL 3. 1 jadwal penelitian</i>	33
<i>TABEL 4. 1 principal general particular</i>	34
<i>TABEL 4. 2 main engine particular</i>	36
<i>TABEL 4. 3 data temperatur saat normal 12 desember 2023</i>	41
<i>TABEL 4. 4 data temperatur saat abnormal 13 desember 2023</i>	42
<i>TABEL 4. 5 data temperatur saat normal 14 desember 2023</i>	43
<i>TABEL 4. 6 data temperatur saat normal 15 desember 2023</i>	44
<i>TABEL 4. 7 median 12 desember 2023</i>	49
<i>TABEL 4. 8 standar deviasi 12 desember 2023</i>	49
<i>TABEL 4. 9 sample variance 12 desember 2023</i>	51
<i>TABEL 4. 10 median 13 desember 2023</i>	54
<i>TABEL 4. 11 standard deviasi 13 desember 2023</i>	54
<i>TABEL 4. 12 sample variance 13 desember 2023</i>	56
<i>TABEL 4. 13 median 14 desember 2023</i>	58
<i>TABEL 4. 14 standard deviasi 14 desember 2023</i>	58
<i>TABEL 4. 15 sample variance 14 desember 2023</i>	59
<i>TABEL 4. 16 median 15 desember 2023</i>	61
<i>TABEL 4. 17 standard deviasi 15 desember 2023</i>	62
<i>TABEL 4. 18 rekaputilasi hasil perhitungan</i>	65

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sistem pendingin air tawar adalah bagian yang sangat penting dalam operasi mesin induk kapal yang berfungsi menjaga temperatur kerja mesin agar tetap stabil dan optimal. Kegagalan dalam sistem ini dapat menyebabkan overheating yang berujung pada penurunan efisiensi kerja mesin atau bahkan kerusakan komponen mesin secara permanen. E. Karyanto menyatakan dalam bukunya Panduan Reparasi Mesin Diesel bahwa panas yang dikompresikan dan dipadatkan dapat mencapai suhu antara 5000°C dan 7000°C, menyebabkan bagian-bagian motor menjadi sangat panas karena gas pembakaran.

Selama pengoperasian mesin induk, sistem pendingin air tawar mesin induk sering terganggu, yang memaksa kru mesin di atas kapal untuk bertindak cepat untuk memastikan mesin induk berjalan lancar. Akibatnya, selama pelayaran, kapal tidak akan mengalami masalah dengan sistem pendingin air tawar mesin induk.

Air laut biasanya digunakan dalam sistem pendinginan motor diesel, tetapi dapat menyebabkan kerak keras pada permukaan yang didinginkan dan korosi pada permukaan yang dikenai air pendingin, menyebabkan gangg.

Perpindahan Karena perpindahan panas, saluran pendingin tersumbat. Akibatnya, karena memiliki banyak keuntungan, air tawar lebih banyak digunakan sebagai pendingin. Permukaan logam yang terkena air pendingin tidak korosi (karat), membuatnya lebih tahan lama, dan tidak menimbulkan kerak yang mengendap.

Dalam praktiknya, terdapat kondisi di mana terjadi kenaikan temperatur air tawar yang tidak normal, yang dapat menjadi indikator awal adanya gangguan pada sistem pendingin, seperti *fouling* pada *heat exchanger*, penurunan laju alir, atau kerusakan pompa sirkulasi. Oleh

karena itu, penting dilakukan analisis mendalam terhadap pola kenaikan temperatur tersebut agar dapat diambil tindakan preventif sebelum terjadi kerusakan lebih lanjut.

Untuk mendukung analisis tersebut, digunakan metode uji statistika yang memungkinkan data temperatur yang telah terekam selama periode tertentu dapat dianalisis secara kuantitatif. Melalui pendekatan statistic deskriptif, dapat diketahui apakah kenaikan temperatur yang terjadi signifikan, dan apakah terdapat hubungan antara kenaikan temperatur dengan faktor-faktor lain seperti waktu operasi, beban mesin, atau kondisi lingkungan.

Penelitian ini dilakukan berdasarkan kasus nyata yang terjadi di atas kapal MV. ASIA STAR saat penulis melaksanakan praktek laut (PRALA). Berdasarkan data observasi, suhu air tawar pada sistem pendingin mesin induk tercatat mencapai 88°C, melebihi batas ideal sebesar 85°C. Hasil investigasi awal menunjukkan bahwa penyumbatan pada plate heat exchanger menjadi penyebab utama gangguan tersebut.

Bersasarkan latar belakang tersebut , penulis melakukan penelitian dengan judul **“STUDI KASUS KENAIKAN TEMPERATUR AIR TAWAR PENDINGIN MESIN INDUK DENGAN METODE UNI STATISTIKA DI KAPAL MV ASIA STAR”** Sebagai bentuk kajian ilmiah terhadap performa system pendingin kapal.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah apa penyebab terjadinya kenaikan temperature air tawar pada *main engine* dan menguji data dengan metode uji statistika?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui alasan mengapa suhu air tawar pada mesin induk meningkat.dan menggambarkan data menggunakan statistika deskriptif.

D. Batasan Masalah

Agar penelitian terfokus , maka dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Penelitian hanya dilakukan pada system pendingin air tawar mesin induk kapal MV ASIA STAR.
2. Data yang dianalisis adalah data temperature air tawar *outlet cooler* selama kapal beroperasi normal (tidak termasuk saat *standby* atau *docking*).
3. Analisis hanya menggunakan pendekatan statistik deskriptif.
4. Penelitian tidak membahas aspek teknis perbaikan mekanikal, melainkan difokuskan pada analisis data temperature.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi teknis mengenai performa *heat exchanger* berdasarkan data nyata di lapangan.
2. Menjadi referensi bagi engineer atau pihak operator dalam mendeteksi potensi performa *heat exchanger* secara dini.
3. Menambah wawasan akademik dalam penerapan metode statistika deskriptif untuk kasus-kasus Teknik di bidang kelautan dan permesinan kapal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Mesin Utama (*Main Engine*)

Mesin diesel adalah mesin pembakaran internal di mana udara dikompres ke suhu yang cukup tinggi untuk menyalakan bahan bakar diesel ke dalam silinder. Pembakaran dan pemancaran menggerakkan piston, mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik. Mesin ini dapat digunakan untuk truk pengangkut barang, traktor besar, lokomotif, dan kapal laut. Mesin diesel juga dikenal sebagai mesin utama atau mesin utama kapal.

Mesin diesel adalah mesin pembakaran dalam, atau pemicu, di mana gas yang dikompresi digunakan sebagai bahan bakar daripada sumber energi lain seperti busi. Mesin ini ditemukan oleh Jerman Rudolf Diesel pada tahun 1892 dan dia menerima paten pada 23 Februari 1893. Menurut Krastev et al. (2018), mesin diesel termasuk dalam jenis mesin pembakaran di dalam. Karena keunggulan mereka selama dua puluh tahun terakhir, mesin diesel dapat menggambarkan struktur aliran silinder yang tidak teratur. Oleh karena itu, untuk banyak pengguna motor bakar, mesin diesel menjadi pilihan utama.

Panas dan tekanan yang dihasilkan oleh pembakaran diubah menjadi energi mekanik melalui gerakan bolak balik piston. Sementara cylinder bergerak, gerakan bolak balik piston diubah oleh crankshaft menjadi energi putar. crank terdiri dari connecting rod dan crank yang tersambung dengan tenaga piston. Salah satu tujuan utama pendinginan air tawar adalah untuk menghilangkan atau mengurangi panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar di dalam cylinder liner mesin induk. Proses pembakaran menghasilkan sumber panas yang meningkatkan suhu mesin induk, yang memerlukan pendinginan untuk menurunkan suhu tersebut. Pendinginan tertutup adalah jenis pendinginan yang dibutuhkan. Kinerja mesin diesel sangat memengaruhi

tingkat efisiensi dan optimalisasinya. Sehubungan dengan masalah perutean kapal, tujuan umum untuk optimalisasi adalah untuk mengurangi waktu perjalanan, penggunaan bahan bakar, dan resiko perjalanan kapal (Kaklis et al., 2019).

Mohammed, Mosleh, El-Maghlani, dan Ammar (2020) menyatakan bahwa mesin diesel kelautan menggerakkan kapal dagang. Pembuangan panas mesin diesel merupakan salah satu masalah utama sistem ini. Hasil pembakaran bahan bakar menjelaskan bahwa panas yang dihasilkan oleh gesekan antar komponen atau pembakaran bahan bakar muncul saat motor diesel bekerja. Tetapi sebagian besar panas berasal dari pembakaran yang menghasilkan tenaga untuk motor. Bagian lain motor dapat terpengaruh oleh bagian atas silinder, yang merupakan bagian yang paling panas.

Penukar panas termasuk dalam dua kategori utama menurut pengaturan alirannya, pada penukar panas penukaran aliran paralel, kedua cairan masuk ke penukar panas pada ujung sama, dan melakukan perjalanan satu sama lain ke sisi yang lain secara paralel. Cairan masuk ke penukar panas melalui penukar panas counterflow. Dalam penukar panas lintas aliran cairan, panas yang paling banyak ditransfer dari medium panas, sehingga desain arus berlawanan paling efektif.

Untuk menetralkan dan mengontrol temperatur mesin, sistem pendingin sangat bermanfaat. Sebagian panas dari gas pembakaran harus dipindahkan secara tidak langsung ke fluida pendingin di bagian bawah silinder. Temperatur setiap bagian silinder akan naik jika tidak berfungsi dengan baik.

B. Pengertian Pendingin (*cooler*)

Sistem pendingin pada mesin induk kapal adalah mekanisme penting yang berfungsi untuk menjaga suhu mesin tetap stabil selama operasi. Hal ini mencegah terjadinya overheat yang dapat merusak

komponen mesin dan mengurangi efisiensi operasional kapal. Pendingin atau *cooler* pada kapal adalah komponen penting dalam sistem mesin yang berfungsi untuk menyerap dan menghilangkan panas dari berbagai bagian mesin kapal agar tetap bekerja pada suhu operasional yang aman dan efisien. Proses pendinginan ini sangat penting untuk mencegah *overheating* (panas berlebih) yang dapat menyebabkan kerusakan pada mesin utama (*main engine*).

Pendingin (*cooler*) pada kapal adalah salah satu komponen utama dalam sistem mesin yang berfungsi untuk menjaga suhu kerja mesin tetap stabil agar tidak mengalami *overheating*. Pendingin ini bekerja dengan menyerap panas dari fluida seperti air tawar atau minyak pelumas, lalu melepaskan panas tersebut ke fluida lain seperti air laut melalui proses pertukaran panas (*heat exchange*). Dalam praktiknya, sistem pendinginan yang digunakan pada kapal terbagi menjadi dua, yaitu sistem pendingin terbuka dan tertutup, di mana sistem tertutup lebih umum digunakan pada mesin induk kapal modern karena lebih efisien dan tidak menyebabkan korosi langsung pada komponen logam mesin.

Menurut Ibrahim, Mustain, dan Hasan (2020), *lube oil cooler* merupakan penukar panas tipe *cross-flow* yang menggunakan air demineralisasi sebagai media pendingin untuk menyerap panas dari minyak pelumas. Sementara itu, Johandii (2023) menegaskan bahwa pendingin air tawar sangat berperan dalam menurunkan suhu mesin induk dan mencegah kerusakan akibat suhu tinggi. Nugraha, Putra, dan Maulana (2024) menambahkan bahwa sistem pendingin yang efisien sangat bergantung pada kecepatan sirkulasi fluida dan kondisi kebersihan dari *heat exchanger*, terutama pelat pendingin yang harus bebas dari *fouling* dan kerak.

Efisiensi sistem pendingin sangat mempengaruhi performa mesin induk. Jika suhu air tawar pendingin melebihi ambang batas optimal (sekitar 85°C), maka dapat terjadi penurunan efisiensi termal, konsumsi bahan bakar meningkat, dan potensi kerusakan pada komponen seperti *cylinder liner* dan kepala silinder menjadi lebih besar (Nugraha et al., 2024). Oleh karena itu, pemeliharaan rutin dan pembersihan komponen seperti filter air laut dan pelat *heat exchanger* sangat penting untuk menjaga performa optimal dari sistem pendingin mesin induk.



GAMBAR 2. 1 COLLER MAIN ENGINE TYPE PLAT

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

Sistem pendingin ini terdiri dari berbagai komponen seperti pompa, penukar panas, dan pipa yang bekerja secara sinergis untuk menyerap dan membuang panas dari mesin.

C. Sistem Pendingin

Kita akan membicarakan tentang sistem pendingin tertutup dan terbuka karena motor yang digunakan dikapal sebagian besar membutuhkan air untuk mendinginkan.

Menurut Mohammed et al. (2000), sistem pendingin memainkan peran

penting dalam sistem mesin kapal karena menjaga suhu mesin dalam kondisi operasional yang stabil. Selama proses pembakaran bahan bakar, suhu ruang bakar mesin diesel dapat mencapai suhu lebih dari 500°C, yang jika tidak dikendalikan dapat menyebabkan kerusakan pada komponen mesin seperti kepala silinder, piston, dan cylinder liner.

Pada tahun 2023, DNV melaporkan bahwa dua jenis sistem pendingin yang paling umum digunakan di kapal adalah tertutup dan terbuka. Air laut digunakan secara langsung untuk mendinginkan sistem terbuka. Ini banyak digunakan pada kapal kecil atau sistem bantu karena mudah digunakan. Air laut dipompa ke dalam sistem, menyerap panas mesin, dan kemudian dibuang kembali ke laut. Namun, kelemahan utama sistem pendingin tertutup adalah risiko korosi yang tinggi dan penyumbatan partikel laut. Menurut Johandii, 2023, air tawar bersirkulasi melalui sistem tertutup dan kemudian didinginkan oleh air laut melalui pengumpan panas. Sistem ini lebih banyak digunakan pada mesin induk kapal kontemporer karena mampu mengurangi risiko korosi dan menjaga kestabilan suhu pendinginan.

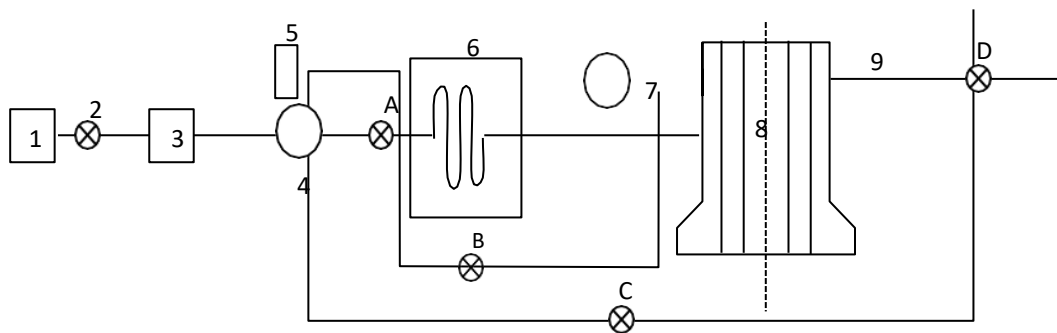
Nugraha, Putra, dan Maulana (2024) mencatat bahwa penurunan efisiensi sistem pendingin biasanya disebabkan oleh fouling, penurunan tekanan pompa, atau suhu lingkungan laut yang tinggi. Oleh karena itu, penting dilakukan inspeksi rutin dan pembersihan berkala agar performa pendingin tetap optimal.

Jenis-jenis system pendingin yang ada di kapal:

1. Sistem Pendingin Terbuka

Dalam sistem ini, air laut digunakan langsung sebagai media pendingin. Air laut dipompa masuk ke dalam sistem pendingin mesin, menyerap panas dari mesin, dan kemudian dibuang kembali ke laut. Sistem ini sederhana dan umum digunakan pada kapal-kapal kecil atau sebagai sistem bantu. Kelebihan dari system ini adalah desainnya yang sederhana dan biaya instalasi

yang rendah, tentunya juga resiko tinggi terhadap korosi dan penyumbatan akibat kotoran dari laut.



GAMBAR 2. 2 SKEMATIK SYSTEM PENDINGIN TERBUKA

Sumber : <https://laporanpraktikumbersama.blogspot.com>

Keterangan:

1. Sea chest
2. Kingston valve
3. Saringan (filter)
4. Pompa
5. Katup pengaman
6. Tanki pendingin
7. Manometer
8. Mesin induk
9. Pipa buangan

Pada sistem pendingin terbuka, motor didinginkan langsung dengan air laut. Air laut masuk ke pompa melalui katup jenis kingstone dan filter, lalu masuk ke motor induk dan keluar dari

lambung kapal. Selanjutnya, air laut kembali ke motor induk melalui kotak pendingin dan manometer, dan kemudian kembali ke motor induk. Sebelum masuk ke motor, manometer dipasang di antara tangki pendingin dan motor untuk mengukur tekanan air laut. Penyumbatan pipa spiral dapat diidentifikasi saat tekanan manometer turun.

Jika katup A dan B dibuka, pendinginan tetap dapat dilakukan. Jika katup C dan D dibuka saat motor dihidupkan, sirkulasi air dapat mencapai temperatur kerja dengan cepat.

Sistem pendingin yang telah dimodifikasi dengan menggunakan heat exchanger memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan metode lama, sistem pendingin terbuka (langsung). sistem pendingin menggunakan metode pendinginan terbuka seperti: berkurangnya tingkat korosifitas pada bagian water jacket, dan suhu air dalam jaket air dan bagian yang terkontaminasi langsung dengan air pendingin tetap sesuai (terjaga) dengan suhu ideal air pendingin mesin diesel, yaitu 65 hingga 90 derajat Celcius.

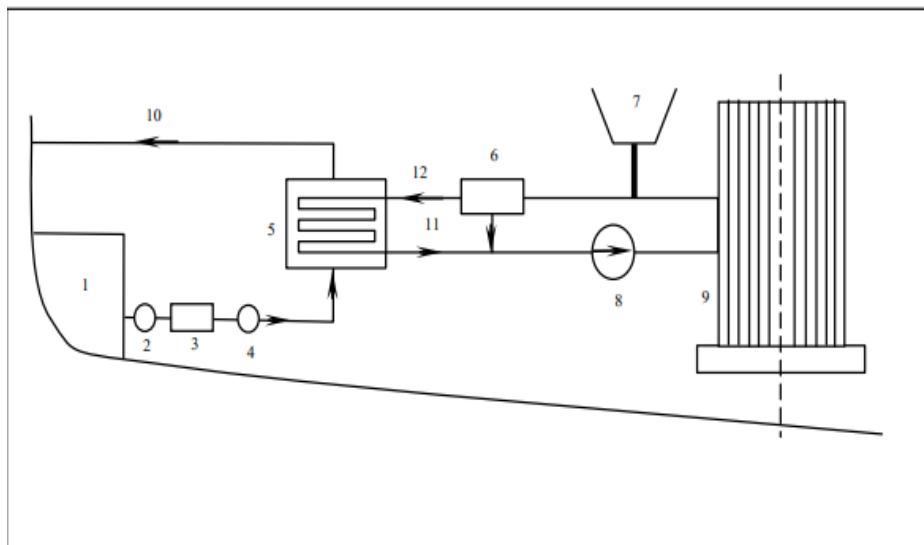
Sistem terbuka ini menggunakan pendinginan melalui media air laut untuk penyerapan panas. Ini dicapai dengan mengambil air laut dari katup melalui filter dan pompa air. Kemudian air laut didistribusikan ke seluruh bagian mesin induk, mendinginkan kepala silinder, dinding silinder, dan katup pelepas gas dengan menggunakan minyak pelumas dan pendingin udara. Proses ini akan mengeluarkan air laut dari kapal.

Dinding silinder meningkat karena panas yang ditimbulkan selama pembakaran mengalir dari gas ke dalamnya. Jika suhu dinding meningkat di atas batas tertentu, sekitar 3000 °F, dengan torak yang tidak didinginkan, minyak yang melumasi torak mulai menguap dengan cepat, menyebabkan kerusakan silinder dan torak.

Sama sekali, suhu tinggi di area tertentu di mesin, seperti torak dan kepala silinder, dapat menyebabkan tegangan berlebihan dan retak. Permukaan yang menggesek menghasilkan panas tambahan, terutama torak dan cincin torak dengan dinding silinder, di mana batas suhu aman dinding silinder sangat tinggi.

2. Sistem Pendingin Tertutup

Sistem ini menggunakan air tawar yang bersirkulasi dalam sistem tertutup untuk menyerap panas dari mesin. Air tawar yang telah menyerap panas kemudian didinginkan oleh air laut melalui penukar panas (heat exchanger) sebelum disirkulasikan kembali.



Kelebihannya adalah mengurangi resiko karena tidak ada kontak langsung antara air laut dan komponen mesin. Kekurangannya memerlukan perawatan lebih intensif dan biaya instalasi yang lebih tinggi.

GAMBAR 2. 3 SKEMATIK SYSTEM PENDINGIN TERTUTUP

Sumber : <https://laporanpraktikumbersama.blogspot.com>

Keterangan :

- | | |
|---------------------------|---------------------------------|
| 1. Kotak laut (Sea chest) | 7. Tangki pendingin |
| 2. Kingston valve | 8. Pompa |
| 3. Saringan / Filter | 9. Mesin utama |
| 4. Pompa | 10. Air laut keluar |
| 5. Fresh water cooler | 11. Air tawar masuk ke mesin |
| 6. Thermostat | 12. Air tawar keluar dari mesin |

Air laut diisap oleh pompa melalui kotak laut yang ditutup oleh kisi-kisi untuk mencegah masuknya benda-benda kasar. Selanjutnya katup jenis kingstone ditempatkan di belakang kotak laut untuk menghentikan masuknya air laut jika terjadi kebocoran pada pipa atau bagian yang lainnya. Sebelum air masuk pompa, terlebih dahulu harus masuk filter untuk menyaring atau mendapatkan partikel-partikel kecil. Setelah keluar dari filter, air dipompakan ke dalam pendingin guna mendinginkan air tawar yang keluar dari motor, sedangkan air laut langsung dibuang ke laut. Air tawar yang telah didinginkan dipakai kembali untuk mendinginkan motor dengan menggunakan bantuan pompa penghantar antara pendingin dengan motor dipasang thermostat untuk mengatur temperatur air pendingin dan ditempatkan pula tangki ekspansi yang berguna untuk mencegah naiknya tekanan air tawar yang mengembang karena panas dan untuk mengawasi sebagian air tawar yang hilang.

D. Komponen Utama Sistem Pendingin

Ibrahim et al., 2020 Komponen utama dalam sistem pendingin kapal meliputi pompa sirkulasi, tangki ekspansi, *thermostat*, dan *heat exchanger*. Pompa berfungsi mengalirkan air pendingin ke seluruh bagian mesin, sedangkan *thermostat* mengatur aliran berdasarkan suhu mesin. *Heat exchanger* menjadi bagian kritis karena memindahkan

panas dari air tawar ke air laut. Efisiensi pertukaran panas pada *heat exchanger* sangat dipengaruhi oleh kebersihan pelat dan kelancaran aliran fluida.

System pendingin pada main engine memiliki beberapa komponen penting antara lain :

1. Pompa

Pompa merupakan komponen krusial dalam sistem pendingin kapal yang berfungsi untuk mensirkulasikan fluida pendingin, baik air laut maupun air tawar, ke seluruh bagian sistem pendinginan. Pompa bekerja dengan menciptakan perbedaan tekanan untuk mendorong cairan melalui jalur sirkulasi yang telah ditentukan, sehingga proses penyerapan dan pelepasan panas dapat berlangsung secara berkesinambungan.

Menurut Takács (2009), pompa dalam sistem pendingin berperan dalam menaikkan fluida dari daerah bertekanan rendah ke daerah bertekanan tinggi, sekaligus memastikan adanya aliran kontinu dalam jaringan perpipaan. Dalam konteks pendinginan mesin induk kapal, pompa digunakan untuk dua sirkulasi utama, yaitu:

- a) Pompa air laut – yang mengalirkan air laut ke *heat exchanger* untuk menyerap panas dari air tawar.
- b) Pompa air tawar – yang mensirkulasikan air tawar ke dalam mesin untuk menyerap panas dari komponen mesin seperti *cylinder liner* dan *cylinder head*, kemudian mengalirkannya ke *fresh water cooler* untuk didinginkan kembali.

DNV, 2023 Efisiensi kerja pompa akan sangat mempengaruhi performa pendinginan. Bila tekanan atau kapasitas aliran pompa menurun, maka kecepatan pendinginan pun akan terganggu, yang berakibat pada kenaikan temperatur mesin. Oleh karena itu, pemeliharaan berkala seperti pengecekan impeller, paking, dan sistem seal menjadi penting agar pompa tetap berfungsi optimal.

Selain fungsi mekanis, pompa juga dilengkapi dengan kontrol otomatis atau sistem monitoring untuk menjaga aliran dan tekanan tetap berada dalam kisaran yang ditentukan. Hal ini penting terutama pada kapal modern yang mengandalkan sistem digital untuk mendeteksi dini apabila terjadi anomali pada sirkulasi fluida pendingin.



GAMBAR 2. 4 POMPA

Sumber : <http://dimensipelaut.blogspot.com>

2. Tanki Ekspansi

Tangki ekspansi merupakan komponen penting dalam sistem pendingin tertutup di kapal. Fungsinya adalah untuk menampung kelebihan volume cairan pendingin yang mengembang akibat peningkatan suhu selama operasi mesin, serta menjaga tekanan sistem agar tetap stabil. Selain itu, tangki ini berfungsi untuk mempermudah proses pengisian dan pengawasan jumlah cairan pendingin dalam sistem.

Menurut Johandii (2023), dalam sistem pendingin air tawar kapal, tangki ekspansi biasanya dipasang pada posisi yang lebih tinggi untuk memanfaatkan gaya gravitasi dan mencegah terbentuknya gelembung udara (*air lock*) dalam sirkulasi. Udara yang terperangkap dapat menghambat aliran pendingin dan menurunkan efisiensi penyerapan panas.

Meurut Nugraha, Putra, & Maulana, 2024 tangki ekspansi juga berfungsi sebagai buffer tekanan. Ketika suhu cairan pendingin meningkat, volume cairan akan mengembang dan menyebabkan peningkatan tekanan. Tangki ekspansi menyediakan ruang bebas untuk

mengakomodasi perubahan volume ini, sehingga mencegah tekanan berlebih yang dapat merusak komponen sistem seperti pipa, sambungan, atau *heat exchanger*.

Menurut Gunawan, 2024 tangki ekspansi membantu menjaga kestabilan suhu kerja mesin dengan menyediakan volume cadangan cairan pendingin yang dapat segera masuk ke sistem bila diperlukan. Hal ini sangat penting saat terjadi kebocoran kecil atau penguapan air pendingin karena suhu tinggi. Dengan demikian, keberadaan tangki ekspansi mendukung keberlangsungan operasi mesin secara efisien dan aman.



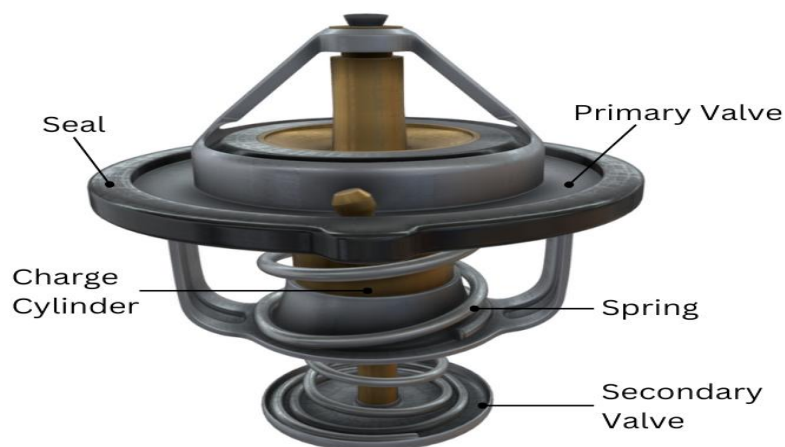
GAMBAR 2. 5 TANKI EKSPANSI

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

3. Thermostat

Thermostat merupakan komponen pengatur suhu otomatis dalam sistem pendingin kapal, yang berfungsi untuk mempertahankan suhu cairan pendingin pada tingkat optimal selama mesin beroperasi. Menurut Eon Chemicals, 2023 peran utamanya adalah mengatur jalur aliran air tawar pendingin, apakah langsung disirkulasikan kembali ke mesin atau diarahkan terlebih dahulu ke *heat exchanger* untuk didinginkan.

Parsial Teknik, 2022 saat suhu mesin masih rendah (biasanya di bawah 70°C), thermostat akan tetap tertutup, sehingga air pendingin tidak mengalir ke *heat exchanger*. Tujuannya adalah mempercepat tercapainya suhu kerja ideal. Sebaliknya, saat suhu mencapai batas kerja optimal (biasanya 80–85°C), thermostat akan terbuka secara otomatis dan mengalirkan air ke sistem pendingin eksternal untuk menurunkan suhu.



GAMBAR 2. 6 THERMOSTAT

Sumber : <https://savree.com>

Fungsi ini sangat penting untuk menjaga efisiensi mesin. Jika suhu terlalu rendah, pembakaran bahan bakar tidak sempurna dan konsumsi bahan bakar meningkat. Jika suhu terlalu tinggi, dapat terjadi overheating yang merusak komponen vital mesin seperti silinder dan piston (Mujiyanto, 2023). Oleh karena itu, thermostat bertindak sebagai pengontrol suhu dinamis yang menjaga mesin berada pada kondisi termal optimal sepanjang waktu.

Menurut Johandii, 2023 kerusakan atau keausan pada thermostat dapat menyebabkan gangguan aliran cairan pendingin, sehingga berpotensi memicu lonjakan suhu secara drastis. Oleh karena itu, inspeksi berkala dan penggantian thermostat yang tidak berfungsi menjadi bagian penting dari pemeliharaan sistem pendingin kapal.

4. Heat Exchanger

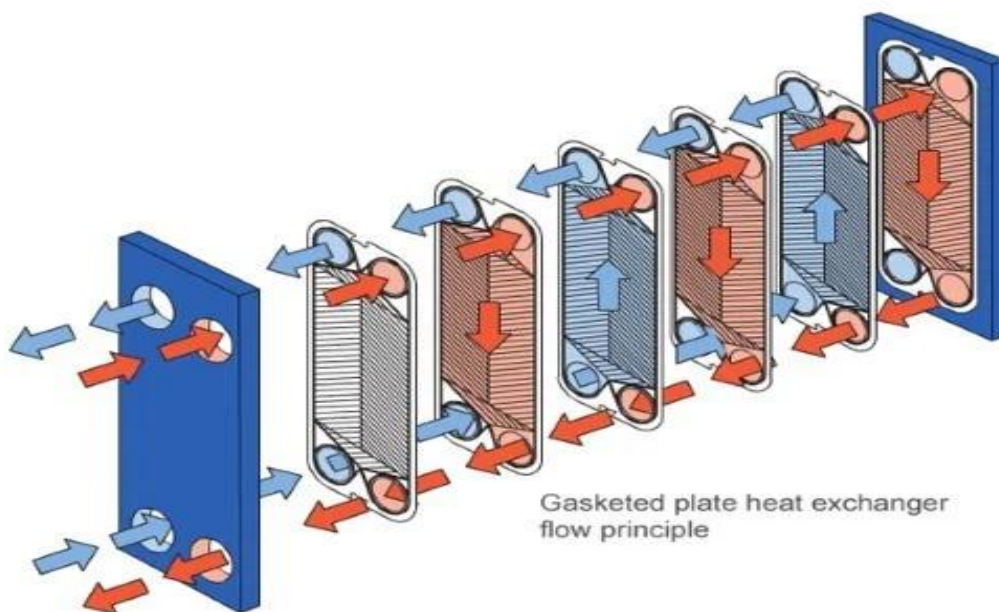
Air tawar yang bersirkulasi dalam sistem pendinginan didinginkan oleh heat exchanger. Alat pendingin air tawar untuk motor diesel kapal biasanya berbentuk plat dan tabung dengan air laut sebagai media pendingin.

Komponen utama sistem pendingin tertutup kapal adalah heat exchanger, yang memindahkan panas dari fluida pendingin primer (biasanya air tawar) ke fluida pendingin sekunder (umumnya air laut), tanpa mencampurkan kedua fluida tersebut. Proses ini berlangsung melalui dinding logam tipis (plat atau pipa), di mana perpindahan panas terjadi secara konduktif dan konvektif (Ibrahim, Mustain, & Hasan, 2020).

Pada kapal, *heat exchanger* digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pada sistem pendingin mesin induk, pendingin minyak pelumas (*lube oil cooler*), dan pendingin udara tekan (*intercooler*). Jenis yang paling umum digunakan adalah *plate heat exchanger*, yang terdiri dari sejumlah pelat logam tipis yang tersusun bergelombang dan saling bertumpuk, memungkinkan terjadinya pertukaran panas dengan efisiensi tinggi (Alfa Laval, 2022).

Fungsi utama dari *heat exchanger* adalah menjaga suhu cairan pendingin dalam batas optimal, sehingga suhu kerja mesin tetap stabil. Jika *heat exchanger* tidak bekerja secara efisien, maka suhu air tawar tidak akan turun secara efektif dan dapat menyebabkan overheating pada mesin induk (Nugraha, Putra, & Maulana, 2024).

Efisiensi *heat exchanger* sangat dipengaruhi oleh kebersihan permukaan pelat atau tabung. Akumulasi kerak (*scaling*) dan *fouling*



biologis (seperti lumut atau organisme laut) dapat menghambat proses perpindahan panas, sehingga penurunan kinerja sistem pendingin akan terjadi. Oleh karena itu, pemeliharaan rutin dan pembersihan berkala menjadi aspek penting dalam menjaga kinerja optimal dari *heat exchanger* (Mujiyanto, 2023).

GAMBAR 2. 7 HEAT EXCHANGER

Sumber : <https://www.alfalaval>

E. Tujuan Pendingin

Suhu mesin untuk kinerja diatur oleh sistem bagian dan fluida pendinginan. Kepala dan bagian-bagian di dalam blok mesin membentuk sistemnya. Untuk mensirkulasi cairan pendingin, ada pompa air dan sabuk penggerak, radiator yang menurunkan suhu cairan pendingin, termostat yang mengontrol suhu cairan pendingin, tutup radiator yang mengontrol tekanan sistem, dan selang yang mengarahkan cairan pendingin dari mesin ke radiator. "Air umumnya digunakan sebagai media pendingin dalam sistem berpendingin cairan," kata H.N. Gupta (2006). Namun, cairan tambahan, seperti campuran air dan cairan lainnya, juga dapat digunakan dalam sistem untuk mencegah pendingin membeku di bawah suhu.

Ada 2 bagian yang membentuk sistem pendinginan kendaraan, masing-masing bertanggung jawab untuk mencegah panas berlebihan (overheating) pada mesin agar mesin dapat beroperasi dengan stabil.

1. Hindari panas yang berlebihan. Ruang bakar dapat terlalu panas karena pembakaran campuran bahan bakar dan udara. Panas yang sangat tinggi ini dapat merusak logam dan bagian lain motor jika motor tidak memiliki sistem pendinginan.
2. Memelihara suhu motor. Suhu kerja ideal motor harus selalu dijaga. Ini dapat dicapai dengan menyerap panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran yang berlebihan, kipas pendingin berputar saat mesin panas, dan katup thermostat terbuka saat mesin mencapai suhu kerja.

Sistem pendinginan mesin induk: Seperti yang dinyatakan oleh P. Van Maanen (1997), untuk mendinginkan mesin diesel, diperlukan sistem yang terdiri dari pipa, pompa, dan media pendingin. Sistem ini sangat penting untuk membantu mesin induk bekerja dengan baik dan terus menerus, dan karena mesin induk dan mesin bantu dihubungkan menjadi satu sistem pendinginan, sistem ini seringkali kompleks. Agar

lebih jelas, sistem pendingin tertutup yang menggunakan bahan pendingin air tawar digambarkan disini. Prinsipnya adalah bahwa bagian air tawar mendinginkan dinding cylinder liner mesin induk dan menyerahkan panas tersebut pada air laut di dalam pendingin air segar.

. Menurut Yao et al. (2005), panas yang diterima oleh komponen motor diesel, seperti bagian cylinder liner, silinder kepala, dan klep gas buang, harus ditransfer ke zat pendingin agar motor diesel dapat beroperasi dengan aman dan tahan lama. Air tawar digunakan sebagai zat pendingin untuk motor diesel kapal, meskipun ada banyak pilihan lainnya.

Tujuan dari pendingin adalah :

1. Menjaga agar mesin mampu bekerja terus-menerus.
2. Mencapai tenaga yang optimum.
3. Mengurangi terjadinya kerusakan mesin.
4. Menjaga temperatur agar bekerja dalam kondisi normal.

Hasil pembakaran akan meningkatkan suhu dinding ruang pembakaran (tutup silinder, bagian atas torak, dan bagian atas lapisan silinder), katup buang, dan area sekitarnya. Bagian-bagian motor harus didinginkan untuk mencegah pengurangan besar kekuatan material dan perubahan bentuk secara thermis. Berlaku untuk lapisan silinder, lapisan pelumas harus tetap dingin.

Bagian motor berikut, dalam rangka pembakaran, harus mendapat pendinginan :

1. Bagian dari lapisan silinder.
2. Tutup silinder.
3. Bagian atas torak.
4. Katup buang dan sejenis.
5. Bagian dari katup bahan bakar di sekeliling pengabut.
6. Rumah turbin gas.

Karena gesekan panas, suhu kompresi meningkatkan suhu jalan hantar pengisian dan pembakaran udara. Setelah kompresi, udara mencapai kepekatan udara tertinggi, sehingga suhu gas turun selama pembakaran dan dibuang ke turbin gas buang. Sistem air pendingin kapal khas terdiri dari tiga komponen, menurut Theotokatos, Sfakianakis, Vassalos (2017). Yang pertama adalah sistem pendingin air laut (air laut); yang kedua adalah sistem pendingin air tawar dengan suhu rendah, atau rendah; dan yang terakhir adalah sistem pendingin air tawar dengan suhu tinggi, atau tinggi. Karena air laut menyebabkan korosi, air laut digunakan untuk mendinginkan mesin utama dan tambahan kapal. Satu atau lebih pendingin sentral dipasang di papan untuk mendinginkan air tawar panas dari mesin kapal dan panas penukar.

F. Manfaat Pendingin

Sistem pendingin sangat bermanfaat untuk menetralkan dan mengontrol suhu motor. Suhu setiap bagian silinder akan meningkat jika proses pendinginan tidak berhasil. Panas gas pembakaran harus dipindahkan secara tidak langsung ke fluida pendingin di bagian bawah silinder. Keadaan ini dapat menyebabkan dinding ruang bakar pecah, cincin torak macet, atau minyak pelumas terbakar. Oleh karena itu, meskipun pendinginan merupakan kekurangan dari sudut pandang pemanfaatan energi, motor harus tetap dingin. Tetapi mesin harus didinginkan untuk tetap berfungsi.

Gas dalam silinder dapat mencapai suhu yang sangat tinggi karena pembakaran berulang. Di dalam silinder, dindingnya, kepalanya, toraknya, katupnya, dan banyak komponen lainnya mengalami panas. Minyak pelumas, terutama yang membasahi dinding silinder, akan menguap dan terbakar bersama bahan bakar. Karena itu, komponen harus mendapatkan pendinginan yang cukup agar suhunya tetap di bawah batas yang diperbolehkan, sesuai dengan kekuatan material, dan

dalam kondisi operasi yang baik. Kekuatan material akan menurun jika suhu naik. Untuk melakukan proses pendinginan, fluida pendingin dialirkan ke bagian mesin di luar silinder. Motor diesel yang besar mengalirkan minyak pelumas melalui saluran di bawah kepala torak untuk mendinginkan torak.

G. Faktor-Faktor Penyebab Kenaikan Temperatur Pendingin

1. Penyerapan Panas Pada Cooler Kurang Optimal

Menurut Gunawan (2024), kualitas air pendingin yang buruk dapat menyebabkan penurunan efisiensi sistem pendinginan mesin induk. Penumpukan endapan, kerak, atau material organik dalam fresh water cooler dapat menghambat aliran air dan pertukaran panas, sehingga meningkatkan temperatur mesin.

Hidayat(2019) menambahkan bahawah tersumbatnya cooler dan adanya lumut serta kerang di saringan air laut juga berkontribusi terhadap peningkatan temperature air tawar pendingin mesin induk.

2. Kerusakan Komponen Pada Sistem Pendingin

Mujianto (2023) menyatakan bahwa kondisi kotoran pada fresh water cooler dan penurunan tekanan pada pompa dapat menyebabkan kenaikan suhu pada mesin pendingin air tawar. Hal ini menunjukkan pentingnya menjaga kebersihan dan kinerja optimal komponen sistem pendingin untuk mencegah overheating pada mesin induk kapal.

3. Kecepatan Putaran Mesin Induk

Menurut Nugraha et al. (2024), suhu air pendingin kapal Arkona terkait dengan kecepatan putaran mesin induk. Dengan demikian, mengatur kecepatan putaran mesin dengan benar dapat membantu menjaga suhu mesin induk stabil.

4. Faktor Lingkungan dan Operasional

Penelitian oleh Gunawan (2024) menunjukkan bahwa faktor lingkungan, seperti suhu air laut dan kondisi operasional kapal, juga mempengaruhi temperatur pendingin mesin induk. Kapal yang beroperasi di perairan dengan suhu air laut yang tinggi atau dalam kondisi operasional yang berat dapat mengalami peningkatan temperatur mesin induk.

5. Kurangnya Perawatan Dan Pemeliharaan Rutin

Menurut Prasetyo et al. (2022), kurangnya perawatan dan pemeliharaan rutin pada sistem pendingin dapat menyebabkan kerusakan pada komponen-komponen penting, seperti fresh water cooler dan sea water pump. Hal ini dapat mengakibatkan peningkatan temperatur mesin induk dan menurunkan efisiensi operasional kapal.

H. Pengaruh Kenaikan Temperatur Air Tawar Pada Sistem Pendingin Mesin Induk

1. Dampak Pada Kinerja Mesin

Kenaikan temperature air tawar secara signifikan mempengaruhi kinerja mesin induk kapal pada kondisi operasional normal, system pendingin dirancang untuk bekerja optimal pada suhu sekitar 85°C. Namun Ketika suhu melebihi 90°C, terjadi penurunan efisiensi termal mesin sebesar 1,5% untuk setiap kenaikan 5°C, seperti yang dilaporkan oleh Wartsila (2019). Komponen kritis mesin seperti cylinder liner dan kepala cylinder menjadi rentan mengalami thermal stress yang dapat menyebabkan deformasi permanen. Data Lloyd's Register (2020) menunjukkan bahwa 30% kerusakan mesin induk pada kapal kargo disebabkan oleh masalah system pendingin yang tidak mampu mengontrol suhu air tawar dengan baik

2. Dampak Pada Komponen Sistem Pendingin

Sistem pendingin itu sendiri mengalami berbagai masalah akibat kenaikan suhu air tawar. Proses korosi pada pipa dan komponen logam lainnya terjadi 2 kali lebih cepat. Ketika suhu naik dari 80°C ke 95°C (Mittal et al., 2021). *Heat exchanger* sebagai komponen utama juga mengalami penurunan performa hingga 40% akibat akumulasi deposit mineral dan biofouling yang lebih cepat terbentuk pada suhu tinggi (Alfa Laval, 2020). Kondisi ini diperburuk oleh kandungan oksigen terlarut dalam air tawar yang mempercepat reaksi elektrokimia pada permukaan logam.

3. Dampak Lingkungan Operasional

Faktor lingkungan operasional memberikan pengaruh signifikan terhadap performa sistem pendingin. Di wilayah tropis seperti Indonesia dengan suhu air laut di atas 30°C, kapasitas pendingin *heat exchanger* turun 15-20% dibandingkan dengan operasi di perairan EROPA Utara (ABS, 2019). Kawamura et al. (2022) mencatat perbedaan suhu air tawar sistem pendingin mencapai 5-8°C antara kedua wilayah tersebut. Beban operasional berat seperti saat kapal melawan arus kuat atau membawa muatan penuh semakin memperparah kondisi ini karena menghasilkan panas berlebih yang harus didinginkan.

I. Peran Heat Exchanger Dalam Sistem Pendingin Mesin Induk Kapal

1. Fungsi Utama *Heat Exchanger*

Menurut Kern dan Kraus (2020), *heat exchanger* memegang peran kritis dalam sistem pendingin tertutup mesin induk kapal, berfungsi sebagai komponen utama yang mentransfer panas dari air tawar yang bersirkulasi dalam sistem ke media pendingin sekunder (air laut). Proses pertukaran panas ini vital untuk menjaga suhu operasional

mesin tetap dalam batas aman. Mekanisme kerjanya didasarkan pada prinsip perpindahan panas konveksi melalui plat-plat logam yang memisahkan kedua fluida dimana efisiensi proses ini menentukan kinerja keseluruhan system pendingin.

2. Faktor Yang Mempengaruhi Efisiensi Heat Exchanger

Beberapa factor kritis menentukan tingkat efisisensi heat exchanger :

a) Kebersihan Plat

Taborek (2019) menyatakan bahwa kondisi permukaan plat heat exchabger sangat mempengaruhi kinerjanya. Fouling atau penumpukan deposit mineral (seperti kalsium karbonat) dan organisme laut (biofouling) pada plat akan menciptakan lapisan isolasi termal yang mengurangi laju perpindahan panas secara signifikan.

b) Laju Aliran Air Laut

Laboratorium Teknik Kelautan ITS (2023) menemukan bahawah laju aliran yang terlalu rendah menyebabkan pendingin tidak merata dan penumpukan panas local. Sementara aliran berlebihan justru dapat antara tekanan inlet dan outlet diperlukan untuk mencapai performa maksimal.

c) Desain Plat

Wang dkk. (2021) menjelaskan bahwa konfigurasi geometri plat heat exchanger, khususnya pola chevron (berbentuk V), dirancang khusus untuk meningkatkan turbulrnsi aliran fluida. Alfa Laval (2022) menambahkan bahwa desain ini menciptakan pusaran aliran yang meningkatkan koefisien perpindahan panas sekaligus mengurangi kemungkinan terjadinya fouling. Sudut kemiringan dan kedalaman alur plat merupakan parameter kritis dalam desain ini.

d) Implikasi Operasional

DNV (2023) menyimpulkan bahwa efisiensi heat exchanger yang tidak optimal berdampak langsung pada kinerja mesin induk.

Penurunan kemampuan pendingin akan menyebabkan kenaikan suhu air tawar system, yang pada gilirannya meningkatkan resiko overheating komponen mesin dan konsumsi bahan bakar.

J. Faktor Lingkungan Yang Mempengaruhi System Pendingin Mesin Induk Kapal

1. Suhu Air Laut

Menurut Kawamura et al. (2022), suhu air laut di daerah tropis yang mencapai $>30^{\circ}\text{C}$ secara signifikan mengurangi kapasitas pendingin sistem. Penelitian ABS (2019) menunjukkan bahwa setiap kenaikan 5°C suhu air laut dapat menurunkan efisiensi heat exchanger sebesar 15-20%. Kondisi ini diperparah oleh fenomena pemanasan global yang meningkatkan suhu permukaan laut secara global (NOAA, 2023).

2. Kualitas Air Laut

DNV GL (2017) mengidentifikasi bahwa kandungan garam tinggi (>35 ppt) dan polutan organik di perairan tertentu mempercepat proses fouling hingga 30% lebih cepat dibanding perairan bersih. Studi Mittal et al. (2021) menambahkan bahwa air laut dengan kandungan sedimen tinggi dapat meningkatkan laju korosi pada komponen sistem pendingin hingga 2 kali lipat.

3. Beban Mesin

Boskalis (2021) melaporkan bahwa operasi mesin pada beban tinggi ($>85\%$ MCR) selama manuver atau kondisi cuaca buruk meningkatkan produksi panas hingga 25%. Data Lloyd's Register (2020) menunjukkan bahwa 40% kasus overheating mesin terjadi saat kapal beroperasi pada beban tinggi dalam kondisi lingkungan yang matang

K. Metode Uji Statistika Dalam Analisis Data

Uji statistika adalah metode atau prosedur dalam statistika yang digunakan untuk mengolah data, menguji hipotesis, dan menarik kesimpulan berdasarkan data yang dikumpulkan dari sampel atau populasi. Uji ini digunakan untuk mengetahui apakah suatu perbedaan, hubungan, atau pola dalam data itu signifikan secara statistik atau hanya terjadi karena kebetulan.

Metode Uji Statistika Secara Umum Dibagi Menjadi Dua Kategori besar :

1. Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif berfungsi untuk menggambarkan, meringkas, dan menyajikan data agar mudah dipahami. Metode ini tidak digunakan untuk menarik kesimpulan atau membuat generalisasi. Statistika deskriptif terbagi dalam beberapa bagian yaitu:

a) Rata-Rata (Mean)

Nilai rata-rata dihitung dengan menjumlahkan semua data dan membaginya dengan jumlah data. Pusat yang mewakili keseluruhan data. Dalam konteks sistem pendingin, rata-rata suhu air tawar menunjukkan kondisi operasi umum mesin dalam periode pengamatan

b) Median

Median adalah nilai tengah dari kumpulan data yang diurutkan. Jika jumlah data genap, median diperoleh dari dua nilai tengah rata-rata. Median sangat berguna untuk melihat kecenderungan data ketika terdapat nilai ekstrem (outlier) yang dapat mempengaruhi mean.

c) Standar Deviasi

Standar deviasi adalah ukuran variasi atau fluktuasi data yang lebih besar jika dibandingkan dengan nilai rata-rata. Dalam penelitian ini, standar deviasi suhu membantu menunjukkan apakah sistem pendingin bekerja stabil atau mengalami perubahan drastis pada

periode tertentu.

d) Variansi (Variance)

Variansi merupakan kuadrat dari standar deviasi dan menunjukkan tingkat keragaman data terhadap nilai rata-rata. Variansi digunakan untuk memahami seberapa besar penyimpangan yang terjadi dalam dataset. Nilai variansi yang besar menandakan bahwa data sangat bervariasi dan tidak konsisten.

e) Nilai Minimum (Minimum)

Minimum adalah nilai terkecil dalam data hasil pengamatan. Nilai ini menunjukkan titik terendah temperatur yang terjadi selama periode penelitian. Analisis minimum penting untuk memastikan bahwa sistem tidak bekerja pada kondisi terlalu rendah yang dapat mempengaruhi efisiensi mesin.

f) Nilai Maksimum (Maximum)

Maximum adalah nilai terbesar dalam data yang dicatat. Nilai ini menandakan temperatur tertinggi yang dicapai oleh sistem pendingin. Nilai maksimum sangat penting karena dapat menjadi indikator adanya potensi overheating atau penurunan efisiensi pendinginan.

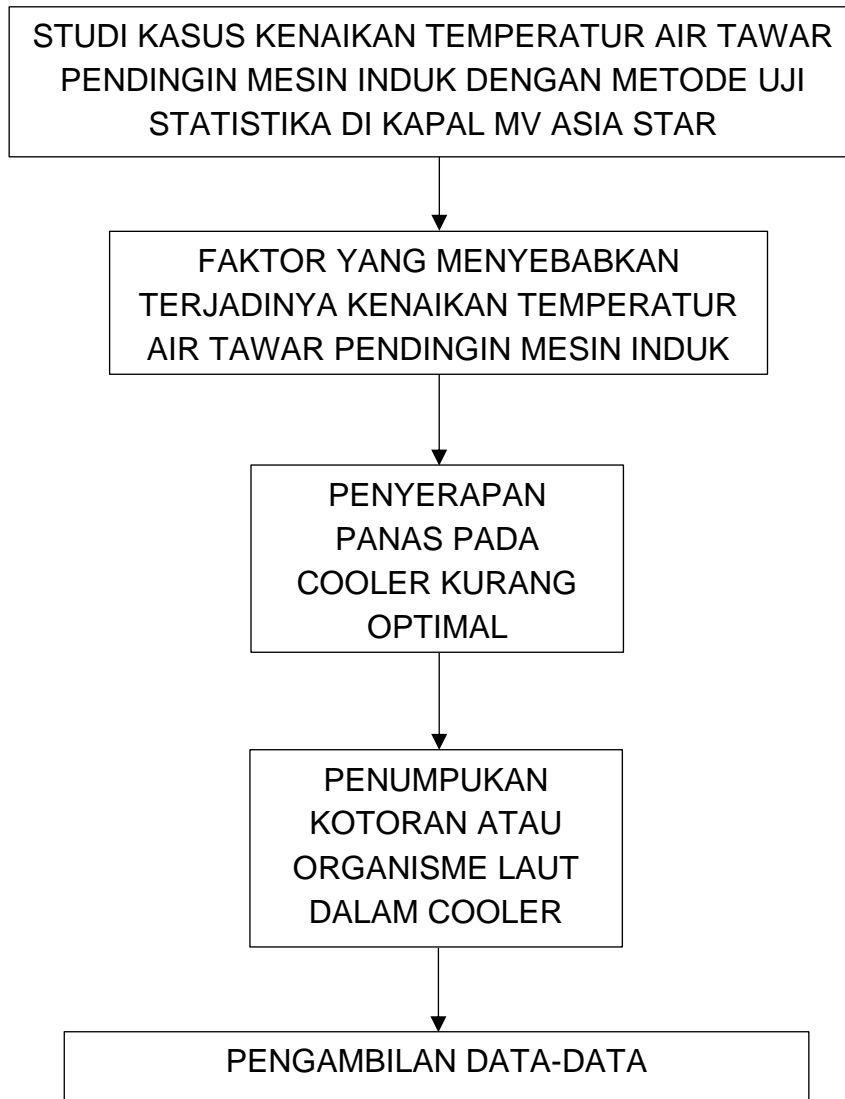
g) Range (Jangkauan)

Range adalah selisih antara nilai maksimum dan minimum. Ukuran ini menunjukkan seberapa jauh rentang variasi data selama pengukuran. Range yang besar menandakan adanya perbedaan signifikan antara kondisi terendah dan tertinggi sistem, yang dapat mengindikasikan ketidakstabilan proses pendinginan.

2. Statistika Inferensial

Statistika inferensial digunakan untuk mengambil kesimpulan atau membuat keputusan berdasarkan data sampel yang mewakili populasi. Metode ini melibatkan pengujian hipotesis, estimasi, dan prediksi.

L. Kerangka Pikir



M. Hipotesis

Berdasarkan rumusan masalah yang telah di uraikan di atas maka di duga adanya penumpukan *fouling and scaling* pada plat *heat exchanger*.

BAB III METODE PENELITIAN

A. Jenis penelitian

Dalam penelitian ini, penelitian terpusat digunakan untuk mengacu pada satu fenomena atau kasus yang terjadi selama praktek di atas kapal yang langsung mengarah pada masalah yang dibahas. Untuk menjelaskan kasus tersebut, penulis melakukan observasi, menganalisis data objek, dan mendokumentasikan peristiwa tersebut.

B. Defenisi Operasional Variabel

Untuk mempermudah dalam pelaksanaan dan pengukuran penelitian, maka diperlukan definisi operasional dari setiap variabel yang digunakan. Pada penelitian ini menggunakan variable terikat (dependen) mengarah pada temperature air tawar yang merupakan suhu air tawar pada system pendingin mesin induk. Data diambil dari sensor atau termometer digital yang terpasang pada sistem pendingin. Pengukuran dilakukan secara berkala selama mesin beroperasi. Satuan pengukuran yang digunakan adalah derajat Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

C. Jenis dan sumber data

Untuk menopang kelengkapan pembahasan penulisan ini diperlukan data dan sumber :

1. Data Primer

Data primer adalah data yang didapatkan melalui pengamatan langsung. Data dalam penelitian ini didapatkan dengan cara penelitian survei, yaitu dengan memperhatikan, mengukur, serta mencatat langsung di lokasi penelitian Ketika melaksanakan praktek.

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data tambahan dari data primer yang ditemukan dari referensi kepustakaan contohnya literatur, bahan ajar serta data dari perusahaan dan hal-hal yang mengenai penelitian ini.

D. Teknik Pengumpulan Data

Data serta penjelasan yang dibutuhkan untuk menyusun pembuatan skripsi ini didapatkan melalui metode pengumpulan di lapangan (field research), yang mana penelitian dilaksanakan dengan Teknik melakukan pengamatan secara langsung pada objek yang diteliti, informasi serta data dikumpulkan dengan cara :

1. Teknik Observasi

Melakukan observasi secara langsung di tempat di mana penulis melaksanakan praktek laut di kapal MV.ASIA STAR untuk mengumpulkan data-data permasalahan sesuai judul yang diambil oleh penulis.

2. Teknik dokumentasi

Teknik dokumentasi merupakan pengambilan bukti berupa catatan peristiwa atau kejadian yang telah terjadi, contohnya gambar atau video.

E. Teknik Analisis Data

Analisa data akar penyebab adalah teknik analisa data yang digunakan karena sesuai dengan data, masalah, dan tujuan penelitian. Teknik ini digunakan untuk mengatasi masalah dengan tujuan untuk mengenali akar penyebab kejadian atau masalah.

F. Metode Uji Statistika yang Digunakan

metode uji statistika yang digunakan dalam penelitian ini adalah statistika deskriptif, untuk memberikan gambaran umum mengenai data temperature air tawar pendingin mesin induk. Studi kasus ini mencakup perhitungan nilai rata-rata (mean), nilai maksimum, nilai minimum dari temperature air tawar selama pengambilan data berlangsung.

Tujuan dari penggunaan statistika deskriptif adalah untuk mengetahui pola umum dan tingkat variasi suhu air tawar yang terjadi ketika mesin induk beroperasi. Dengan studi kasus ini, peneliti dapat mengidentifikasi sejauh mana temperatur mengalami fluktuasi, apakah berada dalam batas normal atau mengalami peningkatan yang signifikan.

G. Jadwal Penelitian

Pengambilan data dilakukan pada saat penulis melaksanakan praktek laut selama 12 bulan di kapal MV.ASIA STAR.

TABEL 3. 1 JADWAL PENELITIAN

No	Kegiatan	Tahun 2022											
		Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Pengumpulan Data												
2.	Pemilihan Judul												
3.	Penyusunan Proposal dan bimbingan												
No	Kegiatan	Tahun 2023											
		Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4.	Seminar Proposal												
5.	Perbaikan Seminar Proposal												
6.	Pengambilan data												
No	Kegiatan	Tahun 2024											
		Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7.	Pengambilan Data												
No	Kegiatan	Tahun 2025											
		Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8.	Pengolahan Data dan Bimbingan Hasil Skripsi												
9.	Diseminar Hasilkan serta perbaikan												
10.	Bimbingan Seminar Tutup												
11.	Seminar Tutup & Perbaikan												