

SKRIPSI

**PENTINGNYA PERAWATAN PENDINGIN MESIN UNTUK
MENUNJANG DAYA TAHAN MESIN INDUK DI KAPAL
MT PATRA TANKER 1**



**HENDRI RUKMANA
NIT : 21.42.012
TEKNIKA**

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

**PENTINGYA PERAWATAN PENDINGIN MESIN UNTUK
MENUNJANG DAYA TAHAN MESIN INDUK DI ATAS KAPAL
MT PATRA TANKER 1**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Program Pendidikan
Diploma IV Pelayaran

Program Studi Teknika

Disusun dan diajukan oleh

HENDRI RUKMANA

NIT : 21.42.012

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

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama : Hendri Rukmana
NIT : 21.42.012
Program Studi : Teknika

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

Pentingnya Perawatan Pada Pendingin Mesin Untuk Menunjang Daya Tahan Mesin Induk Di Kapal MT Patra Tanker 1

Merupakan karya asli. Seluruh ide yang ada dalam skripsi ini yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide yang saya susun sendiri.

Jika pernyataan diatas terbukti sebaliknya, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.

Makassar, 14 Mei 2025



HENDRI RUKMANA
NIT: 21.42.012

SKRIPSI

PENTINGNYA PERAWATAN PENDINGIN MESIN UNTUK MENUNJANG DAYA TAHAN MESIN INDUK DI KAPAL MT PATRA TANKER 1

Disusun dan Diajukan oleh:

HENDRI RUKMANA

NIT. 21.42.012

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian
Skripsi Pada tanggal 14 Mei 2025

Menyetujui :

Pembimbing I

Pembimbing II



Ir. Abdul Basir, M.T., M.Mar.E
NIP: 19681231 199808 1 001

Mutmainnah Hasyari, S.S., M.Hum
NIDK: 8961230021

Mengetahui :

a.n. Direktur

Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar

Ketua Program Studi Teknika

Pembantu Direktur I



Capt. Faisal Saransi, 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

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulisan skripsi yang berjudul "Pentingnya Perawatan Pendingin Mesin Untuk Menunjang Daya Tahan Mesin Induk Dikapal MT Patra Tanker I" ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Program Diploma IV di Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar. Dan Tidak lupa pula penulis memberikan salam dan sholawat atas junjungan kita Nabi Muhammad S.A.W semoga kita semua mendapatkan syafaat beliau di hari akhir kelak.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan selesai tanpa bimbingan, dukungan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Capt. Rudy Santoso, M.Pd Selaku Direktur Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar.
2. Bapak Alberto, S.Si.T., M.Mar.E., M.A.P Ketua Program Study Teknika.
3. Bapak Abdul Basir, M.T., M.Mar.E Selaku pembimbing I.
3. Ibu Mutmainnah Hasyari, S.S., M.Hum. Selaku pembimbing II.
4. Segenap Dosen dan Staf Pembina Politeknik Ilmu Pelayaran makassar.
5. Bapak/ibu Personalia PT.PERTAMINA INTERNATIONAL SHIPPING yang telah memberikan peluang dan penyediaan sarana dalam melakukan praktek laut.

6. Nahkoda, KKM, serta seluruh Crew MT PATRA TANKER 1
7. Ayahanda, Ibunda tercinta yang telah mendukung saya secara moril dan material.
8. Rekan-rekan Taruna/i Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar yang telah mensupport dalam penulisan skripsi ini, khususnya angkatan XLII dengan demikian harapan penulis semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri maupun pembaca serta rekan Taruna Program Study Teknik.

Makassar, 14 Mei 2025



HENDRI RUKMANA
NIT: 21.42.012

ABSTRAK

HENDRI RUKMANA, “pentingnya perawatan pendingin mesin untuk menunjang daya tahan mesin induk di kapal MT Patra Tanker I”. (Dibimbing oleh: (I). Abdul Basir, M.T.,M.Mar.E dan (II).Mutmainnah Hasyari)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perawatan sistem pendingin terhadap daya tahan mesin induk pada kapal MT Patra Tanker 1, dengan mempertimbangkan variabel mediasi berupa keandalan. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan analisis data menggunakan software SmartPLS 4.0. Data diperoleh melalui penyebaran kuesioner kepada 30 responden yang merupakan tenaga operasional dan teknis di kapal.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perawatan berpengaruh signifikan terhadap keandalan dengan nilai original sample sebesar 0,768 dan p-value 0,000. Selain itu, keandalan/dampak perawatan berpengaruh signifikan terhadap daya tahan mesin dengan nilai original sample sebesar 0,839 dan p-value 0,000. Namun, frekuensi perawatan tidak berpengaruh langsung secara signifikan terhadap daya tahan mesin dengan nilai original sample sebesar 0,081 dan p-value 0,638. Temuan ini menunjukkan bahwa keandalan/dampak perawatan berperan sebagai variabel mediasi penuh dalam hubungan antara perawatan dan daya tahan mesin.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kualitas perawatan sistem pendingin akan meningkatkan keandalan/pengaruh mesin, yang pada akhirnya akan memperpanjang daya tahan mesin induk kapal. Implikasi praktis dari hasil penelitian ini adalah pentingnya fokus pada upaya peningkatan keandalan/dampak perawatan sebagai hasil dari praktik perawatan yang optimal.

Kata Kunci: Perawatan, Keandalan, Daya Tahan Mesin, Sistem Pendingin, SmartPLS.

ABSTRACT

HENDRI RUKMANA, "The Importance of Engine Cooling Maintenance for Supporting the Durability of the Main Engine on MT Patra Tanker I." (supervised by: (I) Abdul Basir, M.T.,M.Mar.E (II) Mutmainnah Hasyari)

This study aims to analyze the influence of cooling system maintenance on the durability of the main engine aboard the MT Patra Tanker 1, with reliability considered as a mediating variable. The research method used is a quantitative approach with data analysis performed using SmartPLS 4.0 software. Data were collected through questionnaires distributed to 30 respondents who are operational and technical personnel on the ship.

The test results show that maintenance has a significant effect on reliability, with an original sample value of 0.768 and a p-value of 0.000. In addition, reliability/the impact of maintenance significantly affects engine durability, with an original sample value of 0.839 and a p-value of 0.000. However, the frequency of maintenance does not have a direct significant effect on engine durability, with an original sample value of 0.081 and a p-value of 0.638. These findings indicate that reliability/the impact of maintenance serves as a full mediating variable in the relationship between maintenance and engine durability.

Therefore, it can be concluded that improving the quality of cooling system maintenance will enhance engine reliability/performance, which in turn will extend the durability of the ship's main engine. The practical implication of this research is the importance of focusing on efforts to improve reliability/the impact of maintenance as a result of optimal maintenance practices.

Keywords: Maintenance, Reliability, Engine Durability, Cooling System, SmartPLS

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	3
PRAKATA	5
ABSTRAK	7
ABSTRACT	8
DAFTAR ISI	8
DAFTAR GAMBAR	11
DAFTAR TABEL	12
DAFTAR GRAFIK	13
DAFTAR SINGKATAN	14
DAFTAR ISTILAH BAHASA ASING	15
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Batasan Masalah	2
D. Kebaharuan / Novelthy	3
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Mesin Induk Kapal	5
B. Sistem Pendingin Pada Mesin Induk Kapal	6
C. Pentingnya Perawatan Sistem Pendingin	8
D. Pengaruh Sistem Pendingin terhadap Daya Tahan Mesin	10
E. Daya Tahan Mesin Induk	14
F. Hubungan Perawatan Pendingin Mesin dengan Daya Tahan Mesin	17

G.	SmartPLS	18
H.	Kerangka Konseptual Penelitian	19
I.	Rumus Uji Analisa Data.....	22
J.	Kerangka Pikir	24
K.	Hipotesis	27
BAB III METODE PENELITIAN.....		28
A.	Jenis Penelitian.....	28
B.	Definisi Operasional Variabel.....	28
C.	Populasi Dan Sampel	29
D.	Teknik Pengumpulan Data.....	30
E.	Forum Wawancara.....	31
F.	Jadwal Penelitian	32
G.	Rancangan Penelitian.....	33
H.	Flow Chart Penelitian.....	35
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		36
A.	Analisa Penelitian	36
B.	Pembahasan.....	86
BAB V PENUTUP		94
A.	Kesimpulan	94
B.	Saran	94
DAFTAR PUSTAKA.....		96
LAMPIRAN A		98
LAMPIRAN B		99
LAMPIRAN C		100
RIWAYAT HIDUP.....		104

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kerangka konsep penelitian	21
Gambar 2. 2 Tabel review jurnal	26
Gambar 4. 3 Hasil inner model SmartPLS.....	60
Gambar 4. 4 Overview hasil R-Square SmartPLS.....	66
Gambar 4. 5 Bar Chart hasil Smartpls.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 tabel spesifikasi mesin induk kapal MT Patra Tanker I.....	39
Tabel 4. 2 Tabel data hasil observasi.....	40
Tabel 4. 3 tabulasi kualitas perawatan pendingin.....	42
Tabel 4. 4 Tabulasi frekuensi perawatan pendingin	44
Tabel 4. 5 Tabulasi pengaruh perawatan pendingin.....	46
Tabel 4. 6 Tabulasi daya tahan mesin induk	48
Tabel 4. 7 Keterangan R-Square.....	68
Tabel 4. 8 (Path Coefficient).....	69
Tabel 4. 9 Penjelasan uji bootstrapping.....	74
Tabel 4. 10 Nilai dan kesimpulan pengaruh antar variabel.....	80
Tabel 4. 11 Pembuktian data.....	84

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Model struktur (structural model)	50
Grafik 4. 2 Histrogram kualitas perawatan pendingin - Daya tahan mesin induk	72
Grafik 4. 3 Pengaruh antar variabel.....	82

DAFTAR SINGKATAN

Daftar Singkatan		
No	Singkatan	Kepanjangan
1	MT	Motor Tanker
2	SOP	Standard Operating Procedure
3	FWCS	Fresh Water Cooling System
4	SWCS	Sea Water Cooling System
5	CBM	Condition-Based Maintenance
6	RCM	Reliability-Centered Maintenance
7	SEM	Structural Equation Modeling
8	PLS	Partial Least Square
9	SmartPLS	Smart Partial Least Square (nama software untuk PLS-SEM)
10	AVE	Average Variance Extracted
11	CR	Composite Reliability
12	TCV	Temperature Control Valve
13	IMO	International Maritime Organization
14	NIT	Nomor Induk Taruna
15	RPM	Revolutions Per Minute
16	HP	Horse Power
17	KKM	Kepala Kamar Mesin
18	BBM	Bahan Bakar Minyak

DAFTAR ISTILAH BAHASA ASING

No	Istilah Asing	Bahasa Indonesia
1	Maintenance	Pemeliharaan / Perawatan
2	Reliability-Centered Maintenance (RCM)	Pemeliharaan Berbasis Keandalan
3	Condition-Based Maintenance (CBM)	Pemeliharaan Berdasarkan Kondisi
4	Time-Based Maintenance	Pemeliharaan Berdasarkan Waktu
5	Cooling System	Sistem Pendingin
6	Fresh Water Cooling System (FWCS)	Sistem Pendingin Air Tawar
7	Sea Water Cooling System (SWCS)	Sistem Pendingin Air Laut
8	Heat Exchanger	Penukar Panas
9	Jacket Water	Air Pendingin Blok Mesin
10	Thermostat	Katup Pengatur Suhu
11	Engine	Mesin
12	Main Engine	Mesin Induk
13	Diesel Engine	Mesin Diesel
14	Propeller	Baling-baling Kapal
15	Cylinder Liner	Dinding Silinder
16	Piston	Torak
17	Lubricant / Lubricating Oil	Oli Pelumas
18	Temperature Control Valve (TCV)	Katup Pengendali Suhu
19	Sensor	Indera Elektronik / Pengindra
20	Smart Sensor	Sensor Pintar
21	Automated Control Valve	Katup Kontrol Otomatis
22	Bootstrapping	Teknik Pengujian Signifikansi dalam SEM/PLS
23	Structural Equation Modeling (SEM)	Pemodelan Persamaan Struktural
24	Partial Least Square (PLS)	Metode Kuadrat Terkecil Parsial
25	SmartPLS	Perangkat lunak untuk analisis PLS
26	Outer Loading	Muatan Luar (Nilai pengukuran indikator terhadap konstruk)
27	Composite Reliability (CR)	Reliabilitas Komposit
28	Average Variance Extracted (AVE)	Rata-rata Variansi Terekstraksi
29	Path Coefficient	Koefisien Jalur
30	R-Square (R ²)	Koefisien Determinasi

31	P-Value	Nilai Probabilitas
32	T-Statistic	Statistik Uji-T

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam dunia pelayaran niaga, keberlangsungan operasional mesin induk menjadi aspek vital yang menentukan efisiensi, keselamatan, dan keberlanjutan distribusi logistik laut. Mesin induk berfungsi sebagai penggerak utama kapal dan sangat bergantung pada efektivitas sistem pendingin untuk menjaga suhu kerja dalam batas optimal. Gangguan pada sistem pendingin dapat menyebabkan overheating, penurunan performa, hingga kerusakan permanen yang berujung pada downtime dan kerugian operasional. Oleh karena itu, sistem pendingin mesin induk memegang peranan krusial dalam menjamin kinerja dan daya tahan mesin kapal.

Kapal MT Patra Tanker I, yang dioperasikan oleh PT Pertamina International Shipping, merupakan salah satu unit armada niaga yang mengandalkan mesin induk jenis Caterpillar 3516 DITA. Sistem pendingin yang digunakan terdiri dari dua jenis utama, yaitu *fresh water cooling system* dan *sea water cooling system*. Kompleksitas sistem ini menuntut adanya perawatan rutin yang tidak hanya frekuen, namun juga berkualitas tinggi.

Dalam konteks manajemen pemeliharaan mesin, pendekatan berbasis *reliability-centered maintenance (RCM)* dan *condition-based maintenance (CBM)* telah banyak dikembangkan untuk meningkatkan keandalan sistem. Namun, implementasi di lapangan seringkali masih mengandalkan sistem berbasis waktu (*time-based maintenance*) yang belum sepenuhnya optimal. Beberapa studi terdahulu menunjukkan bahwa tidak hanya frekuensi perawatan yang berpengaruh terhadap kinerja mesin, tetapi juga kualitas perawatan memainkan peran yang sangat signifikan dalam memperpanjang umur pakai komponen.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara kuantitatif bagaimana frekuensi dan kualitas perawatan pendingin mesin induk berkontribusi

terhadap daya tahan mesin, melalui pendekatan *Structural Equation Modeling (SEM) berbasis Partial Least Square (SmartPLS)*. Dengan studi kasus pada Kapal MT Patra Tanker I, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi industri maritim nasional dalam merumuskan strategi pemeliharaan mesin yang lebih efisien dan berkelanjutan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh frekuensi perawatan sistem pendingin terhadap daya tahan mesin induk di kapal MT Patra Tanker 1?
2. Sejauh mana pengaruh kualitas perawatan sistem pendingin terhadap daya tahan mesin induk di kapal MT Patra Tanker 1?

C. Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus penelitian dan menghindari perluasan pembahasan di luar topik utama, berdasarkan rumusan masalah penelitian ini dibatasi pada aspek sebagai berikut :

1. Objek Penelitian terbatas pada sistem pendingin mesin induk di Kapal MT Patra Tanker I, yang terdiri atas sistem pendingin air tawar (*Fresh Water Cooling System*) dan sistem pendingin air laut (*Sea Water Cooling System*). Dengan variabel kualitas perawatan pendingin, frekuensi perawatan pendingin, dampak terhadap perawatan pendingin, serta daya tahan mesin induk sebagai variabel dependen.
2. Metode Analisis yang digunakan terbatas pada pendekatan kuantitatif dengan *Structural Equation Modeling (SEM)* menggunakan *Partial Least Square (SmartPLS)*, tanpa mempertimbangkan pengaruh faktor eksternal lain seperti kondisi cuaca laut atau beban muatan kapal.

D. Kebaharuan / Novelthy

Penelitian ini memiliki kebaruan dari peneliti peneliti sebelumnya, berikut adalah tabel novelthy / kebaruan yang ada pada penelitian ini :

No	Aspek/Variabel	Penelitian Sebelumnya	Penelitian Ini	Kebaruan (Novelty)
1	Objek Penelitian	Sistem pendingin mesin pada kapal secara umum	Sistem pendingin mesin induk pada MT Patra Tanker I	Fokus pada satu kapal spesifik dengan mesin tertentu
2	Metode Penelitian	Kuantitatif, analisis regresi linear	Structural Equation Modeling (SEM) berbasis SmartPLS	Menggunakan metode analisis yang lebih kompleks dan spesifik
3	Variabel yang Dikaji	Kualitas dan frekuensi perawatan	Frekuensi, kualitas, dampak perawatan, dan daya tahan	Penambahan variabel dampak perawatan sebagai mediasi
4	Hasil Temuan	Efisiensi perawatan sistem pendingin	Pengaruh signifikan perawatan pada daya tahan mesin	Menunjukkan hubungan langsung dan tidak langsung

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis pengaruh frekuensi perawatan sistem pendingin terhadap daya tahan mesin induk.
2. Menganalisis pengaruh kualitas perawatan sistem pendingin terhadap daya tahan mesin induk.
3. Menganalisis peran mediasi dari dampak perawatan pendingin dalam mempengaruhi daya tahan mesin induk.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Teoretis:

Memberikan kontribusi pada pengembangan literatur tentang manajemen perawatan mesin kapal, khususnya dalam konteks pendinginan mesin induk berbasis analisis kuantitatif SEM-PLS.

2. Manfaat Praktis:

Menjadi referensi bagi teknisi kapal dan manajemen operator pelayaran dalam menyusun strategi pemeliharaan sistem pendingin yang efektif untuk meningkatkan umur pakai dan performa mesin induk.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Mesin Induk Kapal

Mesin induk (*main engine*) merupakan komponen utama dalam sistem propulsi kapal yang bertugas mengubah energi termal dari proses pembakaran menjadi energi mekanis untuk menggerakkan baling-baling (propeller). Pada kapal niaga seperti MT Patra Tanker 1, keandalan mesin induk sangat krusial karena berpengaruh langsung terhadap kontinuitas operasional dan ketepatan jadwal pelayaran, yang berdampak pada efisiensi logistik dan kepuasan pelanggan. Menurut Basri (2017), kinerja mesin induk sangat dipengaruhi oleh efektivitas sistem-sistem pendukung, terutama sistem pendingin yang berfungsi menjaga suhu kerja mesin tetap dalam batas optimal. Penelitian terkini oleh Supriyanto et al. (2023) menunjukkan bahwa lebih dari 35% gangguan mesin di kapal niaga disebabkan oleh masalah pada sistem pendingin, seperti tersumbatnya jalur pendingin, kerusakan pompa, atau kualitas air pendingin yang buruk.

Mesin induk menghasilkan panas yang sangat tinggi akibat proses pembakaran bahan bakar serta gesekan antar komponen seperti piston, silinder, dan poros engkol. Jika panas ini tidak dikendalikan dengan baik, maka suhu operasi akan melebihi ambang batas material logam mesin, menyebabkan overheating, keausan dini, deformasi termal, bahkan risiko kerusakan total seperti retakan pada blok silinder atau macetnya piston (Nugroho & Hartono, 2022). Oleh karena itu, sistem pendingin dirancang untuk menyerap dan membuang panas dari bagian-bagian kritis mesin melalui sirkulasi fluida pendingin, baik menggunakan sistem air laut langsung maupun kombinasi sistem tertutup dan terbuka (dual cooling system).

Berdasarkan standar dari MAN Energy Solutions (2021), efisiensi sistem pendingin yang ideal akan mempertahankan temperatur air keluar dari jacket water pada kisaran 75–85°C, sementara temperatur oli pelumas

dijaga agar tidak melebihi 95°C. Jika sistem pendingin tidak mampu menjaga parameter tersebut, maka selain risiko kerusakan mesin, konsumsi bahan bakar juga cenderung meningkat akibat penurunan efisiensi termal. Hal ini diperkuat oleh studi dari Wijaya & Haryanto (2024), yang menunjukkan bahwa kapal dengan sistem pendingin yang tidak terawat mengalami peningkatan konsumsi BBM hingga 8% dalam satu periode pelayaran.

Dengan demikian, keberadaan sistem pendingin tidak hanya menjadi faktor pendukung, tetapi komponen vital dalam menjaga performa dan daya tahan mesin induk. Pemeliharaan rutin, pengawasan kualitas air pendingin, serta penggantian komponen sesuai jadwal menjadi langkah-langkah penting dalam menunjang keandalan sistem pendingin tersebut.

B. Sistem Pendingin Pada Mesin Induk Kapal

Sistem pendingin pada mesin induk kapal merupakan salah satu subsistem vital yang berfungsi untuk menjaga suhu operasi mesin agar tetap stabil dalam kisaran kerja optimal. Suhu mesin yang tidak terkontrol dapat menyebabkan berbagai masalah seperti keausan dini, kehilangan efisiensi pembakaran, deformasi logam, hingga kerusakan total pada komponen mesin. Oleh karena itu, sistem pendingin berperan penting dalam menunjang keandalan dan daya tahan mesin induk.

Secara umum, sistem pendingin mesin kapal dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu:

1. Sistem Pendingin Air Tawar (Fresh Water Cooling System / FWCS)

Sistem ini menggunakan air tawar sebagai media pendingin internal mesin. Air tawar bersirkulasi di dalam *jacket cooling* dan *cylinder liner*, menyerap panas dari proses pembakaran, kemudian dialirkan ke heat exchanger untuk didinginkan kembali. FWCS bekerja dalam sirkulasi tertutup dan dilengkapi dengan pompa sirkulasi, katup kontrol suhu (thermostat), dan alat pengukur tekanan serta suhu. Keunggulan sistem ini adalah mencegah terjadinya korosi karena air tawar tidak

mengandung garam dan kotoran yang dapat merusak komponen mesin.

2. Sistem Pendingin Air Laut (Sea Water Cooling System / SWCS)

Sistem ini menggunakan air laut untuk mendinginkan air tawar dari FWCS melalui heat exchanger (biasanya berupa *plate type* atau *shell-and-tube type*). SWCS bekerja secara terbuka dan biasanya hanya digunakan pada tahap akhir pendinginan. Air laut dihisap melalui *sea chest*, kemudian disaring menggunakan *sea strainer* sebelum masuk ke sistem. Setelah digunakan, air laut dibuang langsung ke laut. Sistem ini harus dirawat secara rutin karena air laut bersifat korosif dan dapat menyebabkan fouling atau kerak pada permukaan pendingin.

Menurut Zhang et al. (2021), manajemen sistem pendingin yang efektif dan terjadwal dengan baik dapat menurunkan konsumsi bahan bakar mesin hingga 3–5% dan memperpanjang usia komponen mesin sebesar 20–30%. Efektivitas sistem pendingin berbanding lurus dengan kestabilan suhu operasi, sehingga pemeliharaan rutin seperti pembersihan heat exchanger, penggantian cairan pendingin, dan pengecekan pompa sangat penting dilakukan.

Kompleksitas sistem pendingin modern terus meningkat seiring berkembangnya teknologi mesin diesel kapal. Sistem pendingin saat ini tidak hanya terdiri dari rangkaian pipa dan pompa, tetapi telah dilengkapi dengan berbagai sensor dan sistem otomasi yang memungkinkan pemantauan real-time terhadap parameter suhu, tekanan, dan laju aliran fluida. Kim & Lee (2020) menyebutkan bahwa integrasi teknologi digital seperti *smart sensors* dan *automated control valves* memungkinkan deteksi dini terhadap anomali pada sistem pendingin dan memberikan peringatan sebelum terjadi kerusakan serius.

Selain itu, sistem pendingin yang modern juga memanfaatkan *energy recovery system* atau sistem daur ulang panas untuk memanaskan air domestik di kapal atau sistem bahan bakar, sehingga efisiensi energi kapal meningkat. Beberapa kapal generasi baru bahkan mengintegrasikan sistem pendingin dengan *centralized monitoring system* yang terhubung ke ruang

kontrol utama, memungkinkan operator kapal melakukan pengawasan menyeluruh hanya dari satu panel kendali.

Faktor-faktor seperti kondisi lingkungan operasi (misalnya suhu air laut, kadar garam), desain sistem pendingin, dan pola pelayaran sangat mempengaruhi performa sistem pendingin. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan manajemen pemeliharaan yang berbasis risiko dan data, seperti *Condition-Based Maintenance (CBM)* atau *Reliability-Centered Maintenance (RCM)*, agar sistem pendingin tetap optimal dalam mendukung kinerja mesin induk.

C. Pentingnya Perawatan Sistem Pendingin

Perawatan sistem pendingin pada mesin induk kapal merupakan salah satu pilar utama dalam strategi pemeliharaan mesin secara keseluruhan. Sistem ini beroperasi terus-menerus selama mesin menyala, sehingga rentan terhadap degradasi performa akibat keausan mekanis, penyumbatan, korosi, atau penumpukan deposit seperti kerak (*scale*) dan lumpur (*sludge*) di dalam saluran pendingin (Santos et al., 2022). Tanpa perawatan yang memadai, efektivitas sistem pendingin akan menurun, yang pada akhirnya menyebabkan peningkatan suhu operasi mesin dan risiko kerusakan serius.

Menurut International Association of Classification Societies (IACS, 2019), praktik perawatan sistem pendingin harus mencakup tiga komponen utama:

1. Perawatan Preventif (*Preventive Maintenance*)

Meliputi kegiatan berkala seperti pengecekan level cairan pendingin, penggantian coolant, inspeksi visual terhadap kebocoran, pembersihan heat exchanger, serta pengujian pH dan kandungan korosif pada air pendingin. Tujuan utamanya adalah mencegah terjadinya kerusakan sebelum muncul gejala kerusakan nyata.

2. Perawatan Korektif (*Corrective Maintenance*)

Dilakukan saat terdapat indikasi kegagalan fungsi, seperti suhu mesin melebihi batas normal, tekanan air menurun, atau alarm sistem

pendingin aktif. Tindakan ini mencakup penggantian komponen yang rusak seperti pompa air, gasket, atau pipa bocor.

3. Perawatan Prediktif (*Predictive Maintenance*)

Menggunakan teknologi sensor dan analisis data untuk memprediksi kapan komponen akan mengalami degradasi. Metode ini dikenal dengan istilah *condition-based maintenance* (CBM), dan terbukti lebih efisien dibanding metode *time-based maintenance* karena hanya melakukan tindakan saat diperlukan (Lin et al., 2021).

Salah satu indikator keberhasilan perawatan adalah kestabilan suhu mesin selama operasi. Dalam studi lapangan oleh Santos et al. (2022), ditemukan bahwa kelalaian dalam pembersihan heat exchanger selama lebih dari 6 bulan menyebabkan penurunan efisiensi pendinginan hingga 30% dan peningkatan suhu mesin sebesar 15°C.

Selain itu, kualitas perawatan juga menjadi faktor penting yang memengaruhi efektivitas. Perawatan yang dilakukan oleh teknisi yang tidak terlatih atau menggunakan suku cadang tidak sesuai spesifikasi pabrik dapat memperburuk kondisi sistem pendingin. Oleh karena itu, dokumentasi prosedur, pencatatan riwayat perawatan, dan audit teknis menjadi komponen penting dalam sistem manajemen perawatan modern (ISO 55000, 2018).

Pengelolaan perawatan sistem pendingin yang terstruktur dan berbasis data tidak hanya meningkatkan daya tahan mesin, tetapi juga menurunkan biaya operasional secara signifikan. Penurunan *unscheduled downtime* serta efisiensi pemakaian energi memberikan dampak langsung terhadap profitabilitas operasional kapal, terutama untuk kapal niaga yang beroperasi dalam jadwal padat.

Dengan demikian, pemeliharaan sistem pendingin bukan hanya sekadar rutinitas teknis, melainkan bagian integral dari strategi peningkatan keandalan (*reliability*) dan keberlanjutan (*sustainability*) operasi kapal secara keseluruhan.

D. Pengaruh Sistem Pendingin terhadap Daya Tahan Mesin

Daya tahan mesin induk kapal sangat dipengaruhi oleh efisiensi sistem pendingin dalam menjaga suhu operasi tetap stabil dan optimal. Mesin diesel laut, seperti jenis *medium-speed* dan *high-speed* engine, bekerja dalam beban tinggi dan lingkungan laut yang ekstrem, sehingga pengendalian termal menjadi sangat krusial. Sistem pendingin yang tidak berfungsi secara efisien akan menyebabkan peningkatan thermal stress pada komponen mesin, mempercepat keausan mekanis, serta menurunkan efisiensi pembakaran dan daya mesin (Omar et al., 2023).

Secara teknis, mesin diesel menghasilkan panas sebesar $\pm 30\text{--}40\%$ dari energi total bahan bakar yang dikonsumsi, dan sekitar $25\text{--}35\%$ dari energi tersebut harus dibuang melalui sistem pendingin untuk menghindari akumulasi panas (Heywood, 2018). Jika proses pendinginan ini terganggu, maka komponen seperti silinder liner, piston, kepala silinder, dan valve akan mengalami ekspansi termal berlebihan yang menyebabkan kegagalan material secara progresif.

Penelitian oleh Omar et al. (2023) menunjukkan bahwa sistem pendingin yang beroperasi dengan efisiensi lebih dari 90% mampu meningkatkan umur pakai komponen mesin hingga 25%. Hal ini disebabkan oleh terjaganya temperatur oli pelumas dan kestabilan dimensi komponen akibat minimnya ekspansi logam yang berlebih. Sebaliknya, suhu mesin yang terlalu tinggi mempercepat oksidasi pelumas dan menurunkan kemampuannya membentuk lapisan film pelindung antara komponen yang bergesekan.

Sistem pendingin juga berperan penting dalam mendukung efisiensi termal mesin, yang pada akhirnya berdampak pada konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang. Liu & Wang (2019) mencatat bahwa sistem pendingin yang buruk menyebabkan penurunan efisiensi pembakaran hingga 12% serta peningkatan emisi Nox (emisi nitrogen oksida), yang merupakan campuran dari nitrogen oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂). Kedua gas ini adalah polutan udara yang berbahaya, diproduksi terutama oleh

proses pembakaran bahan bakar, seperti di mesin. karena suhu ruang bakar yang terlalu tinggi.

Dalam konteks mesin Caterpillar 3516 DITA yang digunakan di Kapal MT Patra Tanker I, sistem pendingin terdiri atas dua rangkaian tertutup yang kompleks. Pertama, air tawar digunakan untuk menyerap panas dari bagian internal mesin melalui *jacket water system*. Kedua, air laut berfungsi sebagai media pendingin sekunder untuk menurunkan suhu air tawar melalui *plate-type heat exchanger*. Ketidakseimbangan atau gangguan pada salah satu sistem akan mempengaruhi seluruh proses pendinginan dan secara langsung mengancam umur pakai mesin.

Keterkaitan antara efisiensi pendinginan dan daya tahan mesin telah banyak diteliti dalam literatur teknik kelautan. Menurut Su et al. (2020), terdapat korelasi positif yang signifikan antara kualitas perawatan sistem pendingin dengan peningkatan Mean Time Between Failure (MTBF) mesin kapal. Artinya, semakin baik sistem pendingin dikelola dan dirawat, semakin jarang mesin mengalami kerusakan dan semakin panjang siklus operasionalnya.

Dengan demikian, keberhasilan sistem pendingin dalam menjaga kestabilan suhu kerja bukan hanya meningkatkan performa mesin secara langsung, tetapi juga memperpanjang usia operasionalnya, mengurangi risiko kerusakan mendadak, serta menekan biaya perawatan jangka panjang.

Pendinginan yang efektif berdampak langsung terhadap thermal stress, pelumasan, dan efisiensi pembakaran di dalam mesin. Daya tahan mesin sangat dipengaruhi oleh seberapa stabil suhu mesin dijaga dalam jangka panjang. Penelitian oleh Omar et al. (2023) mencatat bahwa performa sistem pendingin yang optimal berkontribusi pada peningkatan usia pakai komponen mesin sebesar 20–25%.

Lebih lanjut, mesin induk jenis Caterpillar 3516 DITA, seperti yang digunakan di Kapal MT Patra Tanker I, memiliki sistem pendingin multi-lapis yang menuntut pemeliharaan holistik terhadap pompa, heat exchanger,

hingga saluran pembuangan air panas (Liu & Wang, 2019). kondisi ekstrem yang perlu diperhatikan adalah daerah tropis dan daerah dingin.

1) Kapal di Daerah Tropis:

- a) Tantangan: Suhu air laut yang tinggi mengurangi efisiensi pendinginan. Peningkatan risiko *biofouling* di dalam sistem pendingin air laut. Korosi yang lebih cepat akibat suhu dan kelembaban tinggi .
- b) Adaptasi Perawatan: Peningkatan frekuensi pembersihan *heat exchanger* dan *sea strainer* untuk mencegah *biofouling*, Penggunaan bahan kimia anti-korosi yang lebih efektif Pemantauan suhu operasi mesin yang lebih ketat Peningkatan frekuensi penggantian *coolant*.
- c) Operasi daerah tropis dengan suhu yang panas dapat memperlambat pelepasan panas dari radiator atau *heat exchanger*, sehingga berpotensi menyebabkan *overheating*. Untuk itu penting dilakukan pemeriksaan berkala pada pompa, dan radiator, pembersihan pipa air laut, serta memonitor suhu dan tekanan secara rutin.

2) Kapal di Daerah Dingin:

- a) Tantangan: Risiko pembekuan air laut di dalam sistem pendingin, yang dapat merusak pipa dan pompa. Peningkatan viskositas oli pada suhu rendah, mengurangi efisiensi pelumasan dan pendinginan.
- b) Adaptasi Perawatan: Pemasangan sistem pemanas tambahan untuk mencegah pembekuan air laut, Penggunaan oli dengan viskositas rendah, Inspeksi rutin isolasi pipa. Perhatian khusus pada *thermostat* dan sistem kontrol suhu.
- c) Operasi daerah dingin dengan suhu lingkungan yang rendah dapat menyebabkan pendingin terlalu dingin, bahkan berisiko membeku apabila tidak ditambahkan antifreeze akibatnya, pelumasan tidak efektif karena oli menjadi terlalu kental. untuk itu diterapkan: Penggunaan *coolant* dengan spesifikasi *low-temperature protection*,

Pemasangan preheater untuk pemanasan awal saat mesin belum bekerja, Penggunaan thermostat otomatis untuk mengatur sirkulasi pendingin, Insulasi pada saluran pendingin di area terbuka *Bureau Veritas (2020)*.

Mesin Caterpillar 3516 DITA memerlukan strategi pemeliharaan sistem pendingin yang berbeda tergantung pada iklim operasional. Di daerah tropis, fokus utama adalah mencegah overheating, sedangkan di musim dingin, pencegahan pendingin beku menjadi prioritas. Adaptasi ini penting untuk menjamin kinerja mesin tetap optimal, mencegah kerusakan dini, dan memperpanjang umur operasional mesin

Santos et al. (2022) menemukan bahwa kelalaian pembersihan *heat exchanger* dapat menurunkan efisiensi pendinginan dan meningkatkan suhu mesin. Kualitas perawatan juga penting; perawatan yang buruk dapat memperburuk kondisi sistem pendingin.

Perawatan sistem pendingin yang terstruktur dan berbasis data meningkatkan daya tahan mesin dan menurunkan biaya operasional. Oleh karena itu, pemeliharaan sistem pendingin adalah bagian integral dari strategi peningkatan *reliability* dan *sustainability* operasi kapal.

Menurut Zhang et al. (2021), manajemen sistem pendingin yang efektif dan terjadwal dengan baik dapat menurunkan konsumsi bahan bakar mesin hingga 3–5% dan memperpanjang usia komponen mesin sebesar 20–30%. Efektivitas sistem pendingin berbanding lurus dengan kestabilan suhu operasi, sehingga pemeliharaan rutin seperti pembersihan *heat exchanger*, penggantian cairan pendingin, dan pengecekan pompa sangat penting dilakukan.

Kompleksitas sistem pendingin modern terus meningkat seiring berkembangnya teknologi mesin diesel kapal. Sistem pendingin saat ini tidak hanya terdiri dari rangkaian pipa dan pompa, tetapi telah dilengkapi dengan berbagai sensor dan sistem otomasi yang memungkinkan pemantauan real-time terhadap parameter suhu, tekanan, dan laju aliran fluida. Kim & Lee (2020) menyebutkan bahwa

integrasi teknologi digital seperti *smart sensors* dan *automated control valves* memungkinkan deteksi dini terhadap anomali pada sistem pendingin dan memberikan peringatan sebelum terjadi kerusakan serius.

Selain itu, sistem pendingin yang modern juga memanfaatkan *energy recovery system* atau sistem daur ulang panas untuk memanaskan air domestik di kapal atau sistem bahan bakar, sehingga efisiensi energi kapal meningkat. Beberapa kapal generasi baru bahkan mengintegrasikan sistem pendingin dengan *centralized monitoring system* yang terhubung ke ruang kontrol utama, memungkinkan operator kapal melakukan pengawasan menyeluruh hanya dari satu panel kendali.

Faktor-faktor seperti kondisi lingkungan operasi (misalnya suhu air laut, kadar garam), desain sistem pendingin, dan pola pelayaran sangat mempengaruhi performa sistem pendingin. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan manajemen pemeliharaan yang berbasis risiko dan data, seperti *Condition-Based Maintenance (CBM)* atau *Reliability-Centered Maintenance (RCM)*, agar sistem pendingin tetap optimal dalam mendukung kinerja mesin induk.

E. Daya Tahan Mesin Induk

Daya tahan mesin (*engine durability*) merupakan salah satu indikator utama dalam mengevaluasi keandalan dan performa jangka panjang suatu mesin, termasuk mesin induk pada kapal niaga. Secara umum, daya tahan mesin didefinisikan sebagai kemampuan mesin untuk beroperasi secara optimal dalam rentang waktu yang panjang tanpa mengalami kerusakan besar, penurunan performa yang signifikan, atau kebutuhan perbaikan mayor (Mobley, 2020). Konsep ini mencakup resistensi terhadap berbagai bentuk degradasi, seperti keausan (*wear*), kelelahan material (*fatigue*), korosi, serta kerusakan akibat fluktuasi temperatur dan beban kerja ekstrem. Daya tahan suatu mesin sangat bergantung pada interaksi antara faktor desain dan teknis mesin, kualitas pelumas, karakteristik operasional,

serta sistem pendukung seperti sistem pendingin dan pelumasan.

Menurut Rahman et al. (2022), salah satu faktor kunci yang menentukan panjang umur mesin adalah kualitas perawatan rutin yang diterapkan, terutama dalam bentuk preventive maintenance dan predictive maintenance. Mesin yang mendapatkan perawatan secara berkala sesuai dengan spesifikasi pabrik akan memiliki toleransi lebih baik terhadap keausan dan stres operasional, serta lebih mampu mempertahankan kinerja optimal dalam jangka panjang. Selain itu, aspek desain awal mesin seperti pemilihan material, konfigurasi ruang bakar, dan efisiensi termal juga turut menentukan tingkat ketahanan mesin terhadap gangguan.

Dalam konteks industri pelayaran, khususnya pada kapal tanker seperti MT Patra Tanker 1, daya tahan mesin induk memiliki implikasi langsung terhadap kontinuitas dan efisiensi operasi pelayaran. Mesin induk yang andal dan tahan lama memungkinkan jadwal pelayaran yang ketat dapat dipenuhi tanpa adanya gangguan teknis yang berpotensi menimbulkan keterlambatan, kerugian finansial, atau bahkan insiden keselamatan di laut. Penelitian Zhang et al. (2023) menegaskan bahwa keandalan sistem propulsi, termasuk daya tahan mesin induk, memiliki korelasi positif terhadap efisiensi rute pelayaran, keselamatan kru dan muatan, serta penghematan biaya operasional jangka panjang, khususnya dalam aspek konsumsi bahan bakar dan penggantian suku cadang.

Salah satu komponen penting yang berkontribusi langsung terhadap daya tahan mesin adalah sistem pendingin. Sistem ini berfungsi mengatur dan mempertahankan suhu kerja mesin dalam batas toleransi teknis yang aman. Tanpa sistem pendingin yang berfungsi optimal, panas hasil pembakaran dan gesekan komponen tidak dapat dikendalikan dengan baik, yang dapat menyebabkan overheating, deformasi komponen logam, retak termal, hingga kerusakan permanen pada blok mesin dan komponen internal lainnya (Nugroho & Hartono, 2022). Oleh karena itu, sistem pendingin merupakan bagian vital dari strategi perawatan menyeluruh

terhadap mesin, dan menjadi fokus penting dalam upaya mempertahankan daya tahan mesin induk kapal.

Dalam praktiknya, strategi perawatan berbasis kondisi (condition-based maintenance/CBM) telah mulai diadopsi secara luas dalam industri pelayaran modern. Pendekatan ini memanfaatkan teknologi pemantauan berbasis sensor untuk mendeteksi perubahan suhu, tekanan, dan getaran secara real-time, sehingga memungkinkan tindakan preventif dilakukan sebelum terjadi kerusakan besar (Liu et al., 2021). Sensor suhu yang terintegrasi dengan sistem kontrol mesin dapat memberikan peringatan dini terhadap kenaikan suhu abnormal akibat gangguan sistem pendingin, memungkinkan operator mesin melakukan penyesuaian atau perbaikan segera. Hal ini berdampak langsung terhadap peningkatan daya tahan mesin, sekaligus mengurangi downtime operasional dan biaya perawatan darurat.

Lebih lanjut, efektivitas sistem pendingin sebagai faktor penentu daya tahan mesin juga dipengaruhi oleh kualitas air pendingin yang digunakan, frekuensi penggantian komponen seperti pompa, filter, dan heat exchanger, serta konsistensi dalam pembersihan jalur sirkulasi. Kegagalan dalam menjaga kualitas dan fungsi sistem pendingin tidak hanya berisiko menyebabkan kerusakan mesin, tetapi juga dapat mengganggu operasi kapal secara keseluruhan, termasuk dalam aspek keselamatan pelayaran.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa daya tahan mesin tidak hanya merefleksikan aspek teknis dari mesin itu sendiri, melainkan juga keterkaitan erat dengan strategi pemeliharaan, kualitas sistem pendukung, dan penggunaan teknologi pemantauan modern. Dalam kerangka pengelolaan operasional kapal niaga yang efisien dan aman, penguatan sistem pendingin dan pengelolaan perawatan mesin berbasis data menjadi langkah penting dalam memastikan mesin induk dapat beroperasi dalam jangka panjang dengan performa optimal.

F. Hubungan Perawatan Pendingin Mesin dengan Daya Tahan Mesin

Perawatan sistem pendingin mesin memiliki peran krusial dalam memastikan keandalan dan daya tahan mesin induk, khususnya pada kapal-kapal niaga seperti MT Patra Tanker 1. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa efisiensi sistem pendingin memiliki korelasi langsung terhadap kinerja termal dan mekanis mesin. Sistem pendingin yang bekerja secara optimal mampu menjaga suhu kerja mesin dalam batas yang aman, sehingga mencegah overheat yang dapat menyebabkan keausan dini pada komponen internal mesin seperti piston, liner, dan katup. Tanpa sistem pendingin yang baik, akumulasi panas berlebih dapat mengakibatkan kerusakan permanen yang berujung pada penurunan performa atau bahkan kegagalan total mesin.

Kerusakan sistem pendingin seringkali menjadi penyebab utama dari berbagai kasus kegagalan mesin di kapal. Dalam penelitian oleh Smith et al. (2017), ditemukan bahwa sekitar 40% dari total kasus kerusakan mesin disebabkan oleh kegagalan sistem pendingin, baik yang disebabkan oleh kebocoran, penyumbatan aliran, maupun penurunan kualitas fluida pendingin. Data ini mempertegas pentingnya pemeliharaan yang sistematis dan terencana terhadap komponen-komponen pendingin, seperti pompa air, heat exchanger, thermostat, dan saluran sirkulasi pendingin lainnya.

Sebagai respons terhadap tantangan tersebut, strategi pemeliharaan berbasis kondisi (*condition-based maintenance/CBM*) menjadi pendekatan yang semakin relevan dan diterapkan secara luas di industri pelayaran. CBM memungkinkan pemantauan kondisi aktual sistem pendingin melalui parameter-parameter kunci seperti suhu, tekanan, dan kualitas cairan pendingin, sehingga perawatan dapat dilakukan tepat waktu sebelum terjadi kerusakan. Dengan pendekatan ini, efisiensi dan keandalan operasional mesin dapat ditingkatkan secara signifikan, serta risiko downtime yang merugikan dapat diminimalisasi.

Secara keseluruhan, hubungan antara perawatan sistem pendingin

dan daya tahan mesin tidak dapat diabaikan. Investasi pada sistem monitoring dan pelaksanaan pemeliharaan yang tepat waktu bukan hanya menjamin umur pakai mesin yang lebih panjang, tetapi juga mendukung keselamatan dan efisiensi operasional kapal secara menyeluruh.

G. SmartPLS

SmartPLS merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan dalam pendekatan Structural Equation Modeling berbasis Partial Least Squares (PLS-SEM). PLS-SEM merupakan metode statistik multivariat yang digunakan untuk menguji hubungan antar variabel laten (constructs) yang bersifat kompleks, serta cocok untuk ukuran sampel kecil dan data yang tidak berdistribusi normal (Hair et al., 2021). Metode ini sangat sesuai diterapkan dalam bidang manajemen teknik, termasuk studi tentang pengaruh perawatan sistem pendingin terhadap daya tahan mesin induk seperti yang dilakukan dalam penelitian ini.

Berbeda dengan covariance-based SEM (CB-SEM) yang lebih fokus pada pengujian teori secara konfirmatori, PLS-SEM lebih bersifat prediktif dan eksploratif. Oleh karena itu, SmartPLS banyak digunakan dalam penelitian terapan di bidang teknik dan manajemen operasional, karena kemampuannya untuk menjelaskan varian antar variabel yang relatif tinggi. Menurut Chin (1998), PLS-SEM dapat menangani model dengan banyak variabel laten dan indikator, serta dapat digunakan meski jumlah responden terbatas, seperti halnya penelitian pada kru mesin kapal yang jumlahnya terbatas.

Dalam penelitian ini, SmartPLS digunakan untuk menganalisis pengaruh variabel bebas (frekuensi dan kualitas perawatan pendingin) terhadap variabel terikat (daya tahan mesin induk), serta satu variabel mediasi (dampak perawatan). Model yang digunakan terdiri dari dua komponen utama: outer model dan inner model. Outer model berfungsi untuk menguji validitas dan reliabilitas indikator-indikator yang membentuk variabel laten, sedangkan inner model digunakan untuk menguji kekuatan dan arah

hubungan antar variabel laten.

Pengujian outer model melibatkan analisis nilai outer loading, Average Variance Extracted (AVE), dan Composite Reliability (CR) untuk memastikan bahwa setiap indikator mampu merepresentasikan variabel laten secara konsisten. Sementara itu, pengujian inner model dilakukan dengan menghitung path coefficient, R-square, dan uji signifikansi menggunakan metode bootstrapping. Uji ini memberikan nilai t-statistic dan p-value untuk mengukur signifikansi hubungan antar konstruk.

SmartPLS juga memberikan keuntungan dalam hal visualisasi model, yang membantu peneliti dalam memetakan hubungan antar variabel secara jelas dan sistematis. Visualisasi ini mendukung interpretasi terhadap hasil model, sehingga mempermudah pengambilan keputusan atau rekomendasi teknis berdasarkan temuan empiris.

Dengan demikian, penggunaan SmartPLS dalam penelitian ini memberikan alat analisis yang kuat dan fleksibel untuk memahami kompleksitas hubungan antara praktik perawatan pendingin mesin dan daya tahan mesin induk, serta memberikan hasil yang dapat diandalkan meskipun jumlah responden terbatas.

H. Kerangka Konseptual Penelitian

Penelitian ini dirancang untuk memahami hubungan antara variabel perawatan sistem pendingin dan daya tahan mesin induk pada kapal, khususnya dalam konteks operasional Kapal MT Patra Tanker I. Terdapat tiga variabel utama yang dianalisis: frekuensi perawatan, kualitas perawatan, dan daya tahan mesin, dengan satu variabel mediasi yaitu dampak perawatan. Kerangka ini bertujuan menjelaskan bagaimana praktik pemeliharaan sistem pendingin berkontribusi secara langsung dan tidak langsung terhadap ketahanan operasional mesin kapal.

Model konseptual ini dikembangkan berdasarkan pendekatan Structural Equation Modeling (SEM) menggunakan Partial Least Squares

(SmartPLS). Pendekatan ini dipilih karena kemampuannya dalam menangani model kompleks dengan ukuran sampel relatif kecil serta dalam menjelaskan hubungan laten antar variabel (Ali et al., 2020).

1. Frekuensi Perawatan

Mengacu pada seberapa sering sistem pendingin menjalani tindakan pemeliharaan preventif dan korektif. Tingkat frekuensi yang konsisten diyakini mampu menjaga performa komponen, menghindari akumulasi kerusakan kecil, dan mendeteksi gejala awal kegagalan sistem.

2. Kualitas Perawatan

Mencakup aspek teknis pelaksanaan perawatan seperti kelengkapan prosedur, kecakapan teknisi, keakuratan penggunaan suku cadang, serta pencatatan kegiatan perawatan. Perawatan yang berkualitas tinggi diyakini berdampak signifikan terhadap performa sistem pendingin.

3. Dampak Perawatan

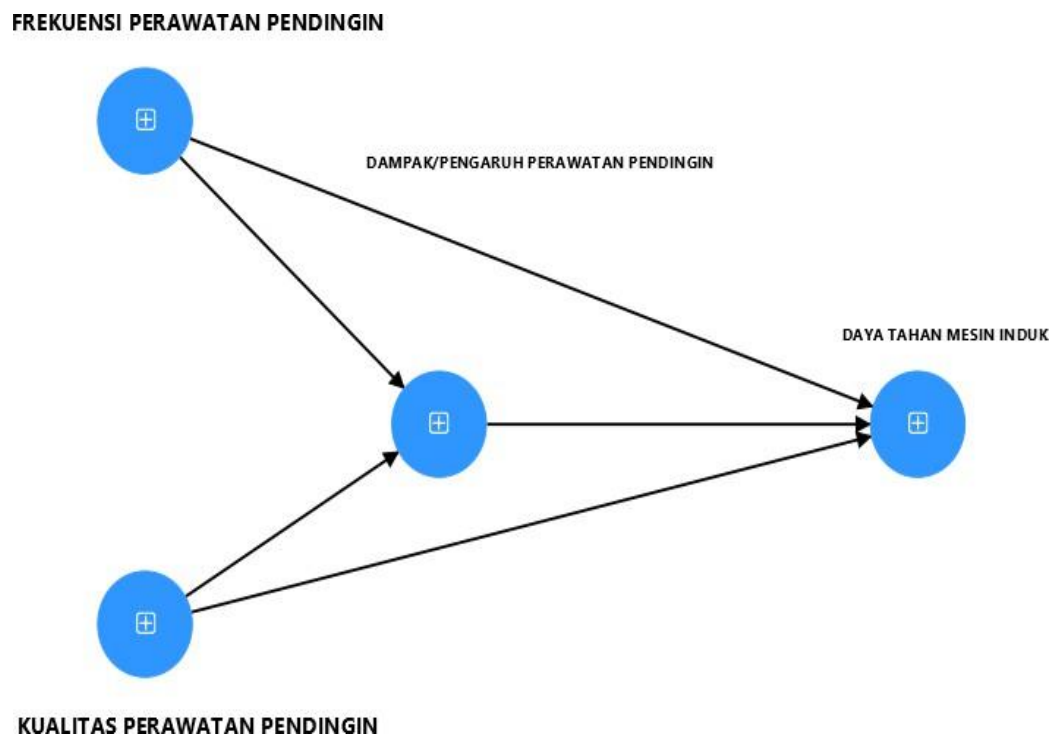
Sebagai variabel mediasi, dampak perawatan mencerminkan hasil nyata dari kegiatan perawatan yang dilakukan. Ini termasuk kestabilan suhu mesin, efisiensi pelumasan, dan minimnya gangguan operasional. Variabel ini menunjukkan bagaimana perawatan yang tepat memberikan hasil fungsional yang baik.

4. Daya Tahan Mesin

Merupakan variabel dependen yang merepresentasikan ketahanan mesin induk terhadap kerusakan dan kemampuannya bertahan dalam siklus operasi jangka panjang. Daya tahan mesin dilihat dari frekuensi gangguan, usia pakai komponen, dan ketersediaan operasional (*availability*).

gambar Model Konseptual Penelitian yang menggambarkan hubungan antar variabel:

Gambar 2. 1 Kerangka konsep penelitian



I. Rumus Uji Analisa Data

1. Outer Model (Measurement Model)

Mengukur hubungan antara indikator (manifest variable) dan konstruk (latent variable).

Rumus Outer Loading:

$$X_i = \lambda_i \cdot \xi + \varepsilon_i$$

- X_i = nilai indikator
- λ_i = outer loading
- ξ = konstruk (variabel laten)
- ε_i = error (residual)

Semua indikator dianggap valid jika: $\lambda_i > 0.7$

Nilai Outer Loading	Interpretasi
≥ 0.70	Sangat baik – indikator valid dan reliabel
0.50 – 0.69	Cukup – bisa dipertahankan jika AVE ≥ 0.5
< 0.50	Rendah – sebaiknya dihapus (drop)

Sumber: Hair et al. (2021), *Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Using SmartPLS 4*

2. Inner Model (Structural Model)

Menggambarkan hubungan antar konstruk.

Rumus Path Coefficient:

$$\eta = \beta \cdot \xi + \zeta$$

- η = konstruk endogen (misalnya: Daya Tahan Mesin)
- ξ = konstruk eksogen (misalnya: Dampak Perawatan)
- β = koefisien jalur (path coefficient)
- ζ = error residual model struktural

Sumber: Henseler, Ringle & Sinkovics (2009); Hair et al. (2021)

3. Nilai R^2 (Koefisien Determinasi)

Menunjukkan besarnya variasi konstruk endogen yang dijelaskan oleh

konstruk eksogen.

- $R^2 \geq 0.75 \rightarrow$ Kuat (substantial)
- $0.50 \leq R^2 < 0.75 \rightarrow$ Sedang (moderate)
- $0.25 \leq R^2 < 0.50 \rightarrow$ Lemah (weak)
- $R^2 < 0.25 \rightarrow$ Sangat lemah atau tidak signifikan

Jadi, semakin tinggi nilai R^2 , semakin besar kemampuan konstruk bebas dalam menjelaskan konstruk terikat. Nilai ini penting untuk menilai kelayakan model struktural dalam penelitian berbasis PLS.

Sumber: Chin (1998); Hair et al. (2021)

4. Uji Signifikansi (Bootstrapping)

Untuk mengetahui apakah hubungan antar konstruk signifikan, digunakan nilai t-statistic dan p-value.

1. T-Statistic

Digunakan untuk menguji apakah suatu hubungan signifikan.

Tingkat Signifikansi	Nilai T minimum
10% ($\alpha = 0.10$)	≥ 1.65
5% ($\alpha = 0.05$)	≥ 1.96
1% ($\alpha = 0.01$)	≥ 2.58

- Jika T-statistic $\geq$ batas, maka hubungan dianggap signifikan
- pada tingkat signifikansi tersebut.

Contoh: $T = 2.10 \rightarrow$ signifikan pada 5% (karena > 1.96)

2. P-Value

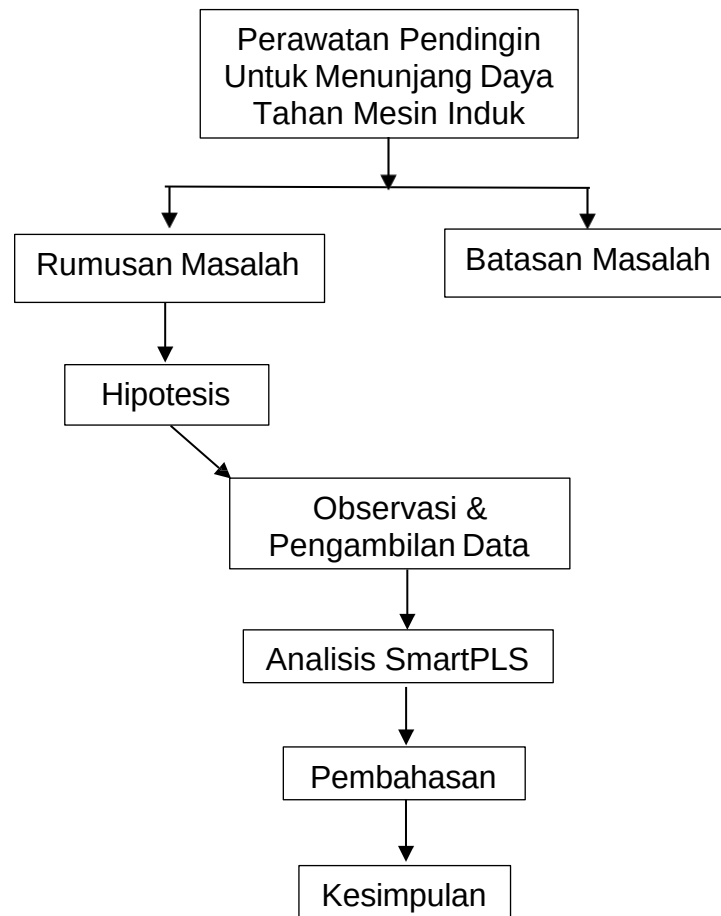
P-Value menunjukkan probabilitas kesalahan jika menyatakan suatu hubungan signifikan.

P-Value	Interpretasi
≤ 0.10	Signifikan (10%)
≤ 0.05	Signifikan (5%)
≤ 0.01	Sangat signifikan (1%)
> 0.10	Tidak signifikan

Semakin kecil nilai p-value, semakin kuat bukti bahwa hubungan tersebut signifikan.

Sumber: Hair et al. (2021); Sarstedt et al. (2014)

J. Kerangka Pikir



Gambar 2. 2 Tabel review jurnal

No	Judul Jurnal	Penulis	Tahun	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Temuan Utama	Relevansi
1	Pentingnya Perawatan pada Sistem Pendingin Mesin untuk Menunjang Daya Tahan Mesin Induk di Kapal MT Patra Tanker 1	Hendri	2025	Menganalisis pengaruh perawatan sistem pendingin terhadap daya tahan mesin induk dengan efisiensi sebagai variabel mediasi	Kuantitatif, SmartPLS (SEM-PLS)	Perawatan berpengaruh langsung dan tidak langsung melalui efisiensi terhadap daya tahan mesin	Ini adalah objek utama penelitian dan menjadi pusat pembahasan dari model konseptual yang dibangun
2	Analisa Efisiensi Mesin Induk Kapal Terhadap Perawatan Sistem Pendingin	Asep Suryadi	2019	Menganalisis efisiensi mesin induk berdasarkan tingkat perawatan sistem pendingin	Studi kasus pada kapal tanker, metode kuantitatif	Perawatan sistem pendingin yang baik meningkatkan efisiensi hingga 15%	Relevan langsung, fokus pada pengaruh perawatan sistem pendingin
3	Pengaruh Perawatan Preventif terhadap Keandalan Mesin Kapal	Rudi Hartono	2020	Mengetahui dampak perawatan preventif terhadap keandalan mesin	Kuantitatif, analisis regresi linear	Terdapat hubungan positif signifikan antara perawatan preventif dan keandalan mesin	Mendukung variabel keandalan mesin dalam penelitian Anda
4	Optimasi Sistem Pendingin Menggunakan Metode RCM	Yulianto et al.	2021	Mengoptimalkan jadwal pemeliharaan sistem pendingin dengan metode Reliability Centered Maintenance (RCM)	Metode kuantitatif dengan simulasi	RCM meningkatkan keandalan sistem pendingin secara signifikan	Berguna untuk referensi metode pemeliharaan
5	Maintenance Cooling System Engine untuk Menunjang Performance Kapal	Dedi Kurniawan	2022	Mengkaji pentingnya sistem pendingin dalam menunjang performa kapal	Studi observasional lapangan dan dokumentasi mesin	Pendinginan optimal menurunkan risiko kerusakan mesin hingga 25%	Langsung relevan, mendukung argumentasi pentingnya pendingin
6	Evaluasi Sistem Pendingin dalam Menunjang Efisiensi Bahan Bakar	Sari Dewi	2021	Menganalisis pengaruh sistem pendingin terhadap efisiensi bahan bakar kapal	Deskriptif kuantitatif	Sistem pendingin yang baik berkontribusi pada penghematan bahan bakar 10–12%	Menambah dimensi efisiensi bahan bakar dalam konteks pendinginan

K. Hipotesis

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka yang menjadi hipotesis dalam penulisan skripsi ini adalah:

- a. Perawatan sistem pendingin mesin induk yang dilakukan secara tepat dan teratur berpengaruh terhadap daya tahan mesin induk.
- b. Kualitas perawatan sistem pendingin mesin berpengaruh positif terhadap daya tahan mesin induk.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif dengan metode survei yang dianalisis menggunakan Structural Equation Modeling berbasis Partial Least Square (PLS-SEM) melalui aplikasi SmartPLS. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh frekuensi dan kualitas perawatan sistem pendingin terhadap daya tahan mesin induk melalui dampak perawatan sebagai variabel mediasi.

B. Definisi Operasional Variabel

Dalam penelitian ini, terdapat empat variabel utama, yaitu:

1. X1 (Frekuensi Perawatan Pendingin Mesin): Frekuensi aktivitas perawatan yang dilakukan pada sistem pendingin, diukur melalui indikator seperti pemeriksaan berkala, penggantian coolant, dan pengecekan pompa.
2. X2 (Kualitas Perawatan Pendingin Mesin): Tingkat mutu atau kelayakan prosedur perawatan pendingin, meliputi ketelitian, kepatuhan SOP, kompetensi teknisi, dan kebersihan sistem.
3. Z (Dampak Perawatan): Efek langsung dari tindakan perawatan terhadap kinerja sistem pendingin, seperti efisiensi pendinginan dan umur komponen.
4. Y (Daya Tahan Mesin Induk): Kemampuan mesin induk bertahan dalam jangka panjang, dilihat dari umur mesin, kestabilan performa, dan minimnya kerusakan

C. Populasi Dan Sampel

1. Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh personel atau kru mesin yang terlibat secara langsung dalam proses operasi dan perawatan mesin induk di atas kapal MT Patra Tanker I. Populasi ini dipilih karena mereka memiliki pengalaman langsung dalam pelaksanaan kegiatan perawatan sistem pendingin dan memahami dampaknya terhadap kinerja mesin induk.

Populasi yang diteliti bersifat terbatas dan spesifik (non-general), sesuai dengan pendekatan studi kasus (case study) yang berfokus pada satu unit objek, yaitu Kapal MT Patra Tanker I.

Adapun jumlah personel mesin dalam kapal ini sebanyak 8–10 orang, yang terdiri dari Chief Engineer, Second Engineer, Third Engineer, Fourth Engineer, Oiler and Cadet.

2. Sampel

Sampel dalam penelitian ini diambil dengan menggunakan teknik *purposive sampling*, yaitu teknik pengambilan sampel berdasarkan pertimbangan tertentu yang ditetapkan oleh peneliti. Kriteria pemilihan sampel yaitu. Terlibat secara langsung dalam kegiatan perawatan dan pengoperasian sistem pendingin mesin induk.

Berdasarkan kriteria tersebut, jumlah sampel dalam penelitian ini ditetapkan dan responden, sesuai dengan karakteristik populasi kecil dan teknik analisis PLS-SEM, yang memungkinkan digunakan pada jumlah sampel minimum 10–30 responden (Hair et al., 2021).

Teknik sampling ini dipilih karena dianggap paling sesuai untuk memperoleh data yang valid dan relevan dengan fokus penelitian, serta sejalan dengan prinsip non-probability sampling yang umum digunakan dalam menemukan pola (studi eksploratif) berbasis model struktural.

D. Teknik Pengumpulan Data

Sebagai Langkah penulis dalam mengumpulkan data diatas kapal selama praktek laut dilakukan sebagai berikut :

1. *Observasi* (Pengamatan) : yaitu melakukan pengamatan secara langsung di kapal MT Patra Tanker I dimana penulis melaksanakan praktek laut
2. Wawancara : Mengumpulkan data dengan mengadakan tanya jawab secara langsung antara perwira diatas kapal.
3. Studi Dokumentasi: Menganalisis catatan perawatan mesin induk.

E. Forum Wawancara

Tabel 3. 1 Tabel forum wawancara

No	Pertanyaan Wawancara	Tujuan Variabel
1	Seberapa sering Anda melakukan perawatan sistem pendingin pada mesin induk dalam satu bulan?	Mengukur frekuensi perawatan (X1)
2	Apakah jadwal perawatan sistem pendingin di kapal Anda dilakukan secara teratur dan sesuai SOP?	Mengukur kualitas perawatan (X2)
3	Bagaimana Anda menilai keterampilan teknisi dalam menangani perawatan sistem pendingin?	Mengukur kompetensi teknisi (X2.5)
4	Seberapa besar dampak perawatan sistem pendingin terhadap kestabilan suhu mesin saat pelayaran?	Mengukur dampak perawatan terhadap suhu (Z2)
5	Menurut Anda, apakah perawatan sistem pendingin mempengaruhi umur pakai komponen mesin?	Mengukur pengaruh terhadap daya tahan mesin induk (Y4/Y8)
6	Apa saja kendala utama yang Anda hadapi dalam melakukan perawatan sistem pendingin?	Eksplorasi faktor penghambat perawatan (kualitatif tambahan)
7	Apakah ada perubahan dalam performa mesin setelah dilakukan perawatan sistem pendingin secara berkala?	Mengukur efektivitas hasil perawatan (Z1, Z6)
8	Bagaimana pencatatan dan dokumentasi kegiatan perawatan dilakukan di kapal ini?	Mengukur dokumentasi perawatan (X2.6)
9	Apakah mesin mengalami overheat sebelum dan sesudah implementasi jadwal perawatan yang konsisten?	Mengukur efektivitas perawatan dalam mencegah overheat (Z3, Y5)
10	Apakah sistem pendingin berperan dalam menjaga efisiensi bahan bakar selama pelayaran?	Mengukur efek terhadap efisiensi operasi (Y4)

F. Jadwal Penelitian

Tabel 3. 2 Tabel jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Tahun 2023											
		Bulan											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Pengumpulan Data Buku Referensi												
2.	Pemilihan judul												
3.	Penyusunan proposal dan bimbingan												
4.	Seminar proposal												
5.	Perbaikan seminar proposal												
6.	Pengambilan data												
Tahun 2024													
7.	Pengambilan data												
8.	Pengolahan Data dan bimbingan hasil skripsi												
9.	Seminar Hasil penelitian dan perbaikan												
Tahun 2025													
10.	Revisi skripsi dan Bimbingan Tutup												
11.	Ujian Tutup												

G. Rancangan Penelitian

Tabel 3. 3 Tabel rancangan penelitian

[illegible]

H. Flow Chart Penelitian

