

LAPORAN TUGAS AKHIR

KARYA ILMIAH TERAPAN

**ANALISIS *TROUBLESHOOTING* PADA SISTEM PENDINGIN
GANDROOM DI KM. LAMBELU**



RIFQI TAUFIQUL HAKIM

NIT. 22.36.306.2.046

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan
Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PERMESINAN KAPAL
TAHUN 2026

LAPORAN TUGAS AKHIR

KARYA ILMIAH TERAPAN

**ANALISIS *TROUBLESHOOTING* PADA SISTEM PENDINGIN
GANDROOM DI KM. LAMBELU**



RIFQI TAUFIQUL HAKIM

NIT. 22.36.306.2.046

Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan
Program Pendidikan Sarjana Terapan

POLITEKNIK PELAYARAN SURABAYA
PROGRAM SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA PERMESINAN KAPAL
TAHUN 2026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : RIFQI TAUFIQUL HAKIM

Nomer Induk Taruna : 22 36 306 2 046

Program Diklat : Diploma IV Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal

Menyatakan bahwa KIT yang saya tulis dengan judul:

ANALISIS *TROUBLESHOOTING* PADA SISTEM PENDINGIN GANDROOM DI KM. LAMBELU

Merupakan karya seluruh ide yang ada dalam KIT tersebut, kecuali tema yang saya nyatakan sebagai kutipan, merupakan ide saya sendiri.

Jika pernyataan diatas terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Pelayaran Surabaya.

SURABAYA, 7 April 2026



RIFQI TAUFIQUL HAKIM
NIT 22 36 306 2 046

**PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR**

Judul : ANALISIS TROUBLESHOOTING PADA SISTEM
PENDINGIN GANDROOM DI KM. LAMBELU
Program Studi : D-IV TEKNOLOGI REKAYASA PERMESIANAN KAPAL
Nama : RIFQI TAUFIQUL HAKIM
NIT : 22363062046
Jenis Tugas Akhir : ~~Prototype / Proyek / Karya Ilmiah Terapan*~~
Keterangan: *(coret yang tidak perlu)

Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk dilaksanakan
Uji Kelayakan Proposal

Surabaya, 12 Maret 2026

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



(Dr. ANTONIUS EDY KRISTİYONO, M.Pd., M.Mar.E.)

NIP. 19690531200312001

Dosen Pembimbing II



(SHOFA DAI ROBBIS.T., M.T)

NIP. 198203022006041001

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal



(Dr. ANTONIUS EDY KRISTİYONO, M.Pd., M.Mar.E.)

NIP. 19690531200312001

**PERSETUJUAN SEMINAR
HASIL TUGAS AKHIR**

Judul : ANALISIS TROUBLESHOOTING PADA SISTEM
PENDINGIN GANDROOM DI KM.LABELU

Program Studi : D-IV TEKNOLOGI REKAYASA PERMESINAN KAPAL

Nama : RIFQI TAUFIQUL HAKIM

NIT : 22363062046

Jenis Tugas Akhir : ~~Prototype~~/ Karya Ilmiah Terapan / ~~Karya Tulis Ilmiah~~*

Keterangan: *(coret yang tidak perlu)

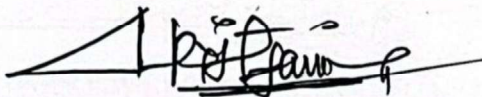
Dengan ini dinyatakan bahwa telah memenuhi syarat dan disetujui untuk dilaksanakan
Seminar Hasil Tugas Akhir

Surabaya, 10 Maret 2026

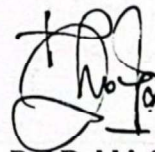
Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



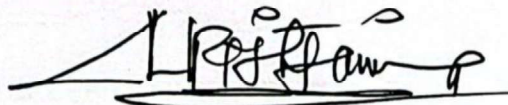
(Dr. Antonius Edy Kristivono, M.Pd., M.Mar.E)
NIP. 19690531 200312 1 001



(Shofa Dai Robbi, S.T., M.T.)
NIP.198203022006041001

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan TRPK



(Dr. Antonius Edy Kristivono, M.Pd., M.Mar.E)
NIP. 19690531 200312 1 001

**PENGESAHAN
PROPOSAL TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

**ANALISIS TROUBLESHOOTING PADA SISTEM PENDINGIN GANDROOM
DI KM. LAMBELU**

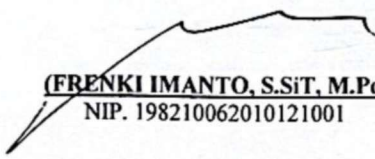
Disusun oleh:

RIFQI TAUFIQUL HAKIM
NIT. 22 36 306 2 046

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Hasil Tugas Akhir
Politeknik Pelayaran Surabaya

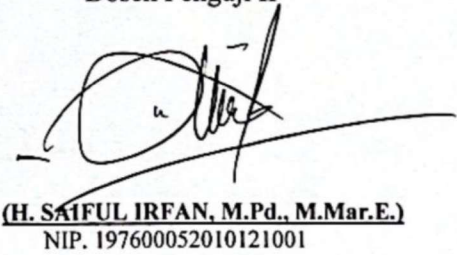
Surabaya, 21 Juni 2024

Dosen Penguji I



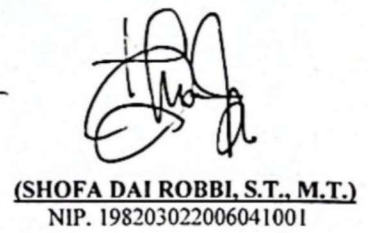
(FRENKI IMANTO, S.SiT, M.Pd.)
NIP. 198210062010121001

Dosen Penguji II



(H. SAIFUL IRFAN, M.Pd., M.Mar.E.)
NIP. 197600052010121001

Dosen Penguji III



(SHOFA DAI ROBBI, S.T., M.T.)
NIP. 198203022006041001

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal



(MONIKA RETNO GUNARTI, M.Pd., M.Mar.E.)
NIP. 197605282009122002

**PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR
KARYA ILMIAH TERAPAN**

**ANALISIS TROUBLESHOOTING PADA SISTEM PENDINGIN GANDROOM
DI KM. LAMBELU**

Disusun oleh:

RIFQI TAUFIQUL HAKIM
NIT. 22 36 306 2 046

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Hasil Tugas Akhir
Politeknik Pelayaran Surabaya

Surabaya, 12 Maret 2026

Mengesahkan,

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

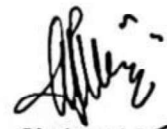
Dosen Penguji III



(Monika Retno Gunarti, M.Pd., Mar.E.)
NIP. 197605282009122002



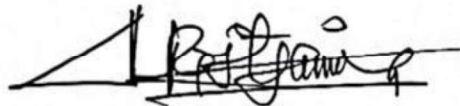
(Dr. Antonius Edy Kristiyono, M.Pd., M.Mar.E.)
NIP. 19690531200312001



(Novitasari, M.Pd.)
NIP. 199111042024212015

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal



(Dr. Antonius Edy Kristiyono, M.Pd., M.Mar.E.)
NIP. 19690531200312001

ABSTRAK

RIFQI TAUFIQUL HAKIM. ANALISIS *TROUBLESHOOTING* PADA SISTEM PENDINGIN *GANDROOM* DI KM. LAMBELU. Dibimbing oleh Antonius Edy Kristiyono, M.Mar.E, M.Pd., dan Shofa Dai Robbi, S.T., M.T.

Gandroom di kapal berfungsi sebagai fasilitas utama penyimpanan dan memperpanjang masa simpan bahan makanan bagi seluruh awak kapal. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kegagalan fungsional kritis pada sistem pendingin *gandroom* di KM. Lambelu. *Gandroom* hanya mampu mencapai suhu minimum pada ruang ikan -5°C dan ruang daging -6°C , jauh dari standar operasional -18°C . Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis proses *troubleshooting* kegagalan tersebut dan mengevaluasi kinerja sistem secara komprehensif pasca-gangguan perbaikan. Metode penelitian yang digunakan adalah Metode Campuran (*Mixed Methods*) dengan desain studi kasus konvergen. Pendekatan ini mengintegrasikan data kuantitatif berupa kuesioner terkait komponen sistem pendingin *gandroom* dan data kualitatif berupa data *logbook* harian dan dokumentasi fotografis proses teknis.

Hasil penelitian kuantitatif dengan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) didapat bahwa kompresor memiliki nilai *RPN* (*Risk Priority Number*) sebesar 50. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Kompresor memiliki risiko yang tinggi apabila mengalami kegagalan dan harus dijadikan prioritas utama dalam melakukan perawatan. Kemudian hasil penelitian kualitatif mengkonfirmasi adanya kerusakan mekanis internal pada kompresor. Dampak ini sangat berpengaruh terhadap kebutuhan logistik yang sangat penting untuk bahan makanan *crew* kapal serta penumpang. Solusi yang dilakukan adalah penggantian penuh unit kompresor. Evaluasi pasca-perbaikan (data *commissioning*) memvalidasi keberhasilan solusi, menunjukkan kemampuan sistem melakukan *pull-down* dari suhu awal $+25^{\circ}\text{C}$ hingga mencapai -23°C . Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa kompresor merupakan komponen dengan resiko tertinggi dan menjadi prioritas perbaikan. Penggantian kompresor efektif untuk memulihkan kapasitas fungsional sistem secara optimal. Rekomendasi yang diajukan adalah penerapan inspeksi *superheat* katup ekspansi secara berkala guna mencegah risiko *liquid slugging* (masuknya *refrigerant* kedalam sistem) pada unit kompresor baru serta monitoring sistem pelumasan pada kompresor.

Kata Kunci : Kompresor, *Troubleshooting*, FMEA, *Gandroom*, Kinerja Pendingin.

ABSTRACT

RIFQI TAUFIQUL HAKIM. TROUBLESHOOTING ANALYSIS ON THE GANDROOM REFRIGERATION SYSTEM AT KM. LAMBELU. Supervised by Antonius Edy Kristiyono, M.Mar.E, M.Pd., and Shofa Dai Robbi, S.T., M.T.

The ship's refrigeration room serves as the primary storage facility and extends the shelf life of food for the entire crew. This research was motivated by a critical functional failure in the KM Lambelu's refrigeration system. The refrigeration room could only reach a minimum temperature of -5°C in the fish room and -6°C in the meat room, far below the operational standard of -18°C. The purpose of this study was to analyze the troubleshooting process for this failure and comprehensively evaluate the system's performance after the disruption and repair. The research method used was a mixed methods approach with a convergent case study design. This approach integrated quantitative data in the form of questionnaires related to the refrigeration system components with qualitative data in the form of daily logbooks and photographic documentation of the technical process.

The quantitative research using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method found that the compressor had a Risk Priority Number (RPN) of 50. This result indicates that the compressor is at high risk of failure and should be a top priority for maintenance. Furthermore, the qualitative research confirmed internal mechanical damage to the compressor. This impact significantly impacted the crucial logistical needs for crew and passenger food. The solution was a complete replacement of the compressor unit. Post-repair evaluation (commissioning data) validated the solution's success, demonstrating the system's ability to perform pull-down from an initial temperature of +25°C to -23°C. The study concluded that the compressor was the component with the highest risk and was a priority for repair. Compressor replacement was effective in restoring the system's optimal functional capacity. Recommendations included implementing periodic expansion valve superheat inspections to prevent the risk of liquid slugging (refrigerant entering the system) on new compressor units, as well as monitoring the compressor's lubrication system.

Keywords : *Compressor, Troubleshooting, FMEA, Gandroom, Refrigeration Performance.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur peneliti ucapkan atas kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat, berkat, dan hidayah-Nya peneliti dapat menyelesaikan penyusunan Karya Ilmiah Terapan ini dengan baik dan tepat waktu. Sehingga peneliti dapat menyusun dan menyelesaikan penelitian ini, dengan judul :

“ANALISIS *TROUBLESHOOTING* PADA SISTEM PENDINGIN *GANDROOM* DI KM. LAMBELU”

Adapun maksud dan tujuan dari penyusunan tugas akhir ini sebagai persyaratan menempuh gelar sarjana terapan Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal Politeknik Pelayaran Surabaya.

Selama proses pengerjaan Tugas Akhir berlangsung sampai terselesaikan, banyak orang yang mendukung peneliti baik itu secara moral dan materil, peneliti ingin mengucapkan terimakasih sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Moejiono, M.T., M.Mar.E. selaku Direktur Politeknik Pelayaran Surabaya yang telah mendukung saya dalam penulisan proposal ini;
2. Bapak Dr. Antonius Edy Kristiyono, M.Pd., M.Mar.E. selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal;
3. Bapak Dr. Antonius Edy Kristiyono, M.Pd., M.Mar.E. selaku pembimbing I, yang telah membantu serta membimbing saya dalam penyusunan Karya Ilmiah Terapan ini ini;
4. Bapak Shofa Dai Robbi, S.T., M.T. selaku pembimbing II, yang dengan penuh ketekunan dan kesabaran membimbing saya dalam penyusunan Karya Ilmiah Terapan ini ini;
5. Bapak, Ibu Dosen Politeknik Pelayaran Surabaya yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis khususnya Jurusan Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal yang telah memberikan bekal ilmu sehingga saya dapat menyelesaikan Karya Ilmiah Terapan ini ini;
6. Bapak Agus Supriyanto dan Ibu Yuni Wahyu Sriyatun selaku kedua orang tua penulis yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat kepada penulis;
7. Kepada Seseorang yang pernah bersama penulis. Terimakasih untuk dukungan yang diberikan dalam penyusunan tugas akhir ini, yang memberikan motivasi untuk terus maju dan berproses menjadi pribadi yang lebih baik, mengerti arti pendewasaan dan pengalaman. Terimakasih telah menjadi bagian menyenangkan dalam pendewasaan ini.
8. Yang telah memberikan semangat dan keceriaan, rekan-rekan terdekat yang membantu dalam penyelesaian karya ilmiah Terapan ini.

Harapan peneliti semoga tugas akhir ini membantu menambah pengetahuan dan pengalaman bagi para pembaca terutama bagi seluruh rekan- rekan Transportasi Laut seperjuangan di Politeknik Pelayaran Surabaya. Tugas akhir ini saya akui

masih jauh dari kata sempurna dan memiliki kekurangan. Oleh karena itu saya berharap kepada para pembaca untuk memberikan masukan yang bersifat membangun kepada peneliti untuk kesempurnaan, demi perbaikan serta penelitian yang berikutnya.

Akhir kata, peneliti mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, rekan – rekan seperjuangan, dosen beserta karyawan Program Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya.

Surabaya, 2026

RIFQI TAUFIQUL HAKIM
NIT 22 36 306 2 046

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PERSETUJUAN UJI KELAYAKAN PROPOSAL TUGAS AKHIR	iii
PERSETUJUAN SEMINAR HASIL TUGAS AKHIR	iv
PENGESAHAN PROPOSAL AKHIR KARYA ILMIAH TERAPAN.....	v
PENGESAHAN TUGAS AKHIR KARYA ILMIAH TERAPAN	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Batasan Masalah.....	5
D. Tujuan Penelitian.....	6
E. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
A. <i>Review</i> Penelitian Sebelumnya	8
B. Landasan Teori	10

C. Kerangka Berpikir.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	18
A. Jenis Penelitian.....	18
B. Lokasi dan waktu Penelitian	18
C. Sumber Data Subyek Penelitian dan Teknik Pengumpulan Data	19
D. Teknik Analisis Data	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
A. Gambaran Umum Objek Penelitian	23
B. Hasil Penelitian	26
C. Pembahasan.....	40
BAB V PENUTUP.....	47
A. Kesimpulan	47
B. Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem Pendingin.....	10
Gambar 2. 2 <i>Compressor Reciprocating</i>	12
Gambar 2. 3 Kondesor	13
Gambar 2. 4 Katup Ekspansi.....	13
Gambar 2. 5 Evaporator	14
Gambar 2. 6 <i>Oil Separator</i>	14
Gambar 2. 7 <i>Filter Dryer</i>	15
Gambar 2. 8 <i>Electric Selenoid Valve</i>	15
Gambar 2. 9 Kerangka Berpikir	17
Gambar 4. 1 KM. Lambelu	23
Gambar 4. 2 Sistem Pendingin Gandroom.....	24
Gambar 4. 3 Kompresor.....	25
Gambar 4. 4 Komponen Kompresor	28
Gambar 4. 5 Unit Kompresor Baru	28
Gambar 4. 7 Nilai RPN	41
Gambar 4. 8 Grafik suhu Gandroom sebelum dan setelah perbaikan.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Review Penelitian Sebelumnya.....	8
Tabel 4. 1 Ship's Particular	24
Tabel 4. 2 Spesifikasi Teknis Subjek Penelitian.....	25
Tabel 4. 3 Spesifikasi Kompresor	26
Tabel 4. 4 Catatan Suhu Trouble	27
Tabel 4. 5 Hasil Uji Validitas Severity	32
Tabel 4. 6 Hasil Uji Validitas Occurrence	33
Tabel 4. 7 Hasil Uji Validitas Detection.....	33
Tabel 4. 8 Hasil Uji Reliabilitas Severity	34
Tabel 4. 9 Hasil Uji Reliabilitas Occurrence.....	35
Tabel 4. 10 Hasil Uji Reliabilitas Detection.....	35
Tabel 4. 11 Penilaian Severity	36
Tabel 4. 12 Penilaian Occurrence.....	37
Tabel 4. 13 Penilaian Occurrence.....	37
Tabel 4. 14 Penilaian S,O,D	38
Tabel 4. 15 Dampak Troubleshooting	42
Tabel 4. 16 Data Kinerja Sistem Sebelum Perbaikan Kompresor	45
Tabel 4. 17 Data Kinerja Sistem Pasca-Penggantian Kompresor (Pull-Down).....	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Ship Particular KM.Lambelu.....	53
Lampiran 2 : Pembongkaran Kompresor	54
Lampiran 3 : Monitoring Operasional Mesin Es Pasca Perbaikan	55
Lampiran 4 : Responden	56
Lampiran 5 : Pertanyaan Severity	57
Lampiran 6 : Pertanyaan Occurrence.....	58
Lampiran 7 : Pertanyaan Detection.....	59

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri pelayaran global merupakan pilar utama dalam menopang rantai pasok dan konektivitas dunia. Sebagai negara kepulauan terbesar, Indonesia menempatkan sektor transportasi laut sebagai urat nadi perekonomian dan integrasi nasional. Pengoperasian kapal, baik untuk kargo maupun penumpang seperti KM. Lambelu, bergantung pada sinergi kompleks antara anjungan, operasional dek, dan keandalan kamar mesin. Keberlangsungan operasional ini tidak hanya diatur oleh regulasi internasional, tetapi juga oleh hukum nasional yang spesifik.

Regulasi nasional, seperti yang tertuang dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran, memberikan mandat yang jelas mengenai berbagai aspek keselamatan dan operasional. Pasal 117 ayat 2 dalam undang-undang tersebut secara komprehensif mengatur tentang keselamatan kapal, pencegahan pencemaran, hingga kesejahteraan awak kapal dan kesehatan penumpang (Indonesia, 2001). Aspek kesejahteraan awak kapal secara langsung berkaitan erat dengan ketersediaan logistik, terutama pasokan bahan makanan yang berkualitas dan aman selama pelayaran.

Untuk menjamin kualitas dan keamanan pangan, sistem pendingin refrigerasi (*refrigerator*) memegang peranan yang vital di atas kapal. Sistem ini berfungsi sebagai fasilitas penyimpanan utama, memperpanjang masa simpan dan menjaga nilai gizi bahan makanan yang esensial bagi seluruh awak kapal.

Fungsi sistem pendingin di kapal terbagi menjadi dua kategori utama: *chiller* untuk mendinginkan (umumnya 0°C hingga +5°C) dan *freezer* untuk membekukan (umumnya -18°C ke bawah). Untuk memastikan supaya mesin pendingin refrigerasi dapat bekerja dengan optimal dan memiliki umur yang panjang, maka diperlukan penanganan dan perawatan yang tepat (Haryadi, 2020).

Secara teknis, sebagian besar sistem refrigerasi kapal beroperasi menggunakan siklus kompresi uap. Siklus termodinamika ini bergantung pada empat komponen utama yang bekerja secara simultan, yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Kompresor, yang sering dianalogikan sebagai "jantung" dari sistem, berfungsi menghisap uap refrigeran bertekanan rendah dari evaporator dan memampatkannya menjadi uap bertekanan tinggi (Erita et al., 2021). Kinerja optimal dan berkelanjutan dari kompresor merupakan prasyarat mutlak untuk keberhasilan seluruh siklus pendinginan.

Keandalan permesinan bantu (*auxiliary machinery*), termasuk sistem pendingin, merupakan isu sentral dalam operasional kamar mesin. Berbeda dengan instalasi di darat, kegagalan sistem di tengah pelayaran tidak dapat diatasi dengan memanggil teknisi eksternal. Oleh karena itu, kemampuan masinis di atas kapal dalam melakukan diagnosis masalah (*troubleshooting*) dan perawatan preventif secara mandiri menjadi sangat fundamental. (Singgih, 2024) menekankan bahwa optimalisasi perawatan kompresor secara terencana adalah kunci untuk mencegah penurunan kinerja dan kegagalan fatal.

Berdasarkan observasi partisipatif dan studi dokumentasi penulis selama

melaksanakan praktik laut di KM. Lambelu, ditemukan sebuah masalah kinerja kritis pada sistem pendingin *gandroom* (ruang provisi) Mesin Es. Sistem teridentifikasi mengalami kegagalan fungsional berat dalam mencapai suhu desain yang dipersyaratkan untuk ruang *freezer*. Data *logbook* tertanggal 31 Mei 2025 menunjukkan bahwa suhu Ruang Daging hanya mampu mencapai -6°C dan Ruang Ikan -5°C . Angka operasional ini berada jauh di atas standar suhu beku yang aman, yakni -18°C .

Kondisi kegagalan sistem untuk mencapai suhu beku ini bukanlah fluktuasi operasional sederhana, melainkan sebuah indikasi *trouble* yang signifikan. Kenaikan suhu dari -18°C ke -6°C menempatkan bahan makanan beku dalam *temperature danger zone* untuk penyimpanan jangka panjang. Kondisi ini dapat mengaktivasi kembali pertumbuhan mikroba dan mempercepat proses degradasi bahan makanan, yang pada gilirannya dapat berdampak negatif pada kesehatan dan kesejahteraan awak kapal. Kegagalan ini mengindikasikan adanya kerusakan teknis yang substansial pada komponen utama sistem, bukan sekadar isu perawatan minor.

Investigasi lebih lanjut melalui dokumentasi fotografis menunjukkan bahwa kegagalan kinerja tersebut berakar pada kerusakan mekanis internal pada unit kompresor. Bukti visual mengkonfirmasi bahwa kompresor SABROE BFF5 yang terpasang harus melalui proses pembongkaran total (*teardown*) untuk pemeriksaan komponen internal seperti piston dan poros engkol. Situasi ini memberikan sebuah studi kasus yang sangat relevan mengenai diagnosis kegagalan komponen kritis di atas kapal.

Penelitian sebelumnya telah mengkaji berbagai aspek *troubleshooting*

kompresor di kapal. (Erita et al., 2021) mengidentifikasi faktor internal seperti siklus *cut-in/cut-out* berlebih dan temperatur *discharge* tinggi sebagai penyebab penurunan kinerja. Studi lain, seperti yang dilakukan oleh (Haryadi, 2020), berfokus pada pentingnya pemeliharaan berkala. Namun, studi kasus yang mendokumentasikan alur teknis secara lengkap, mulai dari identifikasi gejala kegagalan kinerja, analisis kerusakan internal melalui pembongkaran, proses penggantian unit, hingga evaluasi kuantitatif kinerja pasca-perbaikan masih terbatas.

Berawal dari temuan kegagalan faktual di KM. Lambelu, penelitian ini menjadi relevan karena menggeser fokus dari analisis operasional rutin menjadi analisis kegagalan (*failure analysis*) dengan menggunakan metode *mix method* yang bertujuan untuk menganalisis potensi kegagalan pada suatu produk secara mendalam memperhatikan tingkat risiko terkait jenis kegagalan tersebut dan menyusun langkah-langkah perbaikan, serta evaluasi pasca perbaikan. Oleh karena itu, untuk dapat melakukan penelitian dengan metode Mixed Method Research, maka harus dipahami dahulu karakteristik kedua metode tersebut (Azhari et al., 2023).

Penelitian ini difokuskan pada analisis *troubleshooting* atas kegagalan fungsional tersebut dan evaluasi kinerja sistem secara komprehensif setelah dilakukan gangguan teknis berupa penggantian kompresor. Studi kasus ini bertujuan untuk menyajikan analisis teknis yang runtut dan faktual terhadap masalah yang terjadi, serta memberikan validasi berbasis data terhadap efektivitas solusi yang telah diimplementasikan di atas kapal.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah pada latar belakang, maka pokok permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menentukan tingkat risiko kerusakan pada sistem pendingin *gandroom* di KM. Lambelu dengan metode FMEA?
2. Bagaimana dampak terjadinya *troubleshooting* terhadap kinerja sistem pendingin *gandroom* di KM.Lambelu ?
3. Bagaimana hasil evaluasi kinerja sistem pendingin *gandroom* pasca perbaikan pada sistem kompresor di KM. Lambelu ?

C. Batasan Masalah

Untuk menjaga agar penelitian ini tetap fokus, terarah, dan mendalam pada pokok permasalahan, maka penulis menetapkan batasan masalah yang jelas. Penelitian ini terbatas pada objek studi kasus tunggal, yakni sistem pendingin *gandroom* Mesin Es di KM. Lambelu. Data yang digunakan dalam analisis dibatasi pada tiga set bukti utama, meliputi:

1. Data *logbook* yang merekam kondisi kegagalan kinerja sistem.
2. Data hasil kuesioner yang menunjukkan hasil evaluasi tingkat kerusakan sistem pendingin *gandroom*.
3. Dokumentasi fotografis yang menunjukkan proses pembongkaran kompresor lama dan instalasi unit kompresor baru.
4. Data *logbook* start-up pasca-penggantian kompresor.

Penelitian ini tidak akan membahas atau menganalisis kinerja operasional Mesin Es maupun sistem refrigerasi lainnya yang berada di atas kapal.

D. Tujuan Penelitian

Selaras dengan rumusan masalah yang telah dipaparkan sebelumnya, penelitian ini memiliki tiga tujuan utama yang hendak dicapai. Adapun tujuan dari penelitian studi kasus ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil dari perhitungan RPN (Risk Priority Number) dalam menentukan tingkat risiko kerusakan pada sistem pendingin gandroom di KM. Lambelu.
2. Menganalisis dampak dari troubleshooting terhadap kinerja sistem pendingin gandroom di KM. Lambelu
3. Mengevaluasi hasil kinerja sistem pendingin gandroom pasca-gangguan penggantian kompresor di KM. Lambelu

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan peneliti selanjutnya yaitu:

1. Manfaat Teoritis:
 - a. Penelitian ini diharapkan dapat membantu pembaca dalam menambah ilmu tentang sistem pendingin refrigerator pada kapal.
 - b. Sebagai studi literatur peneliti selanjutnya khususnya Taruna- Taruni Politeknik Pelayaran Surabaya prodi Teknologi rekayasa permesinan kapal yang ingin mengetahui tentang prinsip pada sistem refrigerator pada kapal.
 - c. Dapat menjadi bahan informasi dan pengembangan bagi penelitian selanjutnya.

2. Manfaat Praktis:

- a. Memberikan informasi bagi pembaca tentang perawatan dan perbaikan pada sistem refrigerator di kapal. Apabila terjadi kerusakan agar dapat mengambil tindakan yang semestinya.
- b. Sebagai bahan pertimbangan dan acuan bagi pembaca untuk penelitian pada kasus selanjutnya.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

A. Review Penelitian Sebelumnya

Penelitian terkait sistem pendingin di kapal telah banyak dilakukan, namun dengan fokus dan ruang lingkup yang bervariasi. Tinjauan penelitian sebelumnya ini bertujuan untuk memetakan studi yang relevan dan mengidentifikasi celah penelitian (research gap) yang akan diisi oleh penelitian ini.

Tabel 2. 1 Review Penelitian Sebelumnya
Sumber : Diolah Peneliti

No	Judul Artikel	Nama penulis	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
1	Optimalisasi Perawatan Kompresor Mesin Pendingin Untuk Mempertahankan Kualitas Bahan Makanan Di Mt. Papandayan	(Singgih, 2024)	Penelitian menyimpulkan bahwa kegagalan dalam mengikuti prosedur <i>plan maintenance system</i> (PMS) secara konsisten menjadi faktor utama penyebab penurunan kinerja operasional kompresor.	1) Penelitian sebelumnya berfokus pada optimalisasi perawatan rutin (preventif). 2) Penelitian ini berfokus pada analisis kegagalan katastrofik (studi kasus korektif) yang memerlukan penggantian unit.
2	Menurunnya Kinerja Mesin Pendingin di MV. Vancouver	(Shevchenko et al., 2023)	Penurunan kinerja teridentifikasi disebabkan oleh faktor komponen bantu, seperti kerusakan pada <i>filter dryer</i> yang tidak dapat menyaring kotoran dan uap air, serta kondisi evaporator yang kotor.	1) Fokus <i>troubleshooting</i> pada penelitian sebelumnya adalah komponen pendukung/minor (<i>filter dryer</i> , evaporator kotor). 2) Penelitian ini berfokus pada <i>troubleshooting</i> komponen utama/mayor (kegagalan mekanis internal kompresor).

No	Judul Artikel	Nama penulis	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
3	The Main Refrigeration Compressor di KM. Sabuk Nusantara 37 pada PT. Peln	(Erita et al., 2021)	Studi mengidentifikasi faktor-faktor internal yang mempengaruhi kinerja kompresor, seperti siklus <i>start-stop</i> (cut-in/cut-out) yang berlebihan dan tingginya temperatur <i>discharge</i> .	1) Penelitian sebelumnya menganalisis gejala operasional (kinerja). Penelitian ini menganalisis kegagalan mekanis fisik (pembongkaran dan penggantian) dan evaluasi kinerja pasca-gangguan tersebut.
4	Analisa Pengaruh Pemeliharaan Terhadap Kinerja	(Haryadi, 2020)	Hasil penelitian menegaskan bahwa kinerja sistem pendingin yang optimal sangat bergantung pada pelaksanaan pemeliharaan yang dilakukan secara berkala dan sesuai dengan prosedur standar.	1) Fokus penelitian sebelumnya adalah pada pentingnya pemeliharaan berkala. 2) Penelitian ini menganalisis gangguan teknis besar (penggantian) setelah kegagalan terjadi, bukan pemeliharaan rutin.

Dari tabel di atas, terlihat bahwa penelitian yang ada cenderung berfokus pada (1) pentingnya pemeliharaan preventif (Singgih, 2024) dan (Haryadi, 2020) atau (2) diagnosis troubleshooting pada komponen bantu dan gejala operasional minor (Shevchenko et al., 2023). Penelitian ini mengambil fokus yang berbeda dan lebih spesifik.

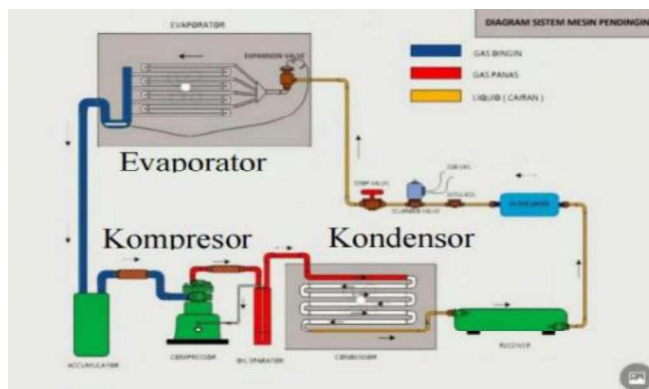
Penelitian ini mengisi celah dengan menyajikan studi kasus kegagalan mayor, yang mendokumentasikan alur teknis lengkap: mulai dari identifikasi gejala kegagalan kinerja berat, analisis kerusakan internal melalui pembongkaran fisik, proses gangguan penggantian unit, hingga evaluasi kinerja pasca-perbaikan menggunakan data *start-up* (*pull-down*).

B. Landasan Teori

Landasan teoretis ini menyajikan prinsip kerja, komponen spesifik, dan metodologi diagnosis yang digunakan dalam analisis kegagalan dan evaluasi kinerja sistem pendingin di KM. Lambelu.

1. Prinsip Dasar Siklus Pendingin *Gandroom*

Sebagian besar sistem refrigerasi kapal, termasuk yang digunakan untuk *gandroom*, beroperasi berdasarkan prinsip siklus kompresi uap. Siklus kompresi uap (*vapor compression refrigeration cycle*), dimana refrigeran mengalami proses penguapan dan kondensasi, dan kompresi dalam fase uap (Wiratmaja et al., 2022). Siklus termodinamika ini dirancang untuk memindahkan energi panas dari satu area (ruang pendingin) ke area lain (lingkungan eksternal). Proses ini secara berkelanjutan mengubah wujud zat kerja, yang dikenal sebagai refrigeran, dari cair ke gas dan sebaliknya. Keberhasilan siklus ini bergantung pada operasi sinergis dari empat komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator (Haryadi, 2020).



Gambar 2. 1 Sistem Pendingin

Sumber: (Haryadi, 2020)

Pengambilan panas dari suatu benda atau zat dapat dilakukan dengan

berbagai cara disebut proses pendinginan (Erita et al., 2021). Secara garis besar siklus refrigerant adalah sebagai berikut:

a. Kompresi

Dimana *refrigerant* uap dengan tekanan dan temperatur rendah dihisap kompresor dari evaporator, kemudian di dalam kompresor dimampatkan untuk mendapatkan tekanan dan temperature yang tinggi.

b. Kondensasi

Refrigeran uap yang telah dimampatkan lalu didinginkan dikondensor, sehingga terjadi kondensasi dimana refrigerant uap berubah menjadi cair dengan temperatur biasa dan tekanan masih relative tinggi.

c. Ekspansi

Jumlah refrigeran yang mengalir di perkecil untuk mendapatkan jatuh tekan dan diekspansikan yang memungkinkan refrigeran dapat menguap pada tekanan rendah di evaporator.

d. Evaporasi

Proses ini adalah tahapan terakhir pada siklus refrigeran, dimana setelah di ekspansikan atau dikabutkan refrigeran menyerap panas di sekitarnya, sehingga terjadi pendinginan pada evaporator.

2. Komponen Utama Sistem Pendingin

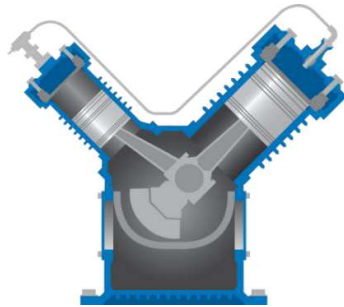
Keempat komponen utama memiliki fungsi spesifik yang saling terkait untuk mencapai efek pendinginan yang diinginkan.

a. Kompresor

Kompresor berfungsi sebagai jantung mekanis dari sistem.

Komponen ini memiliki fungsi vital untuk menghisap uap refrigeran bertekanan rendah dari evaporator dan memampatkannya (Erita et al., 2021). Proses kompresi ini menaikkan tekanan dan suhu uap refrigeran secara signifikan, mempersiapkannya untuk melepaskan panas di kondensor.

Dalam studi kasus di KM. Lambelu, unit yang dianalisis adalah kompresor torak (*reciprocating compressor*) SABROE Tipe BFF5. Tipe ini menggunakan mekanisme piston dan silinder untuk memampatkan gas. Kinerja dan keandalan kompresor torak sangat bergantung pada integritas katup hisap dan katup buang, serta efektivitas sistem pelumasan internalnya.



Gambar 2. 2 *Compressor Reciprocating*
Sumber: <https://fluidairedynamics.com>

b. Kondensor

Setelah dimampatkan oleh kompresor, uap refrigeran panas bertekanan tinggi dialirkan ke kondensor. Kondensor berfungsi untuk merubah freon gas menjadi freon cair dengan proses kondensasi (gas panas refrigeran berubah menjadi cair) dengan tekanan tetap (Saleh & Eka Darmana, 2021). Di dalam kondensor, uap refrigeran melepaskan panasnya ke media pendingin (dalam kasus ini air laut), menyebabkannya terkondensasi dan berubah wujud kembali menjadi

cairan bertekanan tinggi.

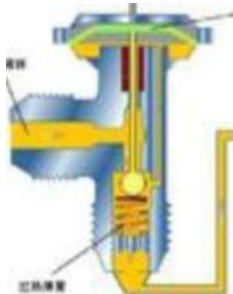
Sistem di KM. Lambelu teridentifikasi menggunakan kondensor tipe *shell and tube* (cangkang dan tabung) merek BITZER Tipe K813HB. Efisiensi kondensor sangat dipengaruhi oleh kebersihan pipa-pipa pendingin dan laju aliran media pendingin air laut.



Gambar 2. 3 Kondesor
Sumber: (Erita et al., 2021)

c. Katup Ekspansi

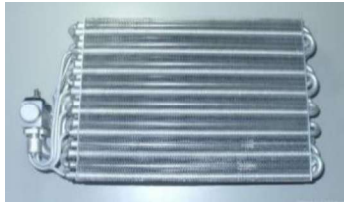
Katup ekspansi merupakan salah satu komponen utama dalam mesin pengkondisian udara yang sedikitnya mempunyai dua fungsi utama yaitu menurunkan tekanan refrigeran cair sekaligus mengatur aliran refrigeran menuju ke evaporator (Wiratmaja et al., 2022). Berdasarkan bukti fotografis, sistem ini menggunakan *Thermostatic Expansion Valve* (TEV) . TEV adalah katup mekanis yang mengatur aliran berdasarkan suhu *superheat* uap refrigeran di keluaran evaporator, yang dideteksinya melalui sebuah *sensor bulb*.



Gambar 2. 4 Katup Ekspansi
Sumber: : id.vrcoolerar.com

d. Evaporator

Evaporator adalah komponen yang secara langsung menghasilkan efek pendinginan di dalam *gandroom*. Refrigeran cair bertekanan rendah dari katup ekspansi masuk ke evaporator dan menyerap panas dari udara di dalam ruangan. evaporator berfungsi sebagai penukar kalor antara refrigeran dan lingkungan luar udara atau air (Haris & D.A, 2018). Sistem di KM. Lambelu menggunakan evaporator tipe *finned tube* (pipa bersirip) yang dilengkapi kipas untuk mempercepat perpindahan panas dari udara ruangan ke refrigeran.



Gambar 2. 5 Evaporator
Sumber: (Erita et al., 2021)

e. *Oil Separator*

Oil separator adalah alat yang terletak di saluran kompresor dan kondensor. Alat ini digunakan untuk memisahkan minyak pelumas kompresor dari uap *refrigerant*. Minyak pelumas pada kompresor terbawa oleh uap refrigerant yang telah di kompresi oleh kompresor (Erita et al., 2021).



Gambar 2. 6 *Oil Separator*
Sumber: <https://castel.it/catalog/product/oil-separators>

f. *Dryer*

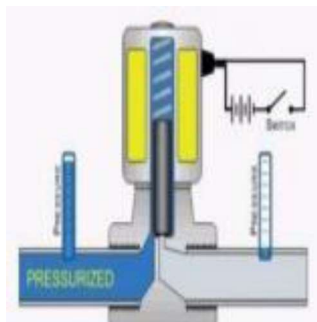
Dryer adalah suatu alat yang digunakan untuk menyerap kandungan air dan kotoran yang terkandung didalam *refrigerant* pada instalasi *refrigeration* (Erita et al., 2021). Alat ini berbentuk tabung yang di dalamnya terdapat bahan pengering atau *dissicant*, saringan kotoran dan penahan supaya bahan pengering tidak terbawa oleh *refrigeran*. Untuk memadatkan bahan pengering pada tabung maka di pasang pegas pada salah satu bagian saringan.



Gambar 2. 7 *Filter Dryer*
Sumber: (Shevchenko et al., 2023)

g. *Electric Selenoid Valve*

Selenoid valve berfungsi untuk mengatur suhu kamar pendingin melalui *thermostatic switch* dengan tabung pengontrol di dalam kumparan atau coil (Saleh & Eka Darmana, 2021). Kemudian lapangan magnet menarik pluyer besi lunak ke atas dan selanjutnya mengangkat klep jarum. Freon mengalir ke evaporator dan melewati katub.



Gambar 2. 8 *Electric Selenoid Valve*
Sumber: (Saleh & Eka Darmana, 2021)

3. Karakteristik Refrigeran R22

Pemilihan refrigeran sangat menentukan parameter operasional sistem (Haris & D.A, 2018). Sistem di KM. Lambelu teridentifikasi menggunakan Refrigeran 22 (R22) atau *Chlorodifluoromethane* (HCFC-22). R22 telah lama menjadi standar industri karena memiliki karakteristik termodinamika yang baik, meskipun penggunaannya kini dibatasi karena dampaknya terhadap lapisan ozon.

Memahami hubungan tekanan-suhu (P-T) R22 sangat krusial untuk diagnosis. Untuk mendinginkan *freezer* hingga suhu -18°C , evaporator harus beroperasi pada suhu didih sekitar -23°C . Berdasarkan kurva saturasi R22, ini menuntut kompresor untuk menjaga tekanan hisap (sisi evaporator) pada sekitar 1.5 Bar (Stoecker & Jones, . Angka ini menjadi basis data kritis untuk evaluasi kinerja.

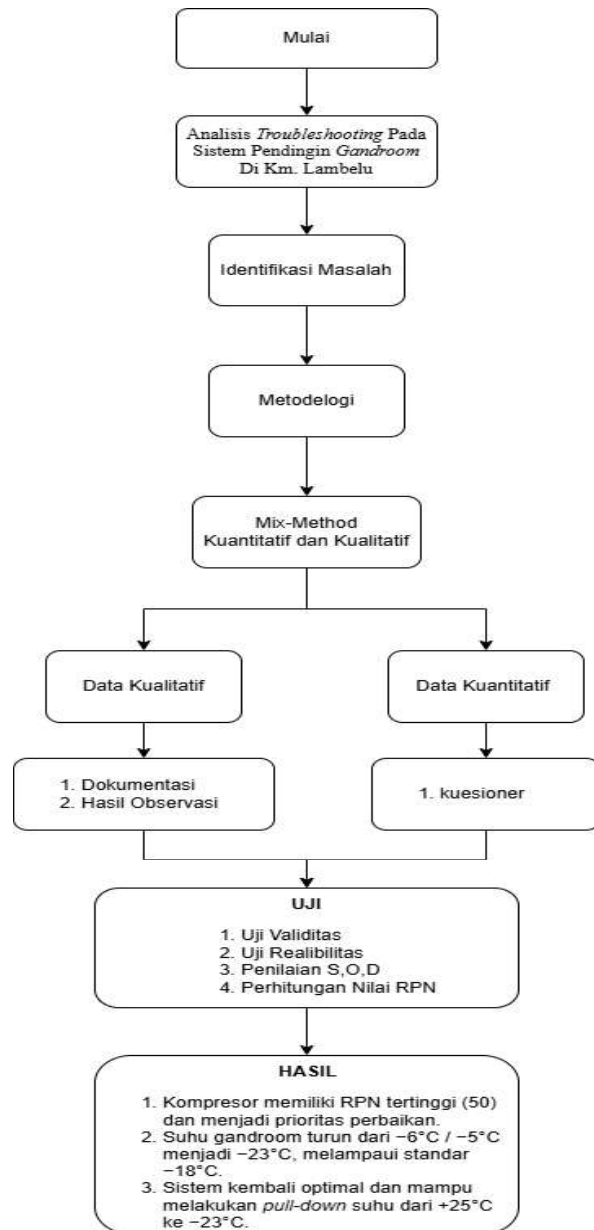
4. Prosedur *Commissioning* (Start-Up) dan *Pull-Down*

Setelah gangguan besar seperti penggantian kompresor, sistem harus melalui prosedur *commissioning* atau penyalaan awal (Djasman & Hermawan, 2022). Bagian terpenting dari proses ini adalah evaluasi kinerja *pull-down*. Tes *pull-down* adalah proses menurunkan suhu ruangan dari kondisi ambien (suhu lingkungan) ke suhu operasional desain (*setpoint*).

Durasi dan kurva *pull-down* adalah indikator utama kesehatan dan kapasitas total sistem. Data *logbook* yang mencatat penurunan suhu dari, misalnya, $+30^{\circ}\text{C}$ menjadi -23°C dalam periode tertentu, bukanlah data *trouble*. Sebaliknya, data tersebut adalah metode standar industri untuk memvalidasi bahwa kompresor baru, kondensor, dan seluruh komponen

sistem bekerja secara sinergis dan efisien.

C. Kerangka Berpikir



Gambar 2. 9 Kerangka Berpikir

Sumber : Diolah Peneliti

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Menurut (Azhari et al., 2023), metode penelitian campuran atau *Mixed Methods* merupakan pendekatan penelitian yang menggabungkan atau menghubungkan bentuk penelitian kualitatif dan bentuk penelitian kuantitatif. Pendekatan ini melibatkan asumsi-asumsi filosofis dan penggunaan pendekatan kualitatif serta kuantitatif dan pencampuran kedua pendekatan tersebut dalam satu penelitian. Metode ini dipilih karena kekuatan gabungan dari kedua metode tersebut dapat memberikan pemahaman yang lebih lengkap mengenai masalah penelitian dibandingkan penggunaan satu metode saja.

Penelitian ini menerapkan desain *Convergent Parallel Design* dalam kerangka studi kasus. Peneliti mengumpulkan data kuantitatif dan kualitatif secara bersamaan kemudian menganalisis kedua set data tersebut secara terpisah dan membandingkan hasilnya untuk melihat apakah temuan-temuan tersebut saling mengkonfirmasi atau tidak. Data kuantitatif digunakan untuk mengukur kinerja suhu sistem pendingin melalui kuisioner sedangkan data kualitatif digunakan untuk mengeksplorasi penyebab kerusakan melalui dokumentasi visual dan observasi.

B. Lokasi dan waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada saat peneliti sedang melaksanakan Praktek Laut atau PRALA di kapal KM. LAMBELU yang dimiliki oleh Perusahaan PT.

Pelayaran Nasional Indonesia atau PELNI Persero. Penelitian ini dilaksanakan selama kurun waktu 12 bulan terhitung mulai tanggal 18 Juli 2024 sampai dengan 20 Juli 2025. Fokus lokasi penelitian berada di kamar mesin khususnya pada instalasi permesinan bantu sistem pendingin gandroom Mesin Es Nomor 2.

C. Sumber Data Subyek Penelitian dan Teknik Pengumpulan Data

1. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu data primer dan data sekunder.

a. Data Primer

Menurut (Undari Sulung, 2024) data primer adalah data yang berasal dari sumber asli atau pertama. Data ini tidak tersedia dalam bentuk terkompilasi ataupun dalam bentuk *file* sehingga harus dicari melalui narasumber atau responden yang dijadikan objek penelitian. (Spradley & Huberman, 2024) juga menegaskan bahwa sumber data primer adalah sumber data yang langsung memberikan data kepada pengumpul data.

Sumber data primer pada penelitian ini dikumpulkan melalui pengamatan langsung atau observasi lapangan terhadap kondisi *real-time* komponen sistem pendingin. Selain itu data primer juga diperoleh dari penyebaran kuesioner kepada perwira mesin untuk mendapatkan penilaian terkait efektivitas *troubleshooting* serta dokumentasi foto kerusakan komponen.

b. Data Sekunder

Menurut (Undari Sulung, 2024) data sekunder merupakan sumber data yang tidak langsung memberikan data kepada pengumpul data misalnya melalui orang lain atau melalui dokumen. Data sekunder adalah data yang mengacu pada informasi yang dikumpulkan dari sumber yang telah ada.

Sumber data sekunder pada penelitian ini dikumpulkan melalui *logbook* harian suhu *gandroom*. Peneliti juga menggunakan *instruction manual book* permesinan *refrigerator* sebagai acuan standar operasional serta catatan riwayat perawatan sebelumnya yang tersedia di atas kapal.

2. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan teknik observasi, kuesioner, dan dokumentasi untuk mendapatkan data yang komprehensif.

a. Observasi

Dari segi proses pelaksanaan pengumpulan data maka observasi dapat dibedakan menjadi *participant observation* dan *non participant observation* (Hasanah, 2017). Dalam penelitian ini peneliti menggunakan *participant observation* dimana peneliti terlibat langsung dalam mengamati objek yang sedang diteliti atau yang digunakan sebagai sumber data penelitian.

Observasi ini bertujuan untuk memantau secara langsung kondisi operasional Mesin Es saat terjadi kegagalan sistem maupun saat proses

perbaikan berlangsung. Peneliti mengamati parameter suhu, tekanan kerja, dan kondisi fisik komponen sistem pendingin.

b. Dokumentasi

Dokumentasi merupakan catatan peristiwa yang telah berlalu yang dapat berbentuk tulisan, gambar, atau karya-karya monumental dari seseorang (Susanto, 2025). Dokumen dapat berbentuk gambar misalnya foto, sketsa, dan lain-lain.

Dalam penelitian ini dokumen yang digunakan berupa foto-foto bukti kerusakan fisik pada piston dan poros engkol kompresor lama serta foto proses instalasi unit baru. Selain itu peneliti juga mendokumentasikan lembar *logbook* suhu harian dan *manual book* sebagai referensi standar teknis.

c. Kuesioner/Angket

Kuesioner atau angket adalah teknik pengumpulan data yang berupa sekumpulan pertanyaan oleh peneliti yang harus dijawab oleh responden sesuai dengan pandangan mereka sesuai kondisi yang terjadi (Nafisatur, 2024).

Kuesioner pada penelitian ini disebarkan kepada responden yang terdiri dari *Chief Engineer*, *2nd Engineer*, *3rd Engineer*, *4th Engineer*, dan *Electrician*. Tujuan penyebaran kuesioner adalah untuk mendapatkan data evaluasi mengenai efektivitas tindakan *troubleshooting* dan kinerja sistem pendingin setelah dilakukan penggantian komponen.

D. Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan campuran yang menggabungkan analisis statistik deskriptif untuk data kuantitatif dan analisis konten untuk data kualitatif.

1. Teknik Analisis Data Kualitatif

Analisis data kualitatif menurut (Spradley & Huberman, 2024), terdiri dari tiga alur kegiatan yang terjadi secara bersamaan yaitu reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan atau verifikasi.

Dalam penelitian ini analisis kualitatif diterapkan pada data dokumentasi foto dan hasil observasi. Peneliti melakukan identifikasi visual terhadap kerusakan komponen pada sistem pendingin dan mengaitkannya dengan teori kegagalan material. Data visual ini digunakan untuk menjelaskan penyebab teknis di balik angka suhu yang abnormal.

2. Teknik Analisis Statistik Deskriptif

Menurut (Subhaktiyasa, 2024) statistik deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi. Teknik ini menyajikan data dalam bentuk tabel, grafik, diagram, dan perhitungan persentase melalui kuisisioner.

Pada penelitian ini teknik analisis statistik deskriptif digunakan untuk mengolah data angka dari hasil kuisisioner. Selain itu data hasil kuisisioner juga diolah secara deskriptif untuk melihat persentase persepsi responden terhadap keberhasilan perbaikan.