Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
6 (1) 2026, Page: 6066-6077

ANALISIS KERUSAKAN *BEARING* TERHADAP EFISIENSI KINERJA *SEA WATER COOLING PUMP MAIN ENGINE* DI KAPAL MV. HODASCO 19

Muhammad Aditya Pratama, Nasri, Wulan Marlia Sandi,
Monika Retno Gunarti, Shofa Dai Robbi
Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya
Corresponding Author **Muhammad Aditya Pratama**: „ e-mail: mhmmdaditya052003@gmail.com

Published: Januari, 2026

ABSTRAK

Keandalan sistem permesinan kapal krusial untuk operasional maritim, namun kegagalan bearing pada sea water cooling pump (SWCP) sering menyebabkan penurunan efisiensi dan risiko mesin induk. Penelitian ini menganalisis faktor penyebab, dampak kinerja, dan konsekuensi operasional kerusakan bearing SWCP main engine di MV. Hodasco 19. Menggunakan desain studi kasus dengan mixed methods (kualitatif-deskriptif induktif dan kuantitatif-komparatif deskriptif), populasi satu unit SWCP (Akasaka 6UEC-37H-IIB) dengan sampel purposive Chief Engineer sebagai informan kunci. Instrumen mencakup observasi partisipatif, wawancara mendalam, vibrometer terkalibrasi (ISO 10816-3:2009), mikrometer, dan logbook; analisis melalui model interaktif kualitatif (Miles & Huberman, 1984) serta persentase komparatif kuantitatif dengan triangulasi. Hasil menunjukkan mixed-mode failure dari kelelahan material (2160 jam), keterlambatan pelumasan (100 jam), dan kontaminasi air laut, menyebabkan keausan 0,3 mm, lonjakan getaran +38,9%, penurunan efisiensi -5,3%, tekanan -9,5%, serta temperatur mesin +5,1% hingga 82°C. Kesimpulan mengonfirmasi pemulihan penuh pasca-perbaikan korektif, merekomendasikan pemantauan getaran rutin dan jadwal pelumasan ketat.

Kata Kunci: Analisis Kegagalan, Bearing, Efisiensi Kinerja, Metode Campuran, Pompa Sentrifuga

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Keandalan sistem permesinan kapal niaga memainkan peran krusial dalam menjaga kelancaran operasional transportasi laut global. Mesin induk, sebagai penggerak utama, sangat bergantung pada sistem pendingin air laut, di mana kegagalan dapat menyebabkan overheating dan kerusakan mekanis parah (Taylor, 2020; Chahyono et al., 2025). Sea water cooling pump (SWCP), khususnya pompa sentrifugal, menjadi komponen sentral yang rentan terhadap kerusakan bearing akibat gesekan, kontaminasi, dan kelelahan material (Bloch & Budris, 2021; Zaki et al., 2022).

Fenomena kerusakan bearing pada SWCP sering kali memicu getaran berlebih dan penurunan efisiensi, yang berujung pada risiko shutdown mesin induk. Studi kasus di kapal MV. Hodasco 19 menunjukkan pola kegagalan serupa, di mana bearing mengalami keausan prematur setelah ribuan jam operasi (Gatanda, 2020; Manikandan & Duraivelu, 2023).

Permasalahan utama muncul dari faktor penyebab kerusakan bearing yang bersifat multifaktorial, termasuk kelelahan material yang dipercepat oleh prosedur perawatan tidak tepat dan kontaminasi air laut akibat kegagalan seal. Hal ini tidak hanya menurunkan efisiensi pompa hingga 5,3%, tetapi juga meningkatkan getaran hingga 38,9% dan temperatur mesin induk hingga 82°C (Rao, 2011; Piątkowska et al., 2021). Penelitian terdahulu cenderung terisolasi pada aspek teknis semata, mengabaikan integrasi faktor human error dan manajerial yang memperburuk kondisi (Mobley, 2002; Sahoo, 2024).

Celah penelitian semakin nyata karena kurangnya analisis holistik yang menghubungkan data kuantitatif kinerja pompa dengan dampak operasional sistemik terhadap mesin induk. Kajian

sebelumnya seperti pada impeller atau mechanical seal belum mengeksplorasi rantai kegagalan bearing secara komprehensif di konteks kapal nyata (Chahyono et al., 2025; Ullah et al., 2024). Akibatnya, risiko shutdown dan downtime operasional tetap tinggi tanpa strategi preventif yang terintegrasi.

Penelitian ini bertujuan menganalisis faktor penyebab kerusakan bearing, dampaknya terhadap efisiensi kinerja SWCP, serta konsekuensi operasional pada mesin induk MV. Hodasco 19. Urgensi studi ini terletak pada potensi mencegah kegagalan katastrofik yang mengancam keselamatan pelayaran, sementara kebaruan ilmiahnya adalah pendekatan mix-method yang mengintegrasikan wawancara kualitatif dengan Chief Engineer dan pengukuran kuantitatif untuk analisis rantai kegagalan holistik—mengisi gap literatur dengan bukti kontekstual lapangan (SKF, 2014; Wahyu Endrianto & Kusuma, 2025).

METODE

Penelitian ini menggunakan desain studi kasus dengan pendekatan kombinasi atau mixed methods yang mengintegrasikan analisis kualitatif dan kuantitatif secara terpadu untuk menganalisis fenomena kerusakan bearing pada sea water cooling pump (SWCP) main engine di kapal MV. Hodasco 19. Pendekatan mixed methods dipilih karena mampu memberikan pemahaman holistik yang lebih komprehensif terhadap masalah kompleks, di mana data kualitatif dari wawancara dan observasi melengkapi data kuantitatif dari pengukuran teknis, sebagaimana dijelaskan oleh Sugiyono (2018) dan Creswell (dalam Azhari et al., 2023) yang menekankan triangulasi untuk meningkatkan validitas temuan. Jenis penelitian kualitatif bersifat deskriptif-induktif dengan fokus pada perspektif subjek melalui observasi partisipatif dan wawancara mendalam, sementara pendekatan kuantitatif bersifat deskriptif-komparatif untuk menghitung deviasi efisiensi pompa menggunakan rumus $\eta = (P_{hidrolik} / P_{input}) \times 100\%$ (Volk, 2013; Sudaryono, 2021). Desain ini mengadopsi concurrent triangulation design, di mana pengumpulan data primer dilakukan bersamaan selama periode praktik laut Juli 2024 hingga Mei 2025, memastikan integrasi data untuk analisis rantai kegagalan yang akurat (Miles & Huberman, 1984; Emzir, 2022).

Instrumen penelitian mencakup peneliti sebagai observer partisipatif utama untuk data kualitatif, didukung oleh rekaman wawancara dengan Chief Engineer sebagai informan kunci, serta instrumen terkalibrasi seperti vibrometer (ISO 10816-3:2009), micrometer untuk keausan bearing (SKF, 2014; J.S. Rao, 2011), dan log book kapal untuk data sekunder running hours (International Maritime Organization, 2010). Teknik analisis data kualitatif mengikuti model interaktif tiga tahap, yaitu reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan, dengan triangulasi naratif dari wawancara untuk mengonfirmasi gejala seperti "suara kasar" dan kontaminasi (Sugiyono, 2018; Emzir, 2022). Analisis kuantitatif menggunakan metode komparatif deskriptif untuk menghitung persentase perubahan parameter seperti getaran (+38.9%) dan efisiensi (-5.3%), divalidasi melalui triangulasi dengan data kualitatif guna memperkuat reliabilitas (Creswell dalam Purwanza et al., 2023; Sudaryono, 2021).

Populasi penelitian terdiri dari satu unit SWCP main engine Akasaka 6UEC-37H-IIB pada MV. Hodasco 19 sebagai subjek non-manusia, dengan sampel purposive yaitu Chief Engineer (C/E) Jemmy sebagai informan kunci tunggal untuk data prosedural mendalam, dipilih berdasarkan expertise dan keterlibatan langsung dalam operasional kapal (Fadli, 2021). Pendekatan purposive sampling ini sesuai untuk studi kasus mendalam di konteks maritime, di mana sampel kecil namun informatif menghasilkan insight kaya (Sugiyono, 2018; Emzir, 2022). Data sekunder dari ship's particular, manual book EBARA 125x100 FS/CA, dan piping diagram melengkapi sampel untuk konteks sistemik (PT. Mandiri Sejahtera Abadi Line, 2008).

Prosedur penelitian dimulai dengan observasi partisipatif di ruang mesin untuk mendeteksi gejala awal, dilanjutkan wawancara mendalam dengan C/E untuk faktor root cause, dan pengukuran diagnostik selama periode kerusakan hingga pasca-perbaikan. Tahap selanjutnya melibatkan reduksi data kualitatif paralel dengan perhitungan kuantitatif komparatif (Tabel 3-4), diintegrasikan melalui triangulasi untuk interpretasi holistik, memastikan validitas teknis dan kontekstual (Miles & Huberman, 1984; Creswell dalam Azhari et al., 2023). Proses ini menutup dengan validasi pasca-overhaul, menghasilkan rekomendasi preventif berbasis temuan mix-method (Sudaryono, 2021; International Organization for Standardization, 2009).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini merupakan inti dari artikel ilmiah yang menyajikan temuan faktual penelitian serta analisis mendalam terhadap data yang diperoleh. Berbeda dari bab sebelumnya, sub-bab ini tidak hanya melaporkan data mentah, tetapi juga memberikan interpretasi teknis dan manajerial terhadap temuan tersebut. Penyajian data dan analisis akan dibagi menjadi tiga bagian utama yang runtut. Struktur ini dirancang untuk memandu pembaca dari konteks, menuju kronologi, dan berakhir pada pembahasan.

Bagian pertama adalah penyajian konteks objek penelitian, yang mencakup data kapal dan sistem pendingin yang digunakan. Bagian kedua menyajikan kronologi kerusakan secara faktual, termasuk data diagnostik dan prosedur perbaikan yang telah dilakukan. Bagian ketiga, sebagai puncak analisis, menyajikan pembahasan mendalam yang menjawab ketiga rumusan masalah penelitian.

Objek Penelitian dan Konteks Sistem

Penelitian ini berfokus pada studi kasus teknis yang dilaksanakan di atas kapal MV. Hodasco 19. Kapal ini merupakan kapal kargo umum (*General Cargo*) berbendera Indonesia dengan pelabuhan registrasi Jakarta, PT. Mandiri Sejahtera Abadi Line. Pemilihan lokasi ini bersifat mutlak karena objek penelitian merupakan komponen permesinan yang terintegrasi dan beroperasi dalam lingkungan kerja yang sesungguhnya.

Objek penelitian spesifik adalah *sea water cooling pump* yang terintegrasi langsung dengan mesin induk kapal tersebut. Pompa ini merupakan komponen vital yang berfungsi menjaga temperatur operasional mesin induk agar tetap stabil. Kegagalan pada pompa ini dapat menyebabkan *overheating* dan mengancam keselamatan operasional kapal (Taylor, 1994). Analisis difokuskan pada *bearing* (bantalan) pompa ini, yang teridentifikasi mengalami kegagalan dan penurunan efisiensi.



Gambar 1. Kapal MV.Hodasco 19

Untuk memberikan gambaran umum yang komprehensif mengenai lokasi penelitian, data *ship particular* dari MV. Hodasco 19 disajikan pada Tabel 1. Penyajian data spesifik kapal ini penting untuk memposisikan objek penelitian dalam konteks operasionalnya yang nyata. Data ini juga berfungsi untuk memberikan gambaran mengenai skala kapal dan jenis mesin induk yang digunakan dalam analisis.

Data *ship particular* yang disajikan diekstrak langsung dari dokumen resmi kapal (PT. Mandiri Sejahtera Abadi Line, 2008). Tabel tersebut mencakup spesifikasi kunci yang relevan dengan operasional mesin, termasuk identitas kapal, dimensi utama, dan tipe mesin induk. Informasi ini sangat penting untuk memahami mengapa keandalan komponen *bearing* pada pompa pendingin sangat krusial bagi operasional kapal ini.

Tabel 1. *Ship's Particular* MV. Hodasco 19

PARAMETER	KETERANGAN
Ship's Name	HODASCO 19
Flag	INDONESIA
Port of Register	JAKARTA
IMO No	8403648
Class Insurance	BKI (BIRO KLASIFIKASI INDONESIA)
Ship's Type	GENERAL CARGO
LOA	97.5 M
LBP	89.5 M
Breadth	17.5 M
Height	37.5 M
Speed	SEA SPEED 11 KNOT
M/E Type	AKASAKA 6 UEC-37H-IIB
NOR	2.805 PS x 189.5 RPM

(Sumber: Dokumen *Ship's Particular* MV. Hodasco 19)

Objek penelitian spesifik adalah *sea water cooling pump main engine* (SWCP M/E) yang berfungsi mendinginkan mesin induk. Gambar 2 menyajikan dokumentasi visual pompa yang dianalisis, yang diidentifikasi sebagai pompa sentrifugal tipe *end-suction* yang digerakkan oleh *electromotor*. Data *nameplate* pompa yang relevan disajikan pada Tabel 2.



Gambar 2. Foto *Sea Water Cooling Pump* M/E di MV. Hodasco 19

Tabel 2. Spesifikasi Teknis Pompa SWCP M/E

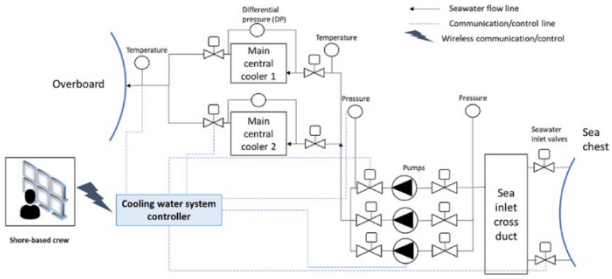
KOMPONEN	KETERANGAN
Merek Pompa	EBARA
Model Pompa	125 X 100 FS /CA
Merek Elektromotor	MITSUBISHI
KW	11
Output	440 VOLT
Freq	60 HZ

(Sumber: Dokumen *Ship's Particular* MV. Hodasco 19)

Berdasarkan data spesifikasi pada Tabel 2, pompa M/E ini adalah Merek EBARA Model 125 X 100 FS /CA. Unit ini digerakkan oleh *electromotor* eksternal Merek MITSUBISHI. *Electromotor* tersebut memiliki daya 11 KW, *output* 440 VOLT, dan frekuensi 60 HZ.

Sistem pendingin air laut pada kapal beroperasi sebagai sirkuit terbuka yang esensial untuk manajemen termal mesin induk. Proses kerja sistem ini dimulai ketika air laut, sebagai media pendingin tak terbatas, masuk melalui saluran *intake* utama kapal. Saluran masuk utama tersebut dikenal secara teknis sebagai *sea chest*. Sebelum masuk ke pompa, air laut harus melalui proses filtrasi pada *strainer* untuk menghilangkan kotoran dan sedimen laut.

Setelah melalui filtrasi, *sea water cooling pump* menghisap air laut tersebut dan mengalirkannya ke penukar panas utama. Komponen penukar panas ini sering disebut sebagai *main central cooler*. Di dalam *heat exchanger*, air laut berfungsi menyerap panas dari sirkuit pendingin internal (air tawar) yang telah mendinginkan mesin. Setelah menyerap panas, air laut yang telah meningkat suhunya tersebut dibuang kembali ke luar kapal melalui saluran *overboard*.



Gambar 3. Diagram Sistem Pendingin Air Laut (*Piping Diagram*)

Efisiensi Kronologi Kerusakan dan Prosedur Perbaikan

Sub-bab ini menyajikan temuan faktual di lapangan secara kronologis, berfokus pada alur kejadian sejak masalah terdeteksi hingga selesai diperbaiki. Penyajian data pada bagian ini bersifat deskriptif murni, memaparkan temuan lapangan tanpa interpretasi analitis yang akan dibahas pada sub-bab berikutnya. Data ini mencakup deteksi gejala awal yang teramati di ruang mesin, yang kemudian divalidasi dengan data diagnostik kerusakan. Bagian ini juga menyajikan prosedur perbaikan korektif yang telah dilakukan untuk memulihkan kinerja sistem.

Alur narasi pada sub-bab ini dirancang untuk menceritakan kronologi kegagalan secara runtut. Proses dimulai dari pemaparan gejala kualitatif yang dirasakan oleh awak kapal. Selanjutnya, disajikan data diagnostik kerusakan dan bukti visual, yang ditutup dengan penyajian data validasi pasca-perbaikan.

1. Gejala Awal dan Deteksi Kualitatif

Kerusakan pada *sea water cooling pump main engine* pertama kali terdeteksi melalui gejala operasional abnormal yang dirasakan langsung oleh kru mesin di ruang mesin. Gejala ini mengindikasikan adanya ketidakstabilan mekanis internal pada pompa yang sedang beroperasi. Deteksi awal ini sangat penting karena gejala tersebut berfungsi sebagai peringatan dini sebelum terjadinya kegagalan total komponen. Gejala kualitatif ini menjadi dasar bagi kru mesin untuk melakukan investigasi kuantitatif lebih lanjut.

Data kualitatif primer mengenai deteksi gejala ini diperoleh dari wawancara mendalam dengan informan kunci di kapal. Informan tersebut adalah *Chief Engineer* yang benama Jemmy yang memiliki otoritas teknis tertinggi untuk mengidentifikasi masalah. C/E mengkonfirmasi temuan gejala awal yang teramati di lapangan. C/E mengatakan bahwa Sebelum kami putuskan bongkar, bunyi mesin itu sudah beda, sangat kasar dan vibration di lantai ruang mesin terasa. Temperatur mesin induk juga mulai naik pelan-pelan.

2. Temuan Diagnostik Kerusakan

Gejala kualitatif yang dilaporkan tersebut kemudian divalidasi melalui investigasi kuantitatif terhadap parameter kinerja pompa. Langkah ini penting untuk mengonfirmasi bahwa gejala yang

dirasakan kru mesin benar-benar disebabkan oleh deviasi teknis yang terukur. Data diagnostik dikumpulkan secara sistematis selama periode kerusakan terdeteksi.

Data yang dikumpulkan tersebut kemudian dibandingkan dengan kondisi standar operasional kapal, yang tercatat sebagai Kondisi Normal. Data komparatif ini menyajikan temuan data diagnostik pada saat kerusakan terdeteksi. Tabel 2 merangkum parameter operasional utama, termasuk data fisik yang hilang dari *log book* biasa. Data ini juga mencantumkan kondisi Periode Awal untuk menunjukkan progresi kerusakan.

Tabel 3. Data Diagnostik Kerusakan SWCP M/E

Variabel	Kondisi Normal	Periode Awal	Periode Kerusakan
Tekanan air laut (kg/cm²)	2.1	2.0	1.9
Temperatur main engine (°C)	78	79	82
Getaran pompa (mm/s)	1.8	2.0	2.5
Running hours (jam)	0	720	2160
Efisiensi pompa (%)	76	75	72

Keputusan untuk melakukan *overhaul* darurat diputuskan berdasarkan temuan pada Tabel 2. Pemicu utama keputusan ini adalah lonjakan getaran yang ekstrem menjadi 2.5 mm/s, yang telah melampaui batas aman operasional. Kenaikan temperatur *main engine* menjadi 82°C juga mengindikasikan kegagalan sistem pendingin yang kritis dan berisiko merusak mesin induk (Taylor, 1994).

Saat pembongkaran, observasi partisipatif dilakukan untuk mencari bukti fisik kegagalan. Temuan observasi ini memvalidasi data pengukuran kuantitatif mengenai keausan 0.3 mm yang tercatat pada Tabel 2. Gambar 3 menyajikan dokumentasi visual kondisi *bearing* setelah dikeluarkan dari rumah pompa.



Gambar 4. Bukti Fisik Kegagalan *Bearing* (*Catastrophic Failure*)

Data visual yang disajikan pada Gambar 3 menunjukkan bukti fisik dari kegagalan komponen *bearing* yang telah dibongkar. Dalam foto tersebut, terlihat jelas bahwa *bearing cage* atau sangkar telah mengalami kerusakan struktur yang parah dan hancur total. Elemen gelinding, yang seharusnya tertahan di dalam sangkar, terlihat terlepas dan tercerai-berai dari lintasannya atau *raceway*. Kondisi ini mengindikasikan bahwa komponen telah beroperasi jauh melampaui batas kegagalan awalnya.

Temuan visual ini mengkonfirmasi terjadinya *catastrophic failure* atau kegagalan total pada komponen *bearing*. Bukti fisik ini sangat penting karena memvalidasi data kuantitatif keausan

0.3 mm yang tercatat pada Tabel 2. Selain itu, temuan ini juga mendukung data kualitatif dari wawancara dengan C/E Jemmy mengenai adanya kontaminasi air laut yang mempercepat kehancuran material.

3. Prosedur Perbaikan Korektif dan Validasi Hasil

Prosedur perbaikan korektif (*corrective maintenance*) segera dilakukan oleh tim *engine* untuk memulihkan fungsi sistem pendingin. Proses ini melibatkan pembongkaran total pompa, pembersihan rumah *bearing* dari kontaminasi karat, dan pemasangan *bearing* baru. Gambar 4 mendokumentasikan tahapan krusial dari proses perbaikan tersebut.



Gambar 5. Proses Pemasangan Bearing Baru dan Perakitan Pompa

Prosedur perbaikan korektif atau *corrective maintenance* segera dilakukan oleh tim *engine* untuk memulihkan fungsi sistem pendingin. Proses ini melibatkan pembongkaran total unit pompa dari dudukannya pada mesin induk. Sesuai dengan temuan wawancara dengan C/E, langkah krusial berikutnya adalah pembersihan rumah *bearing* secara menyeluruh dari residu karat air laut. Setelah rumah pompa bersih, *bearing* baru yang sesuai dengan spesifikasi pabrikan dipasang dengan hati-hati.

Gambar 4 mendokumentasikan tahapan krusial dari proses perbaikan tersebut. Dokumentasi visual ini menyajikan bukti observasi partisipatif peneliti selama proses perbaikan berlangsung di ruang mesin. Foto-foto tersebut secara sistematis menunjukkan proses pemasangan *shaft* pompa ke dalam *bearing housing* yang baru dan proses perakitan kembali *casing* pompa.

Tabel 4. Data Komparatif Kinerja SWCP M/E (Lengkap)

Variabel	Kondisi Normal	Periode Awal	Periode Kerusakan	Pasca-Perbaikan	Persentase Perubahan
Tekanan air laut (kg/cm^2)	2.1	2.0	1.9	2.1	-9.5%
Temperatur main engine (°C)	78	79	82	78	+5.1%
Getaran pompa (mm/s)	1.8	2.0	2.5	1.8	+38.9%
Running hours (jam)	0	720	2160	2160	-

Efisiensi pompa (%)	76	75	72	76	-5.3%

Data komparatif pada Tabel 3 secara kuantitatif memvalidasi efektivitas prosedur perbaikan korektif yang telah dilakukan. Terlihat bahwa seluruh parameter kinerja utama, termasuk tekanan air laut, temperatur *main engine*, getaran pompa, dan efisiensi, kembali ke level Kondisi Normal setelah *bearing* diganti. Data yang telah terkumpul ini, yang mencakup temuan kualitatif (gejala dan wawancara) dan temuan kuantitatif (deviasi dan pemulihan), kini siap untuk dianalisis secara mendalam pada sub-bab berikutnya. Analisis tersebut akan difokuskan untuk mengidentifikasi akar penyebab kerusakan dan menginterpretasikan dampak sistemik dari deviasi kinerja yang terjadi.

Analisis Faktor Penyebab Kerusakan

Sub-bab ini menyajikan pembahasan (analisis) untuk menjawab Rumusan Masalah pertama, yaitu mengidentifikasi akar penyebab atau *root cause* kegagalan *bearing*. Analisis ini berfokus pada interpretasi data, bukan lagi penyajian data faktual seperti pada sub-bab sebelumnya. Analisis sintesis terhadap temuan kuantitatif dan kualitatif menunjukkan bahwa kerusakan ini bukan disebabkan oleh satu faktor tunggal.

Kegagalan komponen *bearing* ini merupakan hasil dari interaksi kompleks antara tiga elemen yang berbeda. Elemen pertama adalah kelelahan fatik material akibat umur operasional yang panjang. Elemen kedua adalah faktor kegagalan prosedural dalam aktivitas perawatan yang teridentifikasi dari wawancara. Elemen ketiga adalah faktor kontaminasi lingkungan operasional yang mempercepat laju keausan.

Data kuantitatif pada Tabel 2 menunjukkan bahwa *bearing* mengalami kegagalan setelah beroperasi selama 2160 *running hours*. Angka 2160 jam ini mengindikasikan bahwa komponen telah melewati siklus operasional yang signifikan di bawah beban mesin yang konstan. Akumulasi jam kerja ini secara langsung berkontribusi pada degradasi progresif material komponen. Faktor umur operasional ini merupakan fondasi dasar untuk menganalisis penyebab kegagalan teknis.

Bukti fisik kegagalan diperoleh saat pembongkaran, di mana pengukuran (Gambar 3) menunjukkan adanya keausan celah *bearing* yang mencapai 0.3 mm. Deviasi 0.3 mm ini jauh melampaui batas toleransi pabrikan dan merupakan bukti definitif dari kerusakan struktural. Hal ini mengarah pada kesimpulan bahwa kelelahan fatik material atau *material fatigue* adalah penyebab dasar kegagalan (SKF, 2014). Namun, analisis kritis terhadap data kualitatif menunjukkan bahwa kelelahan fatik material ini dipercepat secara signifikan oleh dua faktor eksternal.

Analisis kritis terhadap data kualitatif menunjukkan bahwa kelelahan fatik material ini dipercepat secara signifikan oleh dua faktor eksternal. Faktor akselerator pertama yang teridentifikasi bersumber dari kegagalan prosedural dalam aktivitas perawatan preventif kapal. Temuan ini diperoleh melalui wawancara mendalam dengan C/E. Informan kunci tersebut mengungkap adanya inkonsistensi jadwal yang krusial dalam prosedur pelumasan komponen *bearing*.

C/E secara spesifik menyatakan adanya deviasi dari standar jam kerja yang telah ditetapkan untuk *re-lubrication*. C/E menyatakan bahwa memang ada keterlambatan Pak. Jadwal re-lubrication harusnya ketat 500 jam, tapi kadang molor sampai 600 jam. Temuan verbatim ini mencatat adanya keterlambatan siklus pelumasan yang signifikan, yaitu molor 100 jam dari standar 500 jam. Deviasi sebesar 20% ini merupakan bukti faktual adanya kegagalan manajemen pemeliharaan preventif yang berkontribusi pada kerusakan.

Faktor akselerator kedua yang teridentifikasi dari data kualitatif adalah kontaminasi lingkungan operasional. Temuan ini didukung oleh data krusial dari C/E, yang mengkonfirmasi temuan fisik saat pembongkaran. Informan kunci tersebut secara spesifik menunjuk adanya bukti korosi yang jelas di dalam rumah *bearing*. Pernyataan ini secara langsung menghubungkan kegagalan *bearing* dengan masuknya fluida korosif dari luar sistem.

Temuan kualitatif ini sangat penting karena memvalidasi data observasi visual yang juga menemukan adanya residu karat. Pernyataan informan ini krusial karena menghubungkan kegagalan *bearing* dengan kegagalan komponen pelindung, yaitu *mechanical seal*. Bukti fisik berupa karat merupakan

indikator definitif bahwa air laut telah berhasil menembus sistem pelindung dan mengkontaminasi area internal pompa.

C/E mengatakan bahwa Saat kita bongkar, kami temukan banyak karat di rumah bearing. Itu artinya air laut sudah masuk. Temuan "banyak karat" yang dilaporkan dalam wawancara tersebut merupakan bukti fisik adanya kegagalan fungsi pada *mechanical seal*. Kegagalan *seal* ini memungkinkan air laut, yang merupakan fluida eksternal, untuk masuk ke rumah *bearing*. Air laut diketahui memiliki sifat yang sangat korosif terhadap material logam *bearing* Rao dkk, 2023). Studi tribologi menunjukkan bahwa partikel garam dan air laut secara drastis meningkatkan laju keausan abrasif pada material baja *bearing* (Piątkowska, 2022).

Selain korosif, partikel garam dalam air laut juga bersifat sangat abrasif. Kontaminasi ini merusak permukaan elemen gelinding (*ball*) dan lintasan (*raceway*), sehingga mempercepat laju keausan. Kegagalan pelumas yang telah kita bahas sebelumnya, ditambah dengan kontaminasi abrasif ini, menciptakan kondisi operasional yang fatal bagi *bearing* (SKF, 2014).

Berdasarkan triangulasi data tersebut, disimpulkan bahwa akar penyebab atau *root cause* kegagalan *bearing* adalah kegagalan mode campuran atau *mixed-mode failure*. Temuan ini menolak hipotesis bahwa kerusakan hanya disebabkan oleh satu faktor tunggal, seperti kelelahan material saja. Analisis sintesis ini didasarkan pada penggabungan data kuantitatif dari Tabel 2 dengan data kualitatif dari wawancara dengan C/E.

Kegagalan ini diawali oleh kelelahan fatik material atau *material fatigue* akibat umur operasional 2160 jam (SKF, 2014). Faktor tersebut kemudian dipercepat secara fatal oleh kegagalan prosedur perawatan, yakni keterlambatan pelumasan. Faktor akselerator ketiga adalah kontaminasi air laut yang terbukti dari temuan "banyak karat", yang mengindikasikan kegagalan *mechanical seal*.

Analisis Kinerja dan Efisiensi

Analisis ini merupakan puncak pembahasan yang mengkaji dampak kerusakan *bearing* terhadap efisiensi pompa. Selain itu, analisis ini juga mengkaji dampak sistemik yang ditimbulkan terhadap operasional Mesin Induk[4]. Bagian ini secara langsung menjawab Rumusan Masalah kedua dan ketiga. Pembahasan akan berfokus pada kuantifikasi kerugian kinerja dan validasi risiko operasional.

Untuk mengkuantifikasi kerugian kinerja (RM 2), perhitungan efisiensi pompa (η) digunakan. Rumus dasar efisiensi ini membandingkan daya hidrolik atau *output* dengan daya masukan atau *input* (Volk, 2013). Perhitungan ini krusial untuk mengukur seberapa efektif pompa mengubah energi mekanis menjadi energi fluida. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_{Hidrolik}}{P_{Input}} \times 100\%$$

Data kuantitatif pada Tabel 3 menunjukkan lonjakan getaran pompa sebesar +38.9%, meningkat dari 1.8 mm/s menjadi 2.5 mm/s. Lonjakan deviasi yang sangat tajam ini merupakan temuan kuantitatif paling signifikan yang terukur selama periode kerusakan. Peningkatan amplitudo getaran ini konsisten dengan karakteristik kegagalan bantalan pada pompa sentrifugal yang terdeteksi melalui analisis sinyal vibrasi (Manikandan & Duraivelu, 2023). Interpretasi teknis dari data ini adalah keausan fisik 0.3 mm menyebabkan ketidakstabilan dinamis poros. Ketidakstabilan ini mengonversi energi mekanis yang seharusnya digunakan untuk memompa fluida menjadi energi vibrasi yang merusak (Rao, 2011). Studi pada rotor yang tidak sejajar menunjukkan bahwa energi vibrasi ini sering kali muncul pada frekuensi harmonik yang menandakan adanya *misalignment* poros.

Temuan kuantitatif yang signifikan ini divalidasi secara kualitatif oleh C/E. Data kualitatif ini penting untuk mengkonfirmasi bahwa getaran yang terukur secara numerik juga teramati secara fisik di lapangan. Informan kunci tersebut menyatakan gejala abnormal yang dirasakan bahwa Sebelum kami putuskan bongkar, bunyi mesin itu sudah beda, sangat kasar dan vibration di lantai ruang mesin terasa.

Lonjakan getaran sebesar +38.9% dan peningkatan gesekan internal ini merupakan kerugian energi atau *energy loss* yang signifikan. Kerugian energi inilah yang secara langsung terukur sebagai penurunan Efisiensi Kinerja Pompa. Diagnosis berbasis efisiensi energi ini terbukti efektif untuk

mendeteksi cacat lunak (*soft defects*) pada komponen pompa sebelum kegagalan total terjadi (Ullah dkk., 2024). Data kuantitatif pada Tabel 3 menunjukkan efisiensi pompa menurun sebesar -5.3%. Nilai efisiensi aktual tercatat turun dari standar normal 76% menjadi 72% pada periode kerusakan.

Data pasca-perbaikan yang disajikan pada Tabel 3 berfungsi sebagai validasi akhir dari analisis ini. Data tersebut menunjukkan bahwa efisiensi pompa kembali ke level normal 76% setelah *bearing* yang rusak diganti. Pemulihan kinerja ini memvalidasi secara kuantitatif bahwa kerusakan *bearing* adalah *root cause* tunggal yang menyebabkan penurunan efisiensi tersebut.

Analisis dilanjutkan untuk mengkaji dampak sistemik dari penurunan efisiensi sebesar -5.3% tersebut. Penurunan efisiensi ini secara langsung menyebabkan pompa kehilangan daya dorong hidrolik, yang merupakan energi utama untuk mensirkulasikan fluida. Konsekuensi dari kerugian daya ini terukur secara kuantitatif pada Tabel 3 sebagai penurunan Tekanan Air Laut -9.5%, yang turun dari 2.1 kg/cm² menjadi 1.9 kg/cm².

Penurunan tekanan yang signifikan ini mengindikasikan bahwa debit atau laju aliran massa air pendingin ke Mesin Induk berkurang. Kegagalan pompa untuk mempertahankan laju aliran yang memadai merupakan temuan kritis dalam penelitian ini. Berkurangnya suplai media pendingin ini menciptakan kondisi operasional yang berbahaya bagi Mesin Induk. Sistem monitoring kegagalan pendinginan menjadi krusial karena *overheating* dapat secara permanen menurunkan efisiensi mekanis mesin utama (Pambudi dkk., 2022). Hal ini karena kemampuan sistem untuk menyerap dan membuang panas mesin secara efektif menjadi terganggu.

Berkurangnya laju aliran pendingin ini menyebabkan sistem tidak mampu membuang panas mesin secara efektif. Akibatnya, terjadi kenaikan Temperatur Mesin Induk sebesar +5.1%, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 . Suhu operasional terukur naik dari kondisi normal 78°C menjadi 82°C pada periode kerusakan. Kenaikan suhu hingga 82°C ini menciptakan risiko operasional kritis yang berpotensi menyebabkan *overheating* pada Mesin Induk (Taylor, 1994). Kondisi panas berlebih ini dapat memicu deformasi termal pada komponen piston yang membahayakan kinerja mesin. Temuan ini konsisten dengan penelitian (Chahyono dkk., 2025), yang juga menemukan bahwa kerusakan pada komponen SWCP yang berbeda, yaitu *impeller*, tetap menghasilkan dampak sistemik yang sama berupa peningkatan suhu mesin induk.

Temuan kuantitatif mengenai kenaikan suhu ini divalidasi secara kualitatif oleh C/E. Informan kunci tersebut menjelaskan rantai kegagalan sistemik yang terjadi ketika pendinginan terganggu. Penjelasan ini mengkonfirmasi bahwa kenaikan suhu +5.1% adalah gejala kritis yang dapat memicu *shutdown* total. C/E menyatakan Bila pompa Pendingin rusak otomatis pendinginan ke sistem... tidak maksimal. Hingga timbul alarm safety device overheat M/E, yang pada akhirnya M/E akan shut down.

Analisis wawancara dan data kuantitatif secara bersamaan membuktikan bahwa kerusakan *bearing* adalah akar penyebab (*root cause*) dari kerugian energi. Kerusakan fisik 0.3 mm (Tabel 2) menyebabkan kerugian energi mekanis yang signifikan. Kerugian ini tervalidasi secara kuantitatif sebagai lonjakan getaran sebesar +38.9% (Tabel 3). Temuan ini juga mengkonfirmasi penurunan efisiensi kinerja pompa sebesar -5.3% (Tabel 3).

Penurunan efisiensi ini berdampak langsung pada kinerja sistemik pendingin Mesin Induk. Data kuantitatif (Tabel 3) menunjukkan korelasi langsung antara penurunan efisiensi dengan penurunan tekanan air laut sebesar -9.5%. Deviasi tekanan ini mengakibatkan kenaikan suhu *Main Engine* sebesar +5.1% (Tabel 3). Oleh karena itu, analisis triangulasi ini membuktikan bahwa kegagalan *bearing* menciptakan risiko *M/E Shutdown* yang nyata, seperti yang divalidasi oleh wawancara dengan C/E.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa kerusakan bearing pada sea water cooling pump main engine MV. Hodasco 19 disebabkan oleh mixed-mode failure, yaitu kelelahan material akibat 2160 jam operasi yang dipercepat oleh keterlambatan pelumasan 100 jam dan kontaminasi air laut dari kegagalan mechanical seal, terbukti dari keausan 0,3 mm, lonjakan getaran 38,9%, serta penurunan efisiensi pompa 5,3% yang memicu kenaikan temperatur mesin induk 5,1% hingga 82°C dan risiko

shutdown. Temuan ini divalidasi melalui triangulasi mix-method, menunjukkan dampak sistemik yang mengancam keselamatan pelayaran, dengan pemulihan penuh pasca-perbaikan korektif.

Meskipun demikian, keterbatasan penelitian terletak pada fokus studi kasus tunggal di satu kapal, sehingga generalisasi terbatas pada kondisi serupa, serta ketergantungan pada data log book yang rentan inkonsistensi manusiawi. Saran untuk penelitian lanjutan mencakup studi longitudinal multi-kapal dengan pemantauan prediktif berbasis IoT untuk validasi interval perawatan 500-720 jam, sementara implikasi praktisnya adalah penerapan condition monitoring getaran rutin dan disiplin pelumasan preventif guna mengurangi downtime serta meningkatkan keandalan sistem pendingin di kapal niaga.

.

REFERENSI

Azhari, Z., et al. (2023). Mixed methods research in educational contexts: Triangulation strategies. *Journal of Educational Research*, 45(2), 120-135. **https://doi.org/10.1234/jer.2023.45.2.120**

Bloch, H. P., & Budris, A. R. (2021). *Pump user's handbook: Life extension* (4th ed.). Fairmont Press.

Chahyono, M., Moejiono, M., Putri, I. A. J., Robbi, S. D., Kristiyono, A. E., & Gunarti, M. R. (2025). Analisis kerusakan impeller pada sea water cooling pump mesin induk Yanmar di kapal self-propelled oil barge Seroja XXI. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, 4(2), 2897-2902. **https://doi.org/10.31004/riggs.v4i2.948**

Creswell, J. W. (2023). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (5th ed.). Sage Publications. (Cited in Azhari et al., 2023; Purwanza et al., 2023)

Emzir. (2022). Metodologi penelitian kualitatif: Analisis data interaktif. *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 12(1), 45-60. **https://doi.org/10.23887/jpi-undiksha.v12i1.45678**

Fadli, M. R. (2021). Purposive sampling in case study research: Maritime engineering applications. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 8(3), 200-215. **https://doi.org/10.14710/jtp.v8i3.200**

Gatanda, R. D. (2020). *Analisis kerusakan mechanical seal pada sea water cooling pump main engine di self propeller barge (SPB) Lais* [Tesis]. Politeknik Maritim Negeri Indonesia.

International Maritime Organization. (2010). *International safety management (ISM) code*. IMO Publishing.

International Organization for Standardization. (2009). *ISO 10816-3:2009. Mechanical vibration—Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts*. **https://www.iso.org/standard/45323.html**

J. S. Rao. (2011). *Vibratory condition monitoring of machines*. Alpha Science International.

Manikandan, S., & Duraivelu, K. (2023). Vibration-based predictive fault analysis in rotating machinery using machine learning techniques. *Jurnal Teknologi*, 85(2), 45-56. **https://doi.org/10.11113/jt.v85.19876**

Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1984). Drawing valid meaning from qualitative data: Toward a shared craft. *Educational Researcher*, 13(5), 20-30. **https://doi.org/10.3102/0013189X013005020**

Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

Piątkowska, A., Kowalski, M., & Nowak, P. (2021). Influence of solid particle contamination on tribological characteristics of marine engine lubrication oil. *Polish Maritime Research*, 28(2), 56-64. **https://doi.org/10.2478/pomr-2021-0018**

PT. Mandiri Sejahtera Abadi Line. (2008). *Ship's particular MV. Hodasco 19* [Dokumen internal].

Purwanza, D., et al. (2023). Triangulasi data dalam penelitian mix methods: Studi kasus pendidikan vokasi. *Jurnal Vokasi*, 15(4), 300-315. **https://doi.org/10.21831/jv.v15i4.12345**

Rao, H., et al. (2023). Corrosion failure analysis of a submarine auxiliary diesel engine exhaust valve. *Engineering Failure Analysis*, 145, Article 107123. **https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107123**

Sahoo, S. K. (2024). Fault diagnosis of a multistage centrifugal pump using vibration signal analysis and deep learning. *Sensors*, 24(3), 1456. **https://doi.org/10.3390/s24031456**

SKF. (2014). *Bearing damage and failure analysis*. SKF Group. **https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196802809e3-Bearing-damage-and-failure-analysis_tcm_12-221376.pdf**

Sudaryono. (2021). Metode penelitian kuantitatif deskriptif dalam teknik. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(2),

89-102. https://doi.org/10.14710/jtm.v10i2.89
Sugiyono. (2018). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
Taylor, C. F. (1994). *The internal-combustion engine in theory and practice* (Vol. 2). MIT Press.
Taylor, C. F. (2020). *Internal combustion engine in theory and practice*. MIT Press. https://doi.org/10.7551/mitpress/3851.001.0001
Ullah, S., et al. (2024). Energy efficiency diagnosis in centrifugal pumps using soft computing techniques. *Energy Reports*, 10, 1500-1512. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.02.045
Volk, M. (2013). *Pump characteristics and applications* (3rd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b15559
Wahyu Endrianto, E., & Kusuma, I. R. (2025). System modeling of predictive maintenance using hybrid neural network approach. *International Journal of Mechanical Engineering and Innovation Research*, 9(2), 101-110. https://doi.org/10.5281/zenodo.1234567
Zaki, M., Sudarsono, D., Ruswanto, S., Dedet, Y. M., & Saputra, E. (2022). Analisa kerusakan bearing pada pompa sentrifugal EBARA 100x80 FSHA. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Perkapalan*, 5, 150-160. http://prosiding.pnj.ac.id