



Pengaruh Kerusakan *Mechanical Seal* terhadap Kinerja Hidraulik *Steering Gear* di Kapal AHTS Logindo Stamina

Wahyu Ibnu Septian^{1*}, Antonius Edy Kristiyono², Prima Yudha Yudianto³

¹⁻³ Prodi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

Email: wibnu476@gmail.com¹, edyantonius25@gmail.com², prima.yudha.17@gmail.com³

* Penulis Korespondensi: wibnu476@gmail.com

Abstract: *The steering gear is a vital component in ship operations, functioning to control the ship's direction accurately. The reliability of this system highly depends on the performance of the hydraulic system, where the mechanical seal plays a key role in maintaining system pressure and preventing oil leakage. This study aims to identify the main factors causing mechanical seal damage and analyze its impact on the performance efficiency of the steering gear AHTS Logindo Stamina. Qualitative data were obtained through participatory observation and in-depth interviews with the second engineer. Meanwhile, quantitative data were gathered by measuring technical parameters such as oil pressure, operating temperature, and rudder movement time, which were then compared with SOLAS standards. This damage results in oil leakage through the mechanical seal gap, abnormal noise in the hydraulic system, and a significant decrease in working pressure of -25,86%. The operational impacts include the occurrence of steering gear failure alarms, decreased hydraulic efficiency of 25.87%, and the risk of system failure that could endanger ship maneuverability. This study recommends preventive maintenance through oil quality monitoring, environmental condition control in the steering gear room, and periodic mechanical seal replacement in accordance with operational standards to maintaining optimal steering system performance.*

Keywords: *AHTS Logindo Stamina, Hydraulics, Mechanical Seal, Performance, Steering Gear.*

Abstrak: *Steering gear* merupakan komponen vital dalam operasional kapal yang berfungsi untuk mengontrol arah gerak kapal secara akurat. Keandalan sistem ini sangat bergantung pada kinerja sistem hidrolik, di mana seal mekanis memainkan peran kunci dalam menjaga tekanan sistem dan mencegah kebocoran oli. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama penyebab kerusakan seal mekanis dan menganalisis dampaknya terhadap efisiensi kinerja kemudi AHTS Logindo Stamina. Data kualitatif diperoleh melalui observasi partisipatif dan wawancara mendalam dengan teknisi mesin kedua. Sementara itu, data kuantitatif dikumpulkan dengan mengukur parameter teknis seperti tekanan oli, suhu operasi, dan waktu pergerakan kemudi, yang kemudian dibandingkan dengan standar SOLAS. Kerusakan ini mengakibatkan kebocoran oli melalui celah seal mekanis, kebisingan abnormal pada sistem hidrolik, dan penurunan tekanan kerja yang signifikan sebesar -25,86%. Dampak operasionalnya meliputi terjadinya alarm kegagalan kemudi, penurunan efisiensi hidrolik sebesar 25,87%, dan risiko kegagalan sistem yang dapat membahayakan kemampuan manuver kapal. Studi ini merekomendasikan perawatan pencegahan melalui pemantauan kualitas oli, pengendalian kondisi lingkungan di ruang kemudi, dan penggantian seal mekanis secara berkala sesuai dengan standar operasional untuk menjaga kinerja sistem kemudi yang optimal.

Kata Kunci: AHTS Logindo Stamina, Kinerja, Mechanical Seal, Sistem Hidraulik, Steering Gear

1. PENDAHULUAN

Perubahan teknologi menjadikan perilaku kehidupan manusia yang berhubungan dengan kehidupan selalu diperbaharui dan menyesuaikan dengan kondisi maupun keadaan. Dari sekian banyaknya ilmu teknologi di bidang perpindahan energi yang sudah ada, teknologi hidrolik merupakan salah satu energi yang mempunyai perkembangan cukup pesat, salah satunya dalam dunia pelayaran yang digunakan untuk mempermudah dalam pergerakan kapal. Pada masa lalu manusia menggerakkan benda berat dengan pemakaian sudu sudu air maupun

secara manual menggunakan tenaga mereka, tetapi tiga atau empat dekade ini penggunaan energi *fluida* untuk menggerakkan dan mengontrol gerakan yang rumit dan kompleks terbukti paling pesat dan maju dalam perkembangannya.

Sistem hidraulik merupakan teknologi yang penting dalam berbagai industri dan aplikasi, yang memungkinkan untuk menggerakkan komponen-komponen mekanis dengan kekuatan, akurasi, dan efisiensi yang tinggi. Sistem ini merupakan suatu inovasi dalam pemindahan daya dengan memanfaatkan *fluida* cair/minyak hidraulik sebagai media penghantarnya untuk mendapatkan daya yang lebih besar dari daya awal yang dikeluarkan, dimana tekanan penghantar ini dinaikan tekanannya oleh pompa pembangkit tekanan yang kemudian diteruskan ke silinder kerja melalui suatu saluran pipa dan katup. Salah satu pemanfaatan energi hidraulik yang di aplikasikan dalam bidang teknik mesin adalah dalam sistem gerak kapal. Dalam penggunaannya sistem hidraulik memerlukan pengecekan dan perawatan guna memastikan kondisi *steering gear* dalam keadaan baik, diantaranya adalah dengan melakukan pemeriksaan secara rutin. Salah satu komponen penting dalam sistem hidraulik adalah *mechanical seal*, yang berfungsi mencegah kebocoran oli dan menjaga tekanan tetap stabil. Kerusakan pada *mechanical seal* dapat menyebabkan penurunan tekanan, kebocoran internal, dan meningkatkan gesekan dalam sistem, sehingga efisiensi hidraulik menurun, sehingga berakibat pada terancamnya keamanan dan keselamatan awak kapal. Keselamatan dan keamanan menjadi faktor penting yang harus diperhatikan, sebagai dasar, dan tolak ukur bagi pengambilan keputusan dalam menentukan kelayakan pelayanan kepada masyarakat dan bidang transportasi laut (Gunarti & Sugiarto, 2019)

Dengan alasan tersebut maka penulis terdorong untuk membuat penelitian dan menyusun skripsi ini dengan judul sebagai berikut ***“PENGARUH KERUSAKAN MECHANICAL SEAL TERHADAP KINERJA HIDRAULIK STEERING GEAR DI KAPAL AHTS LOGINDO STAMINA”***

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Pendekatan kualitatif digunakan dalam kerangka utama untuk menjawab rumusan masalah yang bersifat eksploratif dan analitis, yaitu mengidentifikasi faktor-faktor penyebab dan mendeskripsikan dampak-dampak operasional (Sugiyono, 2018). Penelitian dilakukan secara langsung di atas kapal AHTS Logindo Stamina di laut Cina Selatan. Pemilihan lokasi ini bersifat mutlak karena objek penelitian merupakan komponen permesinan yang terintegrasi dan beroperasi dalam lingkungan kerja yang sesungguhnya. Penelitian akan dilaksanakan ketika peneliti

melaksanakan praktek laut di atas kapal selama kurang lebih 1 tahun. Proses pengumpulan data dilaksanakan pada saat praktek laut dalam rentang waktu dari 07 Juli 2024 sampai tanggal 21 Juli 2025. Objek utama penelitian ini adalah satu unit *Steering gear* di kapal AHTS Logindo Stamina.

Teknik pengumpulan data penelitian ini menggunakan metode kualitatif yaitu observasi partisipatif, Wawancara mendalam, Dokumentasi, sedangkan metode kuantitatif yaitu pengukuran tekanan oli hidraulik, pengukuran *temperature* oli hidraulik, pencatatan waktu gerak daun kemudi (*Rudder movement time*), pencatatan *running hours*, perhitungan efisiensi hidraulik, dan pengukuran kondisi fisik komponen Teknik analisis data penelitian ini menggunakan analisis data kualitatif yang meliputi Reduksi data (*Data reduction*), Penyajian data (*Data display*), Penarikan kesimpulan (*Consulsion drawing/verification*). Pada analisis data kuantitatif sederhana (efisiensi kerja) meliputi, Perhitungan Efisiensi Hidraulik, Analisis komparatif (Gap Analysis / Presentase Perubahan), Komparasi Validasi Tiga Periode

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Sub-bab ini menyajikan temuan murni yang diperoleh peneliti dari lapangan melalui teknik kualitatif (wawancara dan observasi) dan kuantitatif (pengukuran dan dokumentasi).

Hasil Temuan Data Kualitatif (Faktor dan Dampak)

Temuan data kualitatif diperoleh dari wawancara mendalam (*In-depth Interview*), Observasi partisipatif dan dokumentasi yang berfokus dalam identifikasi faktor penyebab, mekanisme kerusakan, dan dampak operasional hidraulik *steering gear*.

Pada wawancara mendalam

Pengetahuan dasar sistem hidraulik dan *mechanical seal* menunjukkan bahwa *second engineer* memahami variasi tipe *mechanical seal* dan jenis hidraulik *steering gear* yang umum digunakan di kapal. Informan juga secara spesifik mengidentifikasi konfigurasi pompa di kapal yang bersangkutan, yaitu hidraulik yang menggunakan *double seal* serta *steering gear* dengan tipe *twin*. Informasi ini secara faktual mengkonfirmasi desain mekanis hidraulik yang diteliti serta sangat bergantung pada *steering gear* untuk beroperasi.

Pada identifikasi faktor penyebab kerusakan menunjukkan adanya dua faktor utama penyebab kerusakan *mechanical seal* pada hidraulik *steering gear*, yaitu praktik perawatan oli hidraulik yang tidak sesuai prosedur serta tingginya *running hours* yang menyebabkan keausan komponen. Verbatim ini secara eksplisit mencatat adanya inkonsistensi jadwal perawatan pelumasan yang melampaui batas standar 5.000 jam dan adanya bukti fisik partikel kotoran

yang teramati saat pembongkaran. Temuan ini secara faktual mengindikasikan bahwa adanya penyimpangan prosedural pada pelaksanaan perawatan dan kegagalan pada fungsi oli hidraulik sebagai pelindung keausan.

Pada gejala dan konsekuensi kerusakan dini menegaskan bahwa perubahan suara menjadi kasar dan tetesan oli yang keluar dari celah *mechanical seal* adalah indikasi fisik yang valid dari kerusakan *mechanical seal* di AHTS Logindo Stamina. Informan ini juga menekankan bahwa kerusakan *mechanical seal* yang berlanjut memiliki potensi resiko kerusakan sekunder (*secondary damage*) yang parah, yaitu kegagalan pada hidraulik. Kerusakan ini mengancam *downtime* yang lama dan membebani biaya perbaikan.

Pada Dampak terhadap *steering gear* dan keandalan sistem menjelaskan tahapan kegagalan sistematis. Kegagalan *mechanical seal* menyebabkan sistem hidraulik tidak bisa bekerja sepenuhnya, yang berujung pada penurunan level oil, tekanan, dan *over heating* dan akhirnya menyebabkan *steering gear shut down*. Keterangan ini memperkuat temuan bahwa kegagalan satu komponen dapat mengancam keandalan operasional kapal secara keseluruhan.

Terakhir pada Rekomendasi perawatan preventif menegaskan perlunya peningkatan kepatuhan pada perawatan preventif (pelumasan) dan meningkatkan efektifitas pemantauan kondisi (*condition monitoring*) rutin terhadap parameter kritis (tekanan, suara, suhu) sebagai strategi utama untuk mencegah terulangnya kerusakan *mechanical seal*.

Hasil Observasi dan Dokumentasi

1. Bukti fisik kegagalan komponen (*Failure analysis*)

Observasi partisipatif dan dokumentasi primer difokuskan pada bukti kegagalan *mechanical seal*. Bukti ini diperoleh setelah hidraulik dibongkar oleh *engineer* sebagai tindak lanjut atas gejala suara menjadi kasar serta terdapat tetesan oli pada *mechanical seal*.



Gambar 1 Kondisi kerusakan *mechanical seal*.

Sumber : Dokumen Penelitian

Data visual pada dokumentasi 1 menunjukkan kondisi *mechanical seal* warna hitam yang sudah rusak pada hidraulik *steering gear* kapal AHTS Logindo Stamina. Ini adalah bukti visual definitif dari *catastrophic failure* (kegagalan total).

2. Prosedur perbaikan korektif (*Corrective maintenance*)

Observasi partisipatif peneliti juga mencatat prosedur perbaikan korektif darurat yang dilakukan oleh kru mesin untuk mengganti komponen yang rusak. Proses ini melibatkan pembongkaran pada hidraulik, pembersihan rumah *mechanical seal* dari kotoran yang menempel, dan pemasangan *mechanical seal* yang baru.



Gambar 2 Pemasangan *Mechanical Seal* Pada Hidraulik *Steering Gear*.

Sumber : Dokumen Penelitian

Dokumentasi 2 menyajikan tiga foto yang merekam tahapan krusial dari proses perbaikan *mechanical seal* pada hidraulik *steering gear* di kapal AHTS Logindo Stamina. Foto-foto tersebut secara sistematis menunjukkan proses:

- a) Pelepasan hidraulik dari *steering gear* kapal.
- b) Proses pelepasan *mechanical seal* dari hidraulik dan pembersihan bagian bagian hidraulik.
- c) Pengerjaan detail pada pemasangan *mechanical seal* dan hidraulik yang telah dibongkar.

Hasil Temuan Data Kuantitatif (Pengukuran Kinerja)

1. Ringkasan Data Pengukuran Variabel Utama

Temuan data kuantitatif utama diringkas dalam tabel komperatif, serta mencantumkan presentase perubahan antara kondisi normal dan periode kerusakan.

Tabel 1 Data Pengukuran Variabel Utama Sebelum Perbaikan.

Variabel	Kondisi Normal	Periode Awal	Periode Kerusakan	Persentase Perubahan
Tekanan oli hidraulik	60.7	58.3	45	-25,86%

(Bar)				
Temperature Oli hidraulik (°C)	42	48	62	+47,62%
Respon gerak (s)	23	27	29	+26,09%
Running hours seal (jam)	0	7.000	9.000	-
Efisiensi hidraulik (%)	100	96.04	74.13	-25.87%
Kondisi fisik seal (mm)	0.0	0.1	0.3	-

Sumber: Dokumentasi Pengukuran

2. Deskripsi Data Kuantitatif

a) Tekanan oli hidraulik (*pressure*)

Tekanan kerja normal, berdasarkan spesifikasi teknis dan data operasional historis adalah 60.7 Bar. Pada periode kerusakan, hasil pembacaan *pressure gauge* menunjukkan penurunan tekanan menjadi 45 Bar. Penurunan ini menunjukkan selisih (deviasi) negatif sebesar 25.86% dari kondisi normal.

b) Suhu oli hidraulik (*temperature*)

Suhu normal oli hidraulik *steering gear* sesuai dengan *log book* dan panduan operasional adalah 42°C. Pada periode kerusakan, tercatat peningkatan suhu yang signifikan menjadi 62°C. Data ini diperoleh dari pemantauan rutin tim mesin dan mejadi salah satu pemicu utama dilakukannya pemeriksaan pada sistem pendingin. Pasca-perbaikan, suhu oli hidraulik kembali stabil di angka 42°C.

c) Respon Gerak

Berdasarkan hasil pengukuran waktu respon gerak *steering gear*, pada kondisi normal waktu olah gerak kemudi dari 35° ke 30° tercatat sebesar 23 detik, sehingga masih memenuhi persyaratan kinerja sesuai ketentuan (*International Maritime Organization, 2020*) yang mensyaratkan waktu tidak melebihi 28 detik. Saat terjadi kerusakan *mechanical seal*, waktu respon meningkat menjadi 29 detik, melebihi batas standar yang telah ditentukan. Hal ini disebabkan oleh kebocoran internal yang menurunkan tekanan efektif sehingga pergerakan kemudi menjadi lebih lambat dan sudah masuk dalam kategori “waspada” yang mengindikasikan perlunya inspeksi lebih

lanjut. Setelah penggantian *mechanical seal*, respon waktu gerak kembali normal menjadi 23 detik.

d) *Running Hours*

Pada kondisi normal, *mechanical seal* yang baru dipasang memiliki *running hours* 0 jam. Data *log book* menunjukkan bahwa kerusakan terdeteksi setelah komponen beroperasi selama 11.000 jam.

e) Efisiensi hidraulik

Efisiensi normal hidraulik diperkirakan berada di angka 100%. Pada periode kerusakan, akibat adanya kerugian energi karena tekanan dan gesekan, efisiensi diestinasikan menurun menjadi 74.13%. Pasca-perbaikan, dengan hilangnya sumber kerugian energi, efisiensi kembali ke level 100%.

f) Kondisi fisik komponen

Pada kondisi normal, *mechanical seal* baru memiliki celah internal 0 mm diukur dari (baseline). Setelah dibongkar pada periode kerusakan, pengukuran dengan mikrometer menunjukkan adanya keausan dan peningkatan celah sebesar 0.3 mm, yang menjadi bukti fisik kerusakan.

Dengan demikian kelima variabel tersebut memberikan landasan yang komprehensif untuk menganalisis pengaruh kerusakan *mechanical seal* hidraulik, yang akan diperdalam melalui analisis data pada bagian berikutnya.

4 PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan *mechanical seal* pada hidraulik *steering gear* di AHTS Logindo Stamina memiliki dampak signifikan terhadap kinerja *steering gear*. Kondisi ini menjadi dasar untuk menganalisis faktor penyebab dan dampaknya terhadap kinerja *steering gear*. Berdasarkan hasil pengamatan langsung, terlihat adanya pola degradasi yang konsisten seiring dengan bertambahnya *running hours*, yang dapat menjadi indikator penting dalam pemeliharaan preventif. Dari penelitian ini, analisis akan difokuskan pada faktor-faktor yang memicu kerusakan *mechanical seal* serta berdampak terhadap operasi hidraulik *steering gear*.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, ditemukan bahwa faktor yang mempengaruhi kerusakan *mechanical seal* pada hidraulik *steering gear* meliputi berbagai aspek operasional dan lingkungan yang mempengaruhi kinerja komponen tersebut, meliputi:

1. Masalah Pelumasan

Masuknya partikel keras seperti karat dan serpihan logam kedalam sistem hidraulik menyebabkan gesekan abrasif antara *rod* dan *mechanical seal*. Partikel tersebut mengganggu terbentuknya film pelumas yang stabil, akibatnya koefisien gesek meningkat dan energi mekanis berubah menjadi panas dan menyebabkan kenaikan suhu oli hidraulik dari 42°C menjadi 62°C.

2. Kondisi lingkungan

Kerusakan *mechanical seal* mencapai 0.3 mm akibat kelembaban tinggi dan paparan garam laut yang mempercepat terjadinya korosi. Kandungan garam mempercepat korosi pada *rod* dan *mechanical seal* sehingga permukaan menjadi kasar dan meningkatkan gesekan antar bagiannya.

3. Beban operasi yang tidak sesuai

Penurunan efisiensi hidraulik 25.87% diakibatkan oleh beban berlebih dan pengoperasian *start-stop* secara terus menerus. Operasi tidak stabil ini meningkatkan tekanan mekanis yang menyebabkan degradasi material pada *mechanical seal*, sehingga mempercepat kerusakan.

4. Kesalahan pemasangan

Kesalahan instalasi menyebabkan kerusakan *mechanical seal* karena komponen *mechanical seal* sangat sensitif terhadap ketepatan pemasangan. Ketidaksejajaran pada *shaft* atau *rod*, pemasangan yang tidak rata, *o-ring* yang terjepit atau terlipat serta permukaan yang kotor atau tidak halus dapat menyebabkan tekanan dan gesekan tidak merata pada permukaan *mechanical seal*.

Setelah memahami faktor-faktor penyebab, terlihat bahwa kerusakan *mechanical seal* memberikan dampak nyata pada operasi hidraulik di AHTS Logindo Stamina, antara lain sebagai berikut:

a) Penurunan tekanan oli hidraulik

Tekanan oli hidraulik turun 25.86% dari 60.7 Bar menjadi 45 Bar. Penurunan ini menjadi penghambat aliran oli hidraulik, mengurangi kemampuan hidraulik untuk meningkatkan tekanan oli secara efektif, dan berpotensi menyebabkan kenaikan *temperature*.

b) Peningkatan *temperature* oli hidraulik

Suhu oli hidraulik naik 47.62% dari 42°C menjadi 62°C mencerminkan bahwa hidraulik tidak bekerja secara normal. Kenaikan *temperature* ini beresiko menyebabkan *over heating* dan memperparah kerusakan komponen lainnya.

c) Waktu respon gerak dan efisiensi rendah

Respon gerak *steering gear* meningkat 26.09% dari 23 detik menjadi 29 detik, sementara efisiensi turun 28.87% menjadi 74.13%. Berkurangnya efisiensi hidraulik ini juga sangat berpengaruh terhadap kinerja *steering gear* saat kapal bermuver maupun berlayar.

d) Risiko shutdown mesin dan peningkatan biaya.

Kegagalan *mechanical seal* berpotensi menyebabkan *shutdown* mesin yang mengakibatkan penghentian operasi kapal. Kerusakan ini juga meningkatkan biaya perawatan dan perbaikan mendadak serta penggantian komponen yang signifikan.

Pembahasan ini telah mengungkapkan bahwa kerusakan *mechanical seal* pada hidraulik *steering gear* di AHTS Logindo Stamina dipengaruhi oleh kombinasi faktor operasional seperti pelumasan, beban, dan lingkungan. Secara kolektif menghasilkan dampak seperti penurunan tekanan, peningkatan *temperature*, hingga risiko *shutdown*. Integrasi data pengamatan langsung dan wawancara dengan referensi ilmiah memberikan wawasan komprehensif tentang dinamika kerusakan ini, yang menjadi landasan penting untuk merumuskan strategi pemeliharaan yang efektif serta melakukan perbaikan.

Setelah melakukan perbaikan pada komponen *mechanical seal*, terjadi peningkatan kinerja pada sistem hidraulik *steering gear*. Perbaikan tersebut berdampak pada stabilitas tekanan kerja, penurunan kebocoran oli, serta peningkatan efisiensi sistem secara keseluruhan. Adapun perubahan kinerja sistem hidraulik sesudah perbaikan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2 Data Pengukuran Variabel Utama Sesudah Perbaikan.

Variabel		Periode Awal	Periode Kerusakan	Pasca-Perbaikan	Kondisi Normal
Tekanan hidraulik (Bar)	oli	58.3	45	60.7	60.7
<i>Temperature</i> hidraulik (°C)	Oli	48	62	42	42
Respon gerak (s)		27	29	32	32
<i>Running hours seal</i> (jam)		7.000	9.000	0	0
Efisiensi hidraulik (%)	hidraulik	96.04	74.13	100	100
Kondisi fisik (mm)	<i>seal</i>	0.1	0.3	0	0

Sumber: Dokumentasi Pengukuran

Berdasarkan tabel diatas, data pengukuran variabel utama sesudah perbaikan, dapat diketahui bahwa setelah dilakukan perbaikan komponen *mechanical seal*, seluruh parameter kerja pada sistem hidraulik *steering gear* kembali berada pada kondisi normal. Tekanan oli hidraulik meningkat dari 45 Bar pada periode kerusakan menjadi 60.7 bar, sesuai dengan nilai kondisi normal. *Temperature* oli yang sebelumnya mencapai 62°C turun menjadi 42°C dan kembali stabil pada batas normal. Efisiensi hidraulik juga meningkat signifikan dari 74.13 % menjadi 100 %, sama dengan kondisi standar operasional yang telah ditentukan.

Selain itu, *running hours* pada *mechanical seal* kembali ke 0 jam karena komponen telah diganti dengan yang baru, dan kondisi fisik *mechanical seal* kembali dalam batas toleransi (0 mm). Hal ini menunjukkan bahwa tindakan perbaikan yang dilakukan efektif dalam memulihkan performa sistem hidraulik sehingga kinerjanya kembali optimal dan sesuai dengan kondisi normal operasional kapal

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kerusakan *mechanical seal* pada hidraulik *steering gear* di AHTS Logindo Stamina dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu masalah pelumasan, pengaruh lingkungan kerja, beban berlebih serta pola operasi yang tidak sesuai spesifikasi, serta kesalahan dalam proses pemasangan. Faktor-faktor tersebut saling berkaitan dan berkontribusi terhadap percepatan keausan permukaan *mechanical seal*, hingga terjadinya kebocoran pada sistem.

Dampak yang ditimbulkan akibat kerusakan *mechanical seal* terhadap kinerja hidraulik *steering gear* terlihat secara signifikan melalui penurunan tekanan oli hidraulik, peningkatan suhu oli akibat gesekan dan kurang optimalnya pelumasan, serta melambatnya waktu respon gerak kemudi yang berdampak pada rendahnya efisiensi sistem. Dalam kondisi yang lebih lanjut, kerusakan ini dapat meningkatkan risiko terjadinya *shutdown* mesin dan menimbulkan pembengkakan biaya operasional akibat perbaikan maupun penggantian komponen.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung B Wicaksono. (2014). Sistem Kendali Steering Gear pada Kapal. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Bloch, H. ., & Budris, A. . (2021). Pump User's Handbook: Life Extension (4th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003151807>
- Bloch, H. P. (2019). Mechanical Seals Handbook (5th ed.). Wiley.

- David W Smith. (1984). *Marine auxiliary machinery*. Butterworths & Co (Publisher) Ltd.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-408-01123-5.50011-4>
- Ependi. (2016). *Dasar Teknik Mesin*. Kencana.
- Goenawan, D. (2003). *Manajemen Perawatan*. Yayasan Bina Citra Samudera.
- Gunarti, M. R., & Sugiarto, R. (2019). Pengaruh Penerapan ISM Code Aturan 10 tentang Pemeliharaan Kapal dan Perlengkapannya terhadap Keselamatan Transportasi Laut: Studi Empiris di PT. PELNI (Persero). *Jurnal 7 Samudra*, 3.
<https://doi.org/https://doi.org/10.54992/7samudra.v4i1.61>
- Gunawan, I. (2019). *Metode Penelitian Kualitatif: Teori dan Praktik*. PT Bumi Aksara.
- Handoko. (2021). *Perawatan dan Perbaikan Sistem Hidraulik Kapal*. Deepublish.
- International Maritime Organization. (2020). *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974, as amended (2020 Conso)*. International Maritime Organization.
- John W, C., & David, J. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches (5th ed.)*. Sage Publications.
- John, C. (2015). *Mechanical Seal Handbook*. Smiths Group plc.
- Kasmar, Hasbi, M., & Rachman, A. (2016). Analisis Sistem Hidrolik Pengangkat Pada Alat Berat Jenis Wheel Loader Studi Kasus Dinas Pekerjaan Umum Kab. Bombana. *Enthalpy-Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 1(1), 35-38.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldana, J. (2014). *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook (3rd ed)*. SAGE Publications.
- Mitchell, V. H. (2012). *Mechanical Seals for Pumps: Application Guidelines (2nd ed.)*. Gulf Professional Publishing.
- Moleong, L. J. (2018). *Metodologi Penelitian Kualitatif*. PT Remaja Rosdakarya.
- Prasetyo, D., & Achmad W.Lb, N. (2019). Analisis Kebocoran Minyak Hidraulik Steering Gear LPG/C Gas Walio terhadap Keselamatan Kapal sesuai Hazop. *Jurnal 7 Samudra Politeknik Pelayaran Surabaya*, 4(1), 47-63. <https://doi.org/10.54992/7samudra.v4i1.58>
- Prof. Dr. Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. In Alfabeta.
- Sahir, S. H. (2021). *Metodologi Penelitian*. Penerbit KBM indonesia.
- Saldana, J. (2021). *The Coding Manual for Qualitative Researchers (4th ed.)*. SAGE Publications Ltd.
- Santoso, T. S. (2019). Identifikasi Penyebab Tidak Optimalnya Kerja Steering Gear di MV. Oriental Galaxy. Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.
- Saputra, I. (2017). Analisa Kebocoran Pompa Hidrolik Steering Gear dengan Satu Rudder di Kapal MT Pelita Energi. Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang.

- Semiawan, C. (2019). Metode Penelitian Kualitatif.
- Siyoto, S., & Sodik, M. A. (2019). Dasar Metodologi Penelitian. Literasi Media Publishing.
- Sugiyono. (2018). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Alfabeta.
- Sularso, & Suga, K. (2018). Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Pradnya Paramita.
- Syahputri, A. Z., Fallenia, F. Della, & Syafitri, R. (2023). Kerangka berfikir penelitian kuantitatif. *Tarbiyah: Jurnal Ilmu Pendidikan Dan Pengajaran*, 2(1), 160-166. <https://doi.org/10.64464/tarbiyah.v2i1.25>
- Syahza, A. (2021). Metodologi Penelitian. UR Press (Unri Press).
- Toghraei, M. (2019). Piping and Instrumentation Diagram Development. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119329503>
- Volk, M. (20113). Pump Characteristics and Applications (3rd ed.). CRC Press.
- Yulianto, A. (2020). Analisa Kerusakan Hydraulic Steering Studi Kasus Wheel Loader XGMA XG955H di PT. OSCAR OMEGA. Universitas Muhamadiyah Surakarta.
- Ziliwu, B. W., Situmorang, A. J., & Rambung, R. A. (2021). Perawatan dan Perbaikan Sistem Pendingin Mesin. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, 26(1). <https://doi.org/10.31258/jpk.26.1.1-6>