

Analisis Kerusakan *Solenoid* *Acuator* terhadap Pergerakan *Steering Gear* pada Kapal KMP DLN Nusantara

Anggen Cahya Wira¹, Fajar Pujiyanto^{2*}, Santhi Wilastari³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Rekayasa Permesinan Kapal, Politeknik Bumi Akpelni

*e-mail korespondensi: fajar.pujiyanto@akpelni.ac.id

Abstract

This study investigates the effect of solenoid actuator failure on the performance of the steering gear system of KMP DLN NUSANTARA. The steering gear system converts steering commands from the bridge into rudder movement, ensuring safe and accurate vessel maneuvering. Failure of the solenoid actuator disrupts hydraulic oil flow to the steering actuator, resulting in degraded steering performance. Qualitative descriptive method was employed. Data were collected through onboard observations, interviews with ship personnel, and documentation. The data were analyzed using the Miles and Huberman interactive model, including data reduction, data presentation, and conclusion drawing. The results reveal that solenoid actuator failure is mainly caused by oil seal wear, spring fatigue, internal mechanical resistance, unstable hydraulic pressure, elevated temperature and vibration, hydraulic oil contamination. These conditions reduce steering responsiveness, decrease rudder movement stability and steering angle accuracy, and restrict hydraulic fluid flow. Corrective actions include component disassembly, internal inspection, cleaning, replacement of worn parts, proper reassembly, and functional testing. Preventive measures involve periodic hydraulic oil inspection, scheduled preventive maintenance, and continuous monitoring of steering system operation. The study concludes that the condition of the oil seal, spring, and hydraulic oil significantly influences the reliability of the solenoid actuator and the overall performance of the steering gear system.

Keywords: *hydraulics, steering gear failure, solenoid actuator.*

Abstrak

Penelitian ini menganalisis pengaruh kerusakan solenoid actuator terhadap kinerja sistem steering gear pada KMP DLN NUSANTARA. Sistem steering gear berfungsi mengubah perintah kemudi dari anjungan menjadi pergerakan rudder untuk menjamin kemampuan manuver kapal secara aman. Kerusakan solenoid actuator mengganggu aliran oli hidrolik menuju aktuator kemudi sehingga menurunkan respons dan keandalan sistem. Penelitian menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan teknik pengumpulan data melalui observasi, wawancara, dan dokumentasi. Analisis data dilakukan menggunakan model interaktif Miles dan Huberman yang meliputi reduksi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kinerja solenoid actuator disebabkan oleh keausan oil seal, penurunan elastisitas pegas, hambatan mekanisme internal, tekanan oli hidrolik yang tidak stabil, peningkatan suhu dan getaran, serta kontaminasi oli hidrolik. Kondisi tersebut menyebabkan respons kemudi melambat, pergerakan rudder menjadi kurang stabil, akurasi sudut kemudi menurun, dan distribusi oli hidrolik tidak optimal. Peningkatan keandalan sistem dilakukan melalui inspeksi, pembersihan, penggantian komponen aus, pemasangan kembali sesuai prosedur, serta pengujian kinerja. Selain itu, pemeriksaan kualitas oli hidrolik, penerapan preventive maintenance terjadwal, dan pemantauan kondisi operasi secara berkala diperlukan untuk menjaga keandalan solenoid actuator serta mempertahankan performa steering gear secara optimal.

Kata kunci: *Hidrolik steering gear, Kegagalan sistem, Solenoid aktuator*

PENDAHULUAN

Sistem *steering gear* merupakan salah satu sistem kritis pada kapal yang berfungsi mengubah perintah kemudi dari anjungan menjadi gerakan kemudi, sehingga kapal mampu mempertahankan haluan dan melakukan *manuver* secara aman serta terkendali (Fossen, 2002). Keandalan sistem ini sangat penting, terutama ketika kapal melakukan manuver di perairan terbatas, memasuki atau meninggalkan pelabuhan, maupun menghadapi kondisi yang membutuhkan perubahan arah secara cepat (Fajar, 2025). Gangguan pada *steering gear* dapat menurunkan kemampuan kapal dalam mempertahankan arah dan meningkatkan risiko terhadap keselamatan pelayaran (Sasono, 2022). Pengaturan arah aliran tersebut melibatkan komponen hidrolik dan elektrohidrolik, salah satunya *solenoid actuator* (Tan et al., 2026). Komponen ini menerima sinyal listrik dari sistem kendali dan mengubahnya menjadi gerakan mekanis untuk mengatur katup, sehingga aliran oli dapat diarahkan sesuai perintah kemudi. Kerusakan pada *solenoid actuator* dapat menyebabkan aliran oli tidak berlangsung secara optimal, sehingga mengakibatkan keterlambatan respons, gerakan kemudi yang tidak sesuai perintah, atau bahkan kegagalan fungsi kemudi.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa gangguan pada komponen pengendali aliran hidrolik dapat memengaruhi kinerja *steering gear* (RollsRoyce Ltd, 2021). Tianwen et al dalam analisis kegagalan hydraulic steering gear bahwa deformasi pada *valve plate* pada *solenoid reversing valve* menyebabkan sistem mengalami kegagalan dalam menggerakkan kemudi ke arah tertentu (Zhu et al., n.d.). Hasil tersebut menunjukkan bahwa kerusakan komponen solenoid dapat menghambat distribusi aliran hidrolik dan secara langsung memengaruhi kemampuan sistem kemudi. Tan et al. juga melaporkan kasus *stuck failure* pada sistem *steering gear* kapal akibat gangguan pada rangkaian katup hidrolik (Tan et al., 2026). Kerusakan pada *pilot valve* dan kontaminasi oli hidrolik menyebabkan pergerakan *valve core* terganggu, sehingga katup tidak dapat bekerja secara sempurna dan mengakibatkan kemudi mengalami kondisi macet.

Berdasarkan studi kepustakaan terdahulu, penelitian mengenai kegagalan *steering gear* telah banyak membahas aspek sistem hidrolik, katup, tekanan oli, dan *actuator*. Namun, kajian yang secara khusus menganalisis pengaruh kerusakan *solenoid actuator* terhadap kinerja *steering gear* pada kondisi operasional kapal masih perlu dikembangkan. Kerusakan *solenoid actuator* dapat menjadi gangguan awal yang menyebabkan perubahan respons sistem sebelum berkembang menjadi kegagalan fungsi yang lebih serius. Oleh karena itu, penelitian ini menganalisis pengaruh kerusakan *solenoid actuator* terhadap kinerja sistem *steering gear* pada KMP DLN NUSANTARA. Analisis difokuskan pada identifikasi bentuk kerusakan solenoid actuator, pengaruhnya terhadap aliran oli hidrolik menuju steering actuator, serta dampaknya terhadap respons gerakan kemudi. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar teknis dalam menentukan tindakan pemeriksaan, perawatan, dan pencegahan kegagalan, sehingga keandalan sistem kemudi dan keselamatan operasional kapal dapat dipertahankan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif (Anggraini & Oliver, 2019) untuk menjelaskan kerusakan *solenoid actuator* terhadap pergerakan *steering gear* pada KMP DLN NUSANTARA berdasarkan kondisi di lapangan. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung terhadap parameter *steering system*, wawancara terhadap engineering di kapal, dan dokumentasi berupa data dan foto. Observasi digunakan untuk mengamati kondisi fisik *solenoid actuator*, tekanan oli hidrolik, suhu, getaran, kebocoran *oil seal*, serta respons gerakan *rudder*. Wawancara dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai penyebab kerusakan, dampak terhadap *steering gear*, dan upaya penanganannya.

Dokumentasi digunakan sebagai data pendukung berupa foto pemeriksaan, proses pembongkaran, dan data teknis kapal.

Instrumen penelitian meliputi pedoman observasi, pedoman wawancara, catatan lapangan, serta alat bantu pemeriksaan seperti *multimeter*, *pressure gauge*, *flow meter*, *thermal gun*, dan *manual book solenoid actuator*. Analisis data dilakukan melalui reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Data yang dianalisis mencakup faktor penyebab kerusakan *solenoid actuator*, pengaruhnya terhadap pergerakan *steering gear*, serta upaya pencegahan dan penanganan di kapal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Temuan Lapangan

Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa *solenoid actuator* pada sistem *steering gear* masih dapat beroperasi, tetapi sudah mengalami penurunan performa. Pemeriksaan dilakukan pada kondisi fisik komponen, bagian internal yang berkaitan dengan aktuasi, serta respons sistem kemudi saat dioperasikan. Secara fisik, *housing solenoid actuator* masih terpasang dengan baik dan tidak menunjukkan kerusakan struktural berat. Namun, ditemukan rembesan oli pada bagian *oil seal* yang menunjukkan penurunan kemampuan penyekat. *Spring* tidak patah, tetapi mulai mengalami penurunan elastisitas akibat pemakaian berulang. Hasil pengamatan awal ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengamatan Awal

No	Temuan Lapangan	Dampak ke Sistem	Dugaan Penyebab
1	Rembesan oli pada <i>oil seal</i>	Tekanan/efektivitas aktuasi dapat menurun	Kerusakan <i>oil seal</i>
2	Elastisitas <i>spring</i> menurun	Pengembalian <i>plunger</i> menjadi kurang optimal	Fatigue akibat pemakaian berulang
3	Gerakan <i>plunger</i> kurang halus	Respons aktuasi menjadi lambat	Gesekan atau hambatan mekanis
4	Temperatur <i>coil</i> meningkat	Efisiensi kerja solenoid dapat menurun	Beban kerja dan pemanasan selama operasi
5	Tekanan hidrolik tidak stabil	Gerakan <i>rudder</i> tidak konsisten	Fluktuasi sistem hidrolik
6	Getaran meningkat	Mempercepat keausan komponen	Gangguan mekanis/operasional
7	Terdapat jeda respons <i>rudder</i>	Kemampuan manuver menurun	Penurunan kinerja <i>solenoid actuator</i>
8	<i>Rudder</i> sesekali tertahan	Gerakan kemudi tidak halus	Kombinasi keausan, hambatan mekanis, dan ketidakstabilan hidrolik

Pada beberapa pengoperasian, terdapat jeda antara perintah kemudi dan gerakan *rudder*, bahkan gerakan *rudder* sesekali terasa tertahan sebelum bergerak penuh. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem masih dapat digunakan, tetapi kualitas responsnya sudah menurun akibat gangguan pada *solenoid actuator*.

Hasil Wawancara

Hasil wawancara dengan *Chief Engineer*, *Second Engineer*, dan *Third Engineer* menunjukkan bahwa gangguan pada *solenoid actuator* sistem *steering gear* ditandai dengan respons aktuasi yang melambat, katup tidak langsung bergerak, rembesan oli pada bagian *seal*,

tekanan oli hidrolik yang tidak stabil, peningkatan suhu, getaran yang lebih tinggi, serta gerakan *rudder* yang terasa tertahan dan kurang stabil. Ketiga narasumber menjelaskan bahwa penyebab utama gangguan tersebut berkaitan dengan umur pakai komponen, kondisi oli yang kurang baik, tekanan hidrolik yang tidak stabil, panas, getaran selama operasi, serta keausan pada bagian *oil seal*, *spring*, *plunger*, dan mekanisme internal *actuator*. Kondisi tersebut menyebabkan perpindahan katup tidak sempurna, aliran oli hidrolik menjadi kurang lancar, dan respons kemudi menjadi lebih lambat.

Pembahasan

Faktor Penyebab Kerusakan *Solenoid Actuator*

Hasil observasi, wawancara, dan dokumentasi menunjukkan bahwa kerusakan *solenoid actuator* pada sistem *steering gear* akibat keausan komponen, tekanan oli hidrolik yang tidak stabil, peningkatan suhu dan getaran, kontaminasi oli, serta perawatan yang belum optimal. Gejala awal yang ditemukan meliputi rembesan oli pada bagian *oil seal*, respons aktuasi yang melambat, gerakan *rudder* yang kurang halus, serta getaran yang lebih tinggi pada area *solenoid actuator*.



Gambar 1. Pengecekan Selenoid aktuator *Steering Gear*

Gambar 1 menunjukkan kondisi umum sistem *steering gear* saat dilakukan pemeriksaan terhadap I. Pemeriksaan dilakukan pada bagian luar komponen, area aktuasi, serta bagian yang berkaitan dengan sistem hidrolik. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa gangguan pada *solenoid actuator* tidak dapat dilihat sebagai kerusakan satu komponen saja, tetapi berhubungan dengan kerja sistem *steering gear* secara keseluruhan.

Penyebab dominan adalah keausan *oil seal*. Rembesan oli pada area *seal* menunjukkan penurunan kemampuan penyekatan, sehingga tekanan kerja sistem tidak dapat dipertahankan secara optimal. Kondisi ini menyebabkan perpindahan katup tidak berlangsung sempurna dan respons *actuator* menjadi lebih lambat. Faktor lain penyebab kerusakan kerusakan adalah penurunan elastisitas pegas, hambatan pada mekanisme internal, tekanan oli hidrolik yang tidak stabil, peningkatan suhu dan getaran, serta kontaminasi oli. Pegas yang melemah membuat gerak balik *plunger* menjadi lambat. Hambatan pada *plunger* dan *valve body* menyebabkan perpindahan katup tidak lancar. Tekanan oli yang berubah-ubah menambah beban pada komponen internal, sedangkan suhu dan getaran yang meningkat mempercepat keausan mekanis. Oli yang terkontaminasi partikel halus, air, atau udara juga dapat menghambat gerakan komponen dan menurunkan kestabilan kerja sistem, data ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor Penyebab Kerusakan *Solenoid Actuator*

No	Faktor Penyebab	Indikasi Lapangan	Pengaruh terhadap Sistem
1	Kearausan <i>oil seal</i>	Terdapat rembesan oli	Tekanan kerja sistem menurun
2	<i>Spring fatigue</i>	Pegas mulai lemah	Gerak balik <i>actuator</i> melambat
3	Hambatan mekanisme internal	Gerakan <i>plunger</i> tidak lancar	Perpindahan katup tidak optimal
4	Tekanan oli tidak stabil	Respons aktuasi tidak konsisten	Respons <i>steering gear</i> menurun
5	Suhu dan getaran meningkat	Komponen panas dan bergetar	Kearausan mekanis lebih cepat
6	Kontaminasi oli dan perawatan kurang optimal	Oli kurang bersih dan pemeriksaan belum maksimal	Gesekan meningkat dan kerusakan berulang

Berdasarkan uraian tersebut, faktor penyebab kerusakan *solenoid actuator* pada sistem *steering gear* berasal dari keausan *oil seal*, penurunan elastisitas pegas, serta hambatan pada mekanisme internal. Kerusakan tersebut diperparah oleh tekanan oli hidrolik yang tidak stabil, suhu dan getaran yang meningkat, serta kualitas oli yang kurang baik. Kondisi ini berdampak pada lambatnya respons kemudi, kurang stabilnya gerakan *rudder*, dan tidak lancarnya aliran fluida hidrolik menuju aktuator kemudi.

Pengaruh Kerusakan *Solenoid Actuator* terhadap Pergerakan *Steering Gear*

Kerusakan *solenoid actuator* berpengaruh langsung terhadap pergerakan *steering gear* karena komponen ini berfungsi menggerakkan katup pengarah aliran oli hidrolik menuju aktuator kemudi. Gangguan pada *solenoid actuator* menyebabkan perpindahan katup tidak berlangsung sempurna, sehingga aliran fluida menjadi terlambat atau tidak maksimal. Hasil wawancara dengan awak kapal menunjukkan bahwa gangguan tersebut berdampak pada lambatnya respons kemudi, menurunnya kestabilan gerakan *rudder*, terganggunya aliran oli hidrolik, dan berkurangnya akurasi sudut kemudi.

Dampak pertama terlihat pada penurunan kecepatan respons kemudi. *Solenoid actuator* yang mengalami gangguan tidak mampu merespons perintah secepat kondisi normal, sehingga perpindahan *pilot valve hydraulic* ikut terhambat. Kondisi ini menyebabkan aliran oli menuju aktuator kemudi tidak tersalurkan secara stabil dan gerakan *rudder* menjadi lebih lambat. Dampak berikutnya adalah gerakan *rudder* menjadi kurang halus dan sesekali tertahan sebelum bergerak penuh. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa aktuasi katup pengarah tidak berlangsung konsisten, sehingga distribusi tekanan fluida menuju aktuator menjadi tidak merata.

Gangguan pada *solenoid actuator* juga menyebabkan aliran fluida hidrolik terganggu. Perpindahan *directional valve* yang tidak optimal membuat oli hidrolik terlambat mengalir menuju sisi aktuator yang dibutuhkan. Tekanan aktuasi dapat berkurang atau tidak seimbang, sehingga energi hidrolik tidak tersalurkan secara efisien menjadi gerakan mekanis pada *rudder*. Kondisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Indikasi Terganggunya Aliran Fluida Hidrolik

Indikator	Kondisi Normal	Kondisi Saat Gangguan
Perpindahan <i>directional valve</i>	<i>Directional valve</i> berpindah sesuai perintah <i>solenoid actuator</i> .	<i>Directional valve</i> tidak berpindah secara optimal.
Aliran oli hidrolik	Oli mengalir lancar menuju sisi <i>actuator</i> yang dibutuhkan.	Aliran oli terlambat, tertahan, atau tidak maksimal.
Tekanan aktuasi	Tekanan tersalurkan secara stabil ke aktuator kemudi.	Tekanan aktuasi berkurang atau tidak seimbang.
Gerakan <i>rudder</i>	<i>Rudder</i> bergerak halus dan mengikuti perintah kemudi.	<i>Rudder</i> bergerak lambat, tertahan, atau kurang stabil.

Penurunan performa *solenoid actuator* juga memengaruhi akurasi pergerakan *steering gear*. Gerakan *rudder* tidak selalu mengikuti perintah kemudi secara presisi karena perpindahan katup pengarah tidak berlangsung sempurna. Hasil pemeriksaan menunjukkan adanya deviasi sebesar 6° pada posisi *port side*, sedangkan posisi *starboard side* tidak menunjukkan deviasi. Data tersebut disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Akurasi Sudut *Steering Gear*

Posisi <i>Steering Gear</i>	Sudut Standar	Sudut Aktual	Deviasi Sudut	Keterangan
<i>Port side</i>	270°	276°	6°	Gerakan indikator tidak stabil atau <i>hunting</i> .
<i>Starboard side</i>	90°	90°	0°	Gerakan indikator stabil atau <i>steady</i> .

Berdasarkan uraian tersebut, kerusakan *solenoid actuator* berdampak pada empat aspek utama, yaitu respons kemudi yang melambat, gerakan *rudder* yang kurang stabil, aliran fluida hidrolik yang terganggu, dan akurasi sudut kemudi yang menurun. Sistem *steering gear* masih dapat bekerja, tetapi performanya tidak lagi optimal. Kondisi ini perlu mendapat perhatian karena sistem kemudi berhubungan langsung dengan kemampuan manuver dan keselamatan operasional kapal.

Upaya yang Dapat Dilakukan untuk Mencegah dan Mengatasi Kerusakan *Solenoid Actuator* pada Sistem *Steering Gear*

Upaya pencegahan dan penanganan kerusakan *solenoid actuator* melalui tindakan korektif dan preventif. Tindakan korektif dilakukan ketika komponen sudah menunjukkan gejala gangguan, sedangkan tindakan preventif dilakukan untuk mencegah kerusakan berulang. Hasil observasi dan wawancara menunjukkan bahwa penanganan tidak hanya dilakukan melalui penggantian komponen, tetapi juga melalui pemeriksaan oli hidrolik, kestabilan tekanan kerja, kebersihan komponen, dan pelaksanaan *maintenance* berkala. Pembongkaran komponen dilakukan untuk memeriksa bagian internal seperti *oil seal*, pegas, *plunger*, dan *valve body*. Pemeriksaan tersebut diperlukan karena gangguan pada *solenoid actuator* tidak selalu terlihat dari bagian luar.



Gambar 3. Pembongkaran awal *solenoid actuator*

Gambar 3 menunjukkan proses pembongkaran awal *solenoid actuator*. Bagian penutup *actuator* dilepas untuk melihat kondisi komponen internal yang berkaitan langsung dengan proses aktuasi. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui kondisi *oil seal*, pegas, *plunger*, dan bagian dalam *valve body* sebelum dilakukan pembersihan atau penggantian komponen.

Pemeriksaan difokuskan pada kondisi *oil seal*, pegas, *plunger*, dan ruang kerja *valve body*. *Oil seal* diperiksa untuk mengetahui adanya kebocoran atau penurunan fungsi penyekatan. Pegas diperiksa untuk memastikan elastisitasnya masih baik, sedangkan *plunger* diperiksa agar gerakannya tetap lancar. Komponen yang telah dibongkar kemudian dibersihkan dari kotoran, endapan oli, dan partikel halus. Komponen yang sudah aus, terutama *oil seal* dan pegas, perlu diganti agar kemampuan penyekatan, gerak balik *actuator*, dan perpindahan katup dapat kembali bekerja dengan baik.



Gambar 4. Pemeriksaan dan pembersihan komponen *solenoid actuator*

Gambar 4 menunjukkan proses pemeriksaan dan pembersihan komponen *solenoid actuator*. Pembersihan dilakukan untuk menghilangkan kotoran, endapan oli, dan partikel halus yang dapat menghambat gerakan *plunger*. Langkah ini penting karena hambatan pada bagian internal dapat menyebabkan perpindahan katup tidak lancar dan respons *steering gear* menjadi lambat.

Setelah proses pembersihan dan penggantian komponen selesai, *solenoid actuator* dipasang kembali dengan posisi yang tepat dan kekencangan baut yang sesuai. Sistem *steering gear* kemudian diuji ulang dengan memperhatikan respons aktuasi, kebocoran pada area *seal*, tekanan hidrolik, suhu oli, fungsi alarm, operasi pompa, serta gerakan *rudder* ke arah *port* dan *starboard*. Hasil pengujian ulang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Ulang Sistem *Steering Gear* Setelah Perbaikan

No	Item Pengujian	Standar/Batas	Hasil Pengujian	Status
1	Waktu putar 35° → 30°	≤ 28 detik	26 detik	OK
2	Waktu putar 30° → -30°	≤ 28 detik	27 detik	OK
3	Tekanan hidrolik	80–120 bar	95 bar	OK
4	Kebocoran sistem	Tidak ada kebocoran	Tidak ada kebocoran	OK
5	Alarm tekanan rendah	Aktif	Berfungsi	OK
6	Alarm kegagalan listrik	Aktif	Berfungsi	OK
7	Operasi pompa utama	Normal	Normal	OK
8	Operasi pompa cadangan	Normal	Normal	OK
9	Mode kontrol <i>Bridge</i> dan <i>Local</i>	Berfungsi	Berfungsi	OK
10	Suhu oli hidrolik	≤ 60°C	52°C	OK

Hasil pengujian pada Tabel 4 menunjukkan bahwa sistem *steering gear* dapat kembali bekerja dengan baik setelah dilakukan pembongkaran, pemeriksaan, pembersihan, penggantian komponen, dan pemasangan ulang. Waktu gerak *rudder* masih berada di bawah batas 28 detik, tekanan hidrolik berada pada 95 bar, dan suhu oli hidrolik tercatat 52°C. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tindakan perbaikan dapat mengembalikan respons dan kestabilan kerja sistem kemudi.

Upaya pencegahan dilakukan melalui pemeriksaan oli hidrolik dan *maintenance* berkala. Pemeriksaan oli meliputi volume oli, kebersihan fluida, dan kemungkinan adanya kontaminasi berupa partikel halus, air, atau udara. Perawatan berkala juga perlu mencakup pemeriksaan *oil seal*, pegas, *plunger*, tekanan oli, suhu komponen, getaran, kebocoran, dan fungsi aktuasi. Pemeriksaan rutin dapat membantu mendeteksi gejala kerusakan lebih awal, sehingga gangguan pada *solenoid actuator* tidak berkembang dan tidak memengaruhi kerja *steering gear* secara keseluruhan.

SIMPULAN

Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penurunan kinerja *solenoid actuator* pada sistem *steering gear* KMP DLN NUSANTARA dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu keausan *oil seal*, penurunan elastisitas pegas, hambatan pada mekanisme internal, ketidakstabilan tekanan oli hidrolik, peningkatan suhu dan getaran, serta kontaminasi oli hidrolik. Kondisi tersebut mengakibatkan distribusi aliran oli menuju *steering actuator* tidak optimal, sehingga berdampak pada penurunan respons sistem kemudi, ketidakstabilan pergerakan *rudder*, dan berkurangnya akurasi sudut kemudi. Upaya peningkatan keandalan dilakukan melalui inspeksi kondisi komponen, pembersihan mekanisme internal *solenoid*, penggantian komponen yang mengalami keausan, pemasangan kembali sesuai prosedur, serta pengujian fungsi setelah perbaikan. Selain tindakan korektif, pemeriksaan kualitas dan kebersihan oli hidrolik perlu dilakukan secara berkala untuk mencegah kontaminasi yang dapat menghambat mekanisme *solenoid actuator*. Penerapan *preventive maintenance* secara terjadwal dan pemantauan kondisi operasi, terutama tekanan, suhu, dan getaran, juga diperlukan untuk mendeteksi gejala penurunan kinerja sejak dini. Dengan langkah tersebut, keandalan *solenoid actuator* dapat dipertahankan dan kinerja *steering gear* dapat beroperasi secara optimal serta mendukung keselamatan manuver kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, A. R., & Oliver, J. (2019). Research Methods. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Fajar. (2025). *Analisis Gangguan Kerja Potensiometer Pada Modul Kendali Steering*. 1(2),

141–148.

Fossen, T. I. (2002). Marine control systems. *Book*, 558.
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Marine+Control+Syst+ems#1>

RollsRoyce.ltd. (2021). *Azimuth thrusters Fixed mounted thrusters*. 5.

Sasono, H. N. A. (2022). *Hidrolik Yang Mengakibatkan Kurang Optimalnya Kerja Steering Gear Di Mt . Program Studi Teknik Diploma Iv*.

Tan, X., Ding, Z., Liao, J., & Hao, M. (2026). *Design and Control Strategy Verification of Electro-Hydrostatic Actuator for Ship Steering*.

Zhu, T., Ran, Y., Zhou, X., & Wen, Y. (n.d.). *A Survey of Predictive Maintenance : Systems , Purposes and Approaches*. *Dl*, 1–38.