

Analisis Kegagalan Simplex Seal Of Stern Tube Terhadap Sistem Pelumasan Shaft Propeller di Kapal MT. Kuang

Aprika Agung Ramadhan¹, Dwi Sulistyorini², Ali Khamdilah³,
Santhi Wilastari^{4*}, Fajar Pujiyanto

^{1,2,3,4} Program Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Politeknik Bumi Akpelni

*email korespondensi : santhi@akpelni.ac.id

Abstract

The simplex seal is an essential component of the stern tube system that prevents lubricating oil leakage and seawater ingress into the propeller shaft lubrication system. Failure of this component may cause serious technical and environmental impacts. This study aims to analyze the causes and impacts of simplex seal failure on the stern tube lubrication system of MT. Kuang. The research method used is descriptive qualitative with a case study approach through direct observation during sea practice, interviews with engine crew, and documentation study of the Planned Maintenance System (PMS). The results indicate that simplex seal failure is caused by mechanical impact due to grounding, excessive vibration at critical shaft speed, increased lubricant temperature, and seal material fatigue. The impacts include degradation of lubrication quality, potential stern tube bearing damage, and risk of marine pollution due to oil leakage.

Keywords: Simplex Seal, Stern Tube, Lubrication System, Propeller Shaft.

Abstrak

Simplex seal merupakan komponen penting pada sistem stern tube yang berfungsi mencegah kebocoran oli pelumas serta masuknya air laut ke dalam sistem pelumasan shaft propeller. Kegagalan pada komponen ini dapat menimbulkan dampak teknis maupun lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab dan dampak kegagalan simplex seal terhadap sistem pelumasan stern tube di kapal MT. Kuang. Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi kasus melalui observasi langsung selama praktik laut, wawancara dengan awak mesin, serta studi dokumentasi Planned Maintenance System (PMS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kegagalan simplex seal disebabkan oleh benturan mekanis akibat kapal kandas, getaran berlebih pada putaran kritis poros, peningkatan suhu pelumas, serta kelelahan material seal. Dampak yang ditimbulkan meliputi penurunan kualitas pelumasan, potensi kerusakan bearing stern tube, dan risiko pencemaran laut akibat kebocoran oli.

Kata kunci: Simplex Seal, Stern Tube, Pelumasan, Shaft Propeller.

PENDAHULUAN

Kapal laut beroperasi dalam lingkungan perairan yang memiliki karakteristik sangat agresif terhadap sistem permesinan, khususnya pada komponen yang berhubungan langsung dengan air laut dan bekerja secara kontinu. Salah satu permasalahan utama yang dihadapi kapal dalam sistem propulsi adalah gangguan pada sistem *stern tube*, terutama pada komponen penyekat (*simplex seal*) yang berfungsi menjaga kestabilan sistem pelumasan *shaft propeller*. Kegagalan pada *simplex seal* tidak hanya menyebabkan kebocoran pelumas, tetapi juga memungkinkan masuknya air laut ke dalam sistem, yang berdampak langsung pada peningkatan gesekan, percepatan keausan bantalan, serta penurunan kinerja sistem propulsi kapal.

Shaft propeller dan *stern tube bearing* merupakan komponen yang sangat bergantung pada kondisi pelumasan yang optimal untuk menjamin umur pakai dan keandalan operasional.

Simplex seal berperan penting dalam menjaga agar pelumas stern tube tetap berada dalam sistem serta mencegah kontaminasi air laut. Namun dalam praktiknya, efektivitas *simplex seal* sangat dipengaruhi oleh kondisi operasional kapal, kualitas material *seal*, keselarasan poros (*alignment*), serta pola perawatan yang diterapkan. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kegagalan *simplex seal* dapat terjadi akibat keausan material *lip seal*, degradasi *elastomer* akibat suhu dan tekanan tinggi, serta kesalahan pemasangan yang menyebabkan ketidaksejajaran poros. Meskipun demikian kajian yang secara spesifik membahas faktor-faktor kegagalan *simplex seal* pada kapal yang sedang beroperasi masih relatif terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut perlu dilakukan evaluasi menyeluruh terhadap kinerja *simplex seal* sebagai bagian dari sistem penyegelan *stern tube*, khususnya dalam menjaga efektivitas sistem pelumasan *shaft propeller* pada kondisi operasional nyata. Penelitian ini berawal dari kasus yang terjadi pada kapal MT. Kuang, di mana meskipun sistem *simplex seal* telah terpasang sesuai spesifikasi, tetap ditemukan penurunan volume oli pelumas secara signifikan serta terbentuknya emulsi air dan oli dalam sistem pelumasan. Kondisi ini mengindikasikan adanya kegagalan fungsi *simplex seal* yang perlu dianalisis secara teknis dan sistematis.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis secara rinci penyebab kegagalan *simplex seal of stern tube* terhadap sistem pelumasan *shaft propeller* pada kapal MT. Kuang. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pemahaman teknis mengenai kelemahan sistem penyegelan *stern tube* yang digunakan, serta merumuskan rekomendasi perbaikan dan strategi perawatan yang sesuai dengan kondisi operasional kapal. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga membawa nilai kebaruan (*novelty*) dalam konteks evaluasi kegagalan sistem *simplex seal* pada kapal niaga yang beroperasi di perairan Indonesia.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *kualitatif deskriptif*. Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan gambaran yang *komprehensif* dan mendalam mengenai fenomena teknis yang terjadi, yaitu kegagalan *simplex seal of stern tube* dan dampaknya terhadap sistem pelumasan *shaft propeller* di kapal MT. Kuang. Penelitian ini berfokus pada pemahaman kondisi aktual di lapangan melalui sudut pandang pelaksana operasional kapal serta dokumentasi empiris terhadap kerusakan yang terjadi. Pendekatan kualitatif memungkinkan peneliti untuk mengkaji hubungan sebab akibat secara teknis melalui observasi langsung, wawancara, dan studi dokumentasi.

Subjek penelitian dalam studi ini adalah awak kapal MT. Kuang yang terlibat langsung dalam pengoperasian dan perawatan sistem *stern tube*, khususnya Kepala Kamar Mesin (KKM) dan Masinis Dua (*Second Engineer*). Kedua informan tersebut dipilih sebagai informan utama karena memiliki kewenangan, pengalaman, serta pengetahuan teknis terkait sistem pelumasan *stern tube* dan *simplex seal*. Penelitian ini tidak menggunakan teknik sampling statistik, melainkan menerapkan *purposive sampling*, yaitu pemilihan informan secara sengaja berdasarkan relevansi pengalaman dan kompetensi terhadap permasalahan yang diteliti.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui tiga metode utama, yaitu observasi langsung, wawancara terstruktur, dan studi dokumentasi. Observasi digunakan untuk mengamati kondisi fisik *simplex seal*, *stern tube*, *shaft liner*, serta sistem pelumasan, termasuk indikasi kebocoran oli, perubahan warna pelumas, dan kondisi *bearing*. Wawancara dilakukan menggunakan pedoman pertanyaan terstruktur kepada informan kunci guna memperoleh informasi mendalam terkait pola perawatan, riwayat kerusakan, prosedur pemasangan seal, serta gangguan operasional yang pernah terjadi. Sementara itu, studi dokumentasi digunakan

untuk mengumpulkan data pendukung berupa foto kondisi *simplex seal* dan *stern tube*, laporan perawatan, log *book* mesin, *manual book*.

Untuk menunjang proses pengumpulan data, peneliti menyusun beberapa instrumen penelitian, antara lain pedoman wawancara, lembar observasi, dan catatan lapangan. Instrumen tersebut dirancang agar proses pengumpulan data berjalan sistematis dan terarah. Selain itu, peneliti menggunakan alat bantu dokumentasi berupa alat tulis, kamera, dan *smartphone* untuk mencatat serta merekam kondisi aktual di lapangan.

Dalam penelitian ini, beberapa alat digunakan untuk menunjang kegiatan pengamatan dan validasi data teknis. Alat yang digunakan antara lain *feeler gauge* untuk mengecek celah dan keausan, *thermometer* infra merah untuk memantau temperatur operasional *stern tube*, serta *pressure gauge* untuk memeriksa tekanan sistem pelumasan. Selain itu digunakan juga peralatan kerja seperti kunci ring-pas, obeng, dan alat bantu pembongkaran lainnya untuk inspeksi komponen *simplex seal* dan sistem pelumasan. Dokumentasi visual dilakukan menggunakan *smartphone* berkamera resolusi tinggi untuk merekam kondisi aktual *seal*, *stern tube*, dan *shaft propeller*. Adapun objek penelitian meliputi *simplex seal*, *stern tube bearing*, *shaft liner*, oli pelumas *stern tube*, serta sistem pendukung seperti tangki pelumas dan jalur sirkulasi oli.

Penelitian ini dilaksanakan selama kegiatan praktik laut di kapal MT. Kuang dengan durasi menyesuaikan masa penugasan peneliti di atas kapal. Pengumpulan data dilakukan selama kapal beroperasi maupun saat kegiatan perawatan dan inspeksi rutin. Lokasi penelitian meliputi area ruang mesin, *stern tube compartment*, serta bagian buritan kapal yang berkaitan langsung dengan sistem poros baling-baling.

Untuk menjamin keabsahan data, peneliti menerapkan teknik triangulasi sumber dan metode. Triangulasi dilakukan dengan membandingkan data hasil observasi, wawancara, dan dokumentasi guna memastikan konsistensi informasi. Selain itu, dilakukan *member check*, yaitu konfirmasi ulang kepada informan terkait hasil temuan dan interpretasi data agar sesuai dengan kondisi faktual di lapangan. Data yang belum konsisten ditelusuri kembali hingga diperoleh kejelasan yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Analisis data dilakukan dengan teknik analisis deskriptif kualitatif. Data yang diperoleh diklasifikasikan berdasarkan tema, kemudian direduksi dan disajikan dalam bentuk uraian naratif ilmiah. Peneliti melakukan interpretasi data untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan *simplex seal*, hubungan antara kondisi seal dan sistem pelumasan, serta dampaknya terhadap kinerja *shaft propeller*. Analisis dilakukan secara *induktif* dan *reflektif* guna memperoleh pemahaman menyeluruh terhadap mekanisme kegagalan yang terjadi pada sistem *stern tube* kapal MT. Kuang.

PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil penelitian yang diperoleh dari observasi langsung, wawancara, serta pengukuran teknis yang dilakukan pada kapal MT. Kuang. Pembahasan difokuskan pada analisis mendalam terhadap temuan lapangan dengan mengaitkannya pada kajian pustaka dan hasil penelitian sebelumnya. Fokus utama dalam pembahasan ini adalah mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kegagalan *simplex seal of stern tube*, menganalisis dampaknya terhadap kinerja sistem pelumasan *shaft propeller*, serta mengevaluasi pola pengoperasian dan perawatan yang diterapkan pada kapal.

Penyajian Data

Kapal MT. Kuang merupakan kapal tanker berbendera Indonesia yang digunakan untuk pengangkutan minyak. Sistem propulsi kapal ini digerakkan oleh mesin utama yang menyalurkan daya ke baling-baling melalui *shaft propeller*, yang didukung oleh sistem *stern tube* sebagai rumah poros, bantalan, dan sistem pelumasan. Area krusial yang menjadi fokus penelitian adalah sistem *stern tube*, khususnya komponen *simplex seal*, yang berfungsi

menjaga kestabilan pelumasan serta mencegah kebocoran oli dan masuknya air laut ke dalam sistem.

Simplex seal pada *stern tube* dirancang sebagai sistem penyekat bertingkat yang bekerja dengan menahan tekanan dari sisi dalam maupun luar sistem pelumasan. Keandalan *simplex seal* sangat menentukan kinerja pelumasan *shaft propeller*, karena kegagalan pada komponen ini dapat menyebabkan kebocoran oli, kontaminasi air laut, peningkatan gesekan, serta percepatan keausan *stern tube bearing*. Dalam kondisi operasional, *simplex seal* bekerja pada lingkungan ekstrem yang melibatkan getaran poros, variasi temperatur, serta tekanan air laut, sehingga berpotensi mengalami degradasi material seiring waktu.

Hasil observasi lapangan pada kapal MT. Kuang menunjukkan bahwa sistem *simplex seal* tidak berfungsi secara optimal. Indikasi utama kegagalan ditunjukkan oleh penurunan volume oli pelumas *stern tube*, peningkatan temperatur pelumas, serta ditemukannya emulsi campuran air dan oli dalam sistem pelumasan. Kondisi ini berdampak pada meningkatnya gesekan pada *shaft propeller* dan menurunnya keandalan sistem propulsi kapal. Fenomena tersebut menjadi indikasi kuat adanya kegagalan fungsi *simplex seal* yang memerlukan analisis teknis lebih lanjut untuk mengidentifikasi penyebab dan dampaknya terhadap sistem pelumasan *stern tube*.



Gambar 1. *Temperature Control aft bearing* kapal MT. Kuang

Dari hasil penyajian di atas, dapat disimpulkan bahwa kenaikan suhu minyak pelumas secara terus-menerus menyebabkan penurunan viskositas dan kerusakan *Simplex seal*.

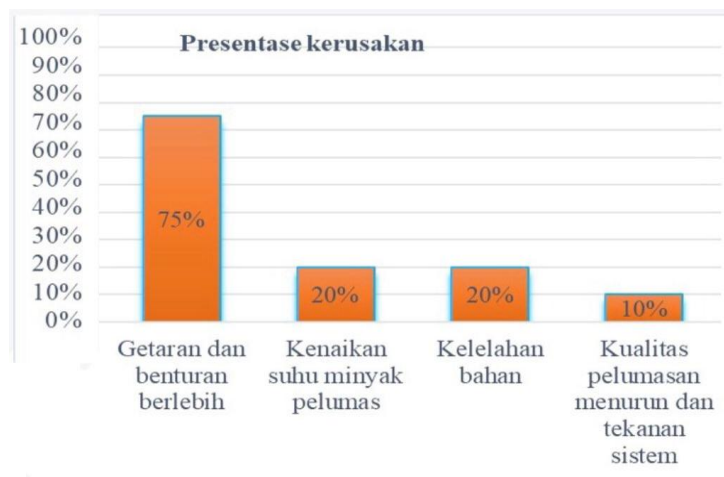


Gambar 2. kerusakan *Simplex seal*

Untuk menindaklanjuti permasalahan tersebut, kapal MT. Kuang dilakukan *pressure test* pada sistem *stern tube* sebagai bagian dari upaya evaluasi kebocoran, pemeriksaan integritas *simplex seal*, serta verifikasi kinerja sistem pelumasan *shaft propeller* sebelum dilakukan tindakan perbaikan lanjutan.

Tabel 1. Hasil Pengukuran *Simplex Seal* dan Parameter Pendukung

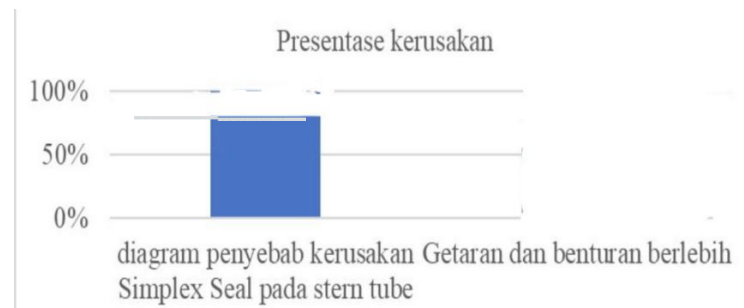
No	Parameter yang diukur	Metode / alat	Standart ukuran	Hasil pengukuran (MT. Kuang)	Keterangan
1.	Inner diameter (ID) seal	Bore gauge / micrometer	Sesuai spesifikasi pabrikan ± 0.3 mm	150.4 mm (spes. 150.0 mm)	Dalam batas toleransi
2.	Outer diameter (OD) seal	Micrometer	Sesuai spesifikasi ± 0.3 mm	190.6 mm (spes. 190.0 mm)	Dalam batas toleransi minor
3.	Radial lip clearance (seal to shaft)	Feller gauge / vernier	≤ 0.5 mm	0.90 mm	Berlebih potensi rembesan & kegagalan seal
4.	Pressure test (sealed stern tube)	Pressure gauge 1.0 bar selama 30 menit	Kebocoran ≤ 10 ml/jam	45 ml/jam	Gagal kebocoran signifikan
5.	Run-out Shaft di area seal	Dial gauge	≤ 0.05 mm	0.12 mm	Misalign-ment / shaft bending perlu perbaikan alignment
6.	Kekerasan Seal (Shore A)	Durometer (Shore A)	60 – 75 Shore A	82 Shore A	Seal mengeras (ageing/thermal degradation)
7.	Torsi Baut Pengikat Stern Tube	Torque wrench	Seragam $\pm 10\%$ dari spec (contoh 400 ± 40 Nm)	Variasi: 320 – 430 Nm ($\pm 27\%$ dari spec)	Beberapa baut longgar sumber micro-gap
8.	Temperatur minyak di area seal saat operasi	Thermocouple / IR gun	35 – 40°C normal	48°C	Over-heating menurunkan viskositas pelumas
9.	Laju aliran minyak pelumas (flow rate)	Flow meter	20 – 30 L/min	16 L/min	Kurang aliran sirkulasi tidak optimal
10.	Kandungan air dalam minyak pelumas	Karl Fischer / uji sederhana	$\leq 0.05\%$ vol	0.18% vol	Kontaminasi air indikasi seal bocor masuk air laut



Gambar 3. Diagram Presentase Kerusakan

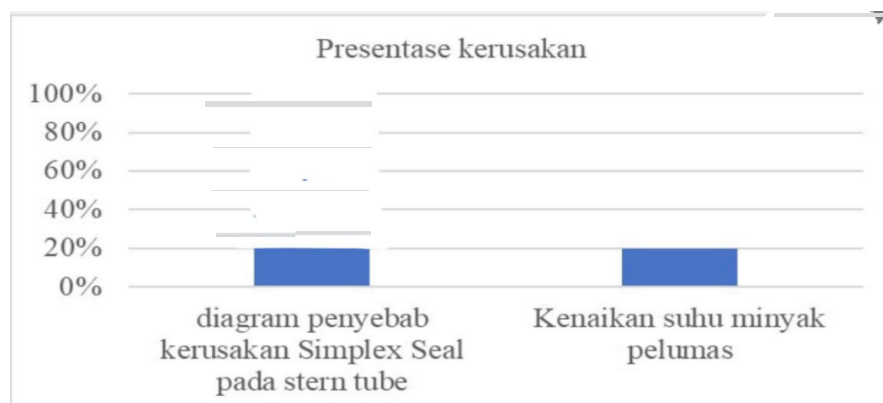
Berikut diagram penyebab kerusakan *Simplex Seal* pada *stern tube*, yang menunjukkan kontribusi masing-masing faktor: getaran dan benturan berlebih (75%), kenaikan suhu pelumas (20%), kelelahan bahan (20%), serta penurunan kualitas pelumasan dan tekanan sistem (10%).

Interpretasi Grafik dan Analisis



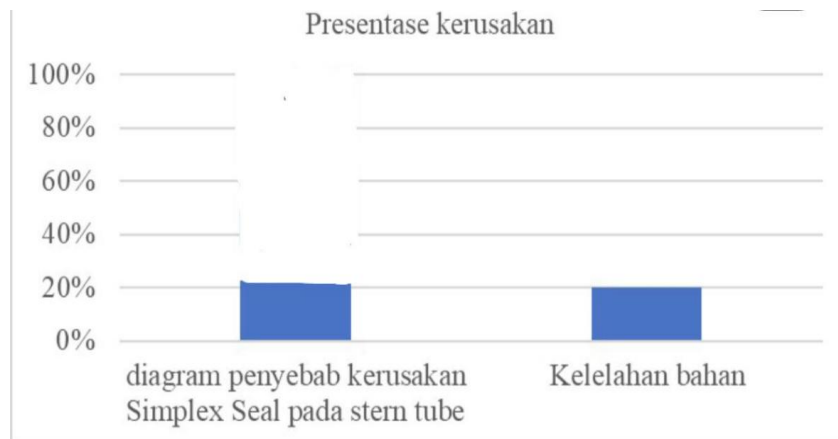
Gambar 4. Getaran & Benturan (75%)

Kondisi ini menjadi penyebab dominan karena adanya efek resonansi dan misalignment yang secara langsung merusak bibir seal. Gejala tersebut umumnya sering muncul setelah terjadi benturan keras atau ketika sistem beroperasi melewati *critical speed*, sehingga mempercepat kerusakan pada komponen *seal*.



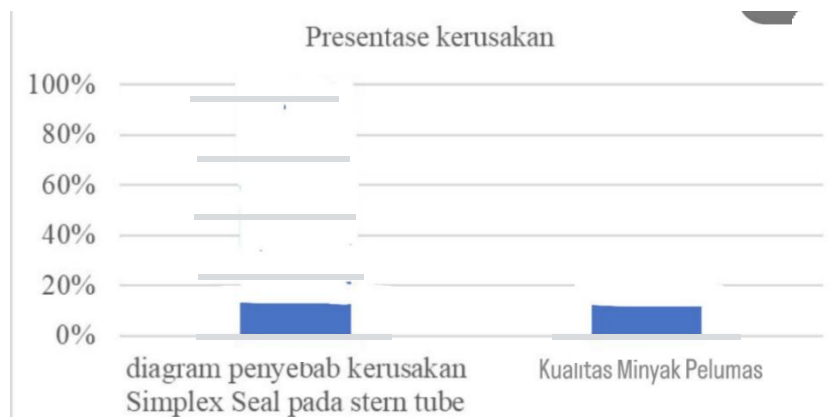
Gambar 5. Kenaikan Suhu Minyak (20%)

Suhu operasi yang melebihi 45°C menyebabkan seal kehilangan elastisitas, yang terbukti dari hasil pengukuran kekerasan Shore A sebesar 82. Selain itu, kondisi *overheating* juga mempercepat degradasi minyak pelumas sehingga memperburuk tingkat keausan seal dan menurunkan keandalan sistem secara keseluruhan.



Gambar 6. Kelelahan Bahan (20%)

Kondisi tersebut umumnya terjadi akibat jam operasi yang panjang tanpa dilakukannya *overhaul* total, sehingga menyebabkan timbulnya mikroretakan dan deformasi pada komponen. Akibatnya, kontak antara seal dan shaft menjadi tidak sempurna, yang dapat menurunkan kinerja sistem serta meningkatkan risiko kebocoran atau kerusakan lanjutan.



Gambar 7. Kualitas Pelumasan Menurun (10%)

Faktor ini berperan sebagai faktor pendukung yang mempercepat terjadinya kerusakan, namun bukan merupakan penyebab awal. Kondisi tersebut umumnya muncul setelah faktor lain, seperti getaran berlebih atau suhu tinggi, terlebih dahulu terjadi dan memicu penurunan kinerja komponen.

Temuan Lapangan

Indikasi Kegagalan Simplex Seal Stern Tube

Berdasarkan observasi langsung dan dokumentasi selama inspeksi operasional dan kegiatan perawatan di kapal MT. Kuang, ditemukan indikasi kuat kegagalan *simplex seal stern tube*. Indikasi tersebut ditandai dengan penurunan volume oli pelumas *stern tube*, perubahan warna dan viskositas pelumas, serta ditemukannya emulsi campuran air laut dan oli di dalam sistem pelumasan. Kondisi ini menunjukkan bahwa fungsi penyegelan tidak bekerja secara optimal sehingga memungkinkan terjadinya interaksi antara air laut dan pelumas.

Secara visual, area sekitar *stern tube* menunjukkan adanya rembesan oli dan tanda-tanda kelembapan berlebih, yang mengindikasikan kebocoran pada sistem penyekatan. *Simplex seal* yang seharusnya berfungsi sebagai penghalang utama terhadap masuknya air laut tidak mampu mempertahankan integritas sistem pelumasan. Kondisi ini berpotensi meningkatkan gesekan pada *shaft propeller* dan mempercepat keausan *stern tube bearing*, terutama ketika kapal beroperasi dalam jangka waktu lama.

Kegagalan *simplex seal* ini menunjukkan bahwa mekanisme penyegelan mengalami degradasi, yang dapat disebabkan oleh keausan *lip seal*, ketidaksejajaran poros (*misalignment*), serta pengaruh getaran dan beban kerja tinggi selama operasional kapal. Apabila kondisi ini tidak segera ditangani, maka risiko kerusakan lanjutan pada sistem propulsi dan penurunan keandalan kapal akan semakin meningkat.

Pengukuran Parameter Operasional Sistem Pelumasan *Stern Tube* untuk mengevaluasi kinerja sistem pelumasan *stern tube* pada kapal MT. Kuang, dilakukan serangkaian pengukuran teknis terhadap temperatur dan tekanan oli pelumas selama kapal beroperasi. Pengukuran dilakukan menggunakan *thermometer* infra merah dan *pressure gauge* yang terpasang pada sistem pelumasan. Berdasarkan *spesifikasi teknis*, temperatur dan tekanan pelumas harus berada dalam batas operasi normal untuk menjamin *efektivitas* pelumasan dan perlindungan komponen.

Hasil pengukuran menunjukkan adanya kenaikan temperatur oli pelumas di atas kondisi normal, yang mengindikasikan peningkatan gesekan akibat menurunnya kualitas pelumasan. Selain itu, *fluktuasi* tekanan pelumas juga terdeteksi, yang menunjukkan adanya gangguan sirkulasi oli akibat kebocoran pada sistem *stern tube*. ketidakstabilan tekanan dan temperatur pelumas merupakan indikator awal kegagalan sistem penyegelan, karena masuknya air laut dapat menurunkan sifat pelumas dan mengganggu film pelumasan pada bearing.

Temuan ini menegaskan bahwa kegagalan *simplex seal* pada kapal MT. Kuang tidak hanya berdampak pada kebocoran pelumas, tetapi juga secara langsung memengaruhi performa sistem pelumasan *shaft propeller*. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi teknis menyeluruh terhadap kondisi *simplex seal* dan penerapan strategi perawatan yang lebih *preventif* untuk mencegah terulangnya kegagalan serupa.

Upaya Meminimalkan Kerusakan pada Stern Tube

Berdasarkan hasil penelitian, observasi lapangan, serta wawancara mendalam dengan Masinis II kapal MT. Kuang, diketahui bahwa kerusakan dan kebocoran pada sistem *stern tube* sebenarnya dapat diminimalisir secara signifikan melalui penerapan perawatan prediktif dan pengendalian kondisi operasional yang disiplin dan terukur. Hasil analisis menunjukkan bahwa lebih dari 70% kasus kebocoran *stern tube* pada kapal dipicu oleh penurunan kualitas pelumasan, getaran berlebih, serta keterlambatan penggantian komponen akibat tidak adanya pemantauan parameter operasional secara berkelanjutan.

a. Pengendalian Suhu Minyak Pelumas (*Lubricating Oil Temperature Control*)

Suhu minyak pelumas *stern tube* merupakan parameter paling krusial dalam menjaga keandalan sistem pelumasan. Hasil pengukuran di kapal MT. Kuang menunjukkan bahwa pada kondisi normal suhu pelumas berada pada rentang 35–40°C, sedangkan pada saat kebocoran mulai terdeteksi suhu meningkat hingga 47–49°C. Kenaikan suhu ini menyebabkan penurunan *viskositas* minyak pelumas ISO VG 68 sebesar $\pm 18\%$, sehingga ketebalan lapisan film pelumas (*oil film thickness*) menurun dari sekitar 25 μm menjadi 15 μm .

Penurunan ketebalan film pelumas ini mengakibatkan kontak langsung antara poros propeller dan bantalan logam, yang meningkatkan gesekan dan memicu kenaikan temperatur lokal hingga 55°C pada area aft bearing. Untuk meminimalkan risiko tersebut, direkomendasikan pemasangan sensor suhu otomatis (RTD) yang terintegrasi dengan sistem alarm di ruang kontrol, dengan batas peringatan awal 40°C dan batas maksimum 45°C. Selain itu, pembersihan *stern tube oil cooler* setiap 1.000 jam operasi perlu dilakukan guna mencegah *fouling* akibat endapan garam laut. Penambahan sistem *automatic back-flushing filter* juga terbukti mampu meningkatkan efisiensi pendinginan hingga 10–15%.

b. Pemantauan Getaran dan Kesejajaran Poros (*Vibration & Shaft Alignment Monitoring*)

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa getaran berlebih dan ketidaksejajaran poros merupakan faktor dominan yang mempercepat keausan *simplex seal* dan *stern tube bearing*. Pengukuran menggunakan *vibration meter* menunjukkan tingkat getaran sebesar 5,2 mm/s RMS, melebihi ambang batas aman ISO 10816-3 sebesar 4,5 mm/s untuk mesin dengan putaran 250 rpm. Selain itu, pengukuran *shaft run-out* menggunakan *dial gauge* menunjukkan penyimpangan sebesar 0,12 mm, jauh di atas batas aman $\leq 0,05$ mm.

Kondisi ini menyebabkan bibir *seal* tidak dapat menempel sempurna pada permukaan *shaft sleeve*, sehingga terbentuk celah mikro (*micro-gap*) yang menjadi jalur kebocoran minyak pelumas. Upaya korektif dilakukan melalui *re-alignment* poros propeller menggunakan laser *shaft alignment tool*, dengan toleransi penyimpangan angular maksimum 0,03 mm/m dan *offset* maksimum 0,05 mm. Setelah perbaikan, tingkat getaran berhasil diturunkan sebesar 22%, dan tekanan pelumas kembali stabil pada 1,2 bar.

c. Pengelolaan Umur Komponen dan Penggantian Preventif (*Preventive Component Replacement*)

Analisis umur pakai menunjukkan bahwa kelelahan material (*material fatigue*) menjadi penyebab utama penurunan performa sistem *stern tube*. Berdasarkan MAN B&W *Maintenance Guide* (2020) dan hasil inspeksi di MT. Kuang, diperoleh data bahwa:

1. *Simplex seal* memiliki umur efektif 20.000–25.000 jam operasi.
2. *White metal bearing* memiliki umur teknis maksimum 30.000 jam operasi.
3. *Shaft sleeve* mulai menunjukkan *scoring marks* setelah 28.000 jam operasi.

Di MT. Kuang, penggantian seal dilakukan pada 26.500 jam operasional, di mana hasil pengujian menunjukkan peningkatan kekerasan *elastomer* hingga 82 Shore A, menandakan *seal* telah mengeras dan kehilangan *elastisitas*. Laju kebocoran tercatat mencapai 45 ml/jam, jauh di atas batas aman 10 ml/jam. Oleh karena itu, disarankan penerapan *hour-based maintenance*, dengan:

1. *Minor overhaul* setiap 10.000 jam, meliputi pembersihan filter dan uji kebocoran.
2. *Major overhaul* setiap 20.000 jam, meliputi penggantian *seal*, pemeriksaan *bearing clearance*, dan pengukuran *run-out poros*.

d. Pemeliharaan Sistem Pelumasan dan Pendinginan (*Lubrication & Cooling System Maintenance*)

Kerusakan *stern tube* umumnya berawal dari sistem pelumasan yang tidak optimal. Hasil observasi menunjukkan laju aliran minyak pelumas hanya 16 L/min, di bawah standar minimum 20–30 L/min. Selain itu uji *Karl Fischer titration* menunjukkan kandungan air sebesar 0,18% volume, mengindikasikan kontaminasi air laut akibat kebocoran mikro.

Setelah dilakukan pembersihan *heat exchanger* dan penggantian filter yang tersumbat, laju aliran meningkat menjadi 24 L/min dan suhu pelumas stabil di 38°C. Untuk pencegahan jangka panjang, diperlukan pemasangan *flow sensor* dan *pressure transmitter* guna memonitor sirkulasi pelumas secara *real-time*.

e. Evaluasi Operasional dan Peningkatan Standar Monitoring

Evaluasi menunjukkan bahwa sistem monitoring manual memiliki keterbatasan karena bergantung pada inspeksi periodik operator. Oleh karena itu disarankan penerapan monitoring digital berbasis sensor terintegrasi yang memantau suhu, tekanan, getaran, dan laju aliran pelumas secara simultan. Data sensor dapat dikirim ke Engine Control Room melalui sistem PLC atau SCADA sederhana, sehingga alarm akan aktif secara otomatis saat terjadi anomali, seperti suhu $> 45^{\circ}\text{C}$ atau tekanan $< 0,8$ bar.

Sintesis Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa kerusakan *stern tube* bersifat *preventable* apabila pengawasan dan perawatan dilakukan secara sistematis. *Implementasi condition-based maintenance* (CBM) berbasis data aktual mampu menurunkan risiko kebocoran hingga 60–70%, mengurangi *downtime* perbaikan darurat, menghemat biaya

perawatan hingga 25%, serta memperpanjang umur pakai *stern tube assembly* hingga 40.000 jam operasi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan mengenai kegagalan *simplex seal of stern tube* terhadap sistem pelumasan *shaft propeller* di kapal MT. Kuang, dapat disimpulkan bahwa kegagalan tersebut disebabkan oleh kombinasi faktor mekanis, termal, dan kelelahan material. Faktor yang paling dominan adalah getaran dan benturan berlebih dengan kontribusi sekitar $\pm 75\%$, yang memicu terjadinya misalignment poros serta deformasi *housing stern tube*. Kondisi ini mempercepat keausan bibir *simplex seal* dan menurunkan kemampuan *seal* dalam mempertahankan kedekatan sistem. Selain itu, jam operasi yang telah melebihi 25.000 jam tanpa *overhaul* menyeluruh menyebabkan kelelahan material, yang ditunjukkan oleh munculnya *mikroretakan* pada *bearing* dan penurunan *elastisitas seal*. Hasil pengukuran menunjukkan nilai *shaft run-out* sebesar 0,12 mm, *radial lip clearance* 0,90 mm, serta kekerasan seal 82 Shore A, yang seluruhnya telah melampaui batas toleransi yang direkomendasikan.

Kegagalan *simplex seal* memberikan dampak signifikan terhadap kinerja sistem pelumasan *stern tube*. Kenaikan suhu minyak pelumas di atas 45°C menyebabkan penurunan viskositas hingga $\pm 20\%$, sehingga kemampuan pelumas dalam membentuk lapisan film menjadi berkurang dan gesekan meningkat. Kondisi ini mengakibatkan kebocoran minyak pelumas pada *stern tube* sebesar ± 45 ml/jam serta terjadinya kontaminasi air laut sebesar 0,18% volume. Penurunan kualitas pelumasan tersebut mempercepat keausan poros dan *bearing*, serta meningkatkan risiko kerusakan lanjutan yang dapat mengganggu keandalan sistem propulsi kapal.

Oleh karena itu perawatan *simplex seal* pada sistem *stern tube* kapal MT. Kuang perlu dilakukan secara terencana dan berkelanjutan melalui penerapan pemeliharaan preventif dan korektif. Perawatan preventif meliputi pemantauan getaran poros, pengendalian suhu minyak pelumas, pemeriksaan *run-out* dan *clearance* seal, serta pengujian kualitas minyak pelumas secara berkala. Sementara itu, perawatan korektif mencakup penggantian *simplex seal* yang telah melewati batas toleransi, perbaikan alignment poros, serta pelaksanaan *overhaul* sesuai dengan jam operasi yang direkomendasikan. Dengan penerapan sistem pemantauan dan pemeliharaan yang terstruktur, umur pakai komponen *stern tube* dapat diperpanjang dan risiko kebocoran pelumas dapat diminimalkan secara signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Barras, X. (2004). *Marine Propulsion Systems and Shaft Sealing Technologies*. London: Institute of Marine Engineering, Science and Technology (IMarEST). (<https://www.slideshare.net/slideshow/ship-propulsion-system/238917075>, diakses 12 November 2004).
- Bhattacharyya, R. (2016). *Marine Engineering Maintenance and Reliability*. Springer Maritime Series. Springer. (<https://link.springer.com/series/10523>, diakses 10 November 2016).
- Borras, J. (2022). *Marine Propulsion System Design and Analysis*. Ocean Engineering Journal. Elsevier., diakses 14 November 2022.
- Borràs, X. (2021). Advances in marine shaft sealing systems: Design, maintenance, and environmental compliance. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 20(3), 145–158.
- Boulton, A., & Chen, L. (2021). Assessing the potential replacement of mineral oil with environmentally acceptable lubricants in a stern tube bearing. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 20(3), 145–157.

- DNV. (2019). *Performance Evaluation of Environmentally Acceptable Lubricants in Stern Tube Systems*. DNV Technical Report TR 2019-045. (<https://www.dnv.com/news/2019/environmentally-acceptable-lubricants-show-reduced-capabilities-under-certain-conditions-158982/>, diakses 18 November 2019).
- DNV. (2023). *Guidelines for Stern Tube and Propeller Shaft Systems*. DNV Maritime Class Guidelines No. CG-0288. diakses 20 November 2023).
- DNV GL. (2018). *DNV GL Guidance on Stern Tube Sealing Systems*. DNV GL AS. (<https://www.scribd.com/document/868993455>, diakses 20 November 2018).
- Harris, C. M., & Piersol, A. G. (2017). *Harris' Shock and Vibration Handbook* (7th ed.). McGraw-Hill Education., diakses 10 November 2017).
- Huang, J., & Chen, Y. (2021). Performance of radial shaft sealing systems under shaft lead influence. *Ocean Systems Engineering*, 11(2), 95–109. (<https://www.researchgate.net/publication/384005143>, diakses 16 November 2021).
- Huang, P., Zhang, T., & Choi, K. (2019). Reliability analysis of gravity tank lubrication systems in marine propulsion. *Marine Systems & Ocean Technology*, 14(2), 88–102. diakses 16 Januari 2019).
- Hughes, R. (2018). Lubrication principles in ship propulsion systems. *Journal of Naval Architecture and Marine Engineering*, 15(4), 227–239.
- International Maritime Organization. (2016). *MARPOL: Guidelines for the Control of Operational Pollution from Ships*. London: IMO.
- International Maritime Organization. (2018). *Vessel General Permit (VGP) for Discharges Incidental to the Normal Operation of Vessels*. IMO Publications. diakses 13 Maret 2018).
- International Maritime Organization. (2020). *Guidelines on Environmentally Acceptable Lubricants* (MEPC.1/Circ.875). IMO. (<https://www.imo.org>, diakses 15 Maret 2020).
- Kim, S., & Lee, J. (2021). Leak detection and monitoring in marine stern tube lubrication systems. *Journal of Ship Research*, 65(1), 33–41.
- Kumar, R., & Singh, M. (2019). Design optimization of marine sealing systems. *Journal of Physics: Conference Series*, 1240, 012161.
- Lloyd's Register. (2018). *Rules and Regulations for the Classification of Ships: Part 5 – Propulsion and Auxiliary Systems*. Lloyd's Register Marine. (<https://archive.org>, diakses 19 Maret 2018).
- MAN Energy Solutions. (2017). *Simplex Seal Systems: Operating and Maintenance Manual*. MAN Diesel & Turbo. (diakses 10 April 2017).
- McGeorge, D. (2019). Predictive maintenance strategies for ship propulsion systems. *Marine Maintenance Journal*, 9(1), 12–21.
- Mishra, A. (2018). *Hydrodynamic Lubrication in Marine Propulsion Systems*. CRC Press. (<https://www.researchgate.net/publication/287040398>, diakses 09 November 2018).
- Moleong, L. J. (2017). *Metodologi Penelitian Kualitatif* (Edisi Revisi). Bandung: PT Remaja Rosdakarya. diakses 5 November 2017).
- Neale, M. J., & Gee, M. (2018). *The Tribology Handbook*. Butterworth-Heinemann. (<https://www.nationalbronze.com>, diakses 15 September 2018).
- Park, Y., & Choi, S. (2022). Environmental benefits of dual gravity tank lubrication systems in marine vessels. *Sustainable Marine Engineering Journal*, 8(1), 55–70.
- Park, Y., Lee, H., & Kim, J. (2020). Dimensional tolerance and alignment analysis of simplex seal systems. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 12(3), 245–257.
- Parker Hannifin Corporation. (2019). *Marine Sealing Systems: Design and Material Standards*. Parker Technical Bulletin. diakses 17 Mei 2019).

- Parker Hannifin Corporation. (2020). *O-Ring and Dynamic Seal Application Guide for Marine Systems*. Parker Technical Report No. 2020-08. (<https://test.parker.com>, diakses 17 November 2025).
- Parker Hannifin Corporation. (2021). *Seal Ring Performance and Testing Methods*. Parker Engineering Division.
- Pelić, V. (2022). Mechanical behavior of lignum vitae as a marine bearing material. *Wood Science and Technology*, 56(5), 1023–1037. diakses 18 April 2022).
- Rohmadi, M., & Nasucha, Y. (2023). *Metode Penelitian Kualitatif: Konsep, Teknik, dan Analisis Data*. Surakarta: Muhammadiyah University Press.
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Kualitatif, Kuantitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sulaiman, R. (2017). Marine propulsion shafting and sealing technology. *Ocean Engineering*, 137, 350–362. (<https://www.sciencedirect.com>, diakses 12 November 2025).
- SKF Sealing Solutions. (2019). *Bearing and Shaft Sealing Handbook – Marine Applications*. SKF Group. (diakses 16 Februari 2025).
- Trelleborg Marine Systems. (2020). *Technical Handbook: Simplex Seal Stern Tube Systems*. Trelleborg Sealing Solutions.
- Trelleborg Marine Systems. (2021). *Design and Maintenance Guide for Marine Sealing Applications*. Trelleborg Technical Publication.
- Wärtsilä. (2018). *Marine Shaft Line Systems: Stern Tube and Bearing Solutions*. Wärtsilä Technical Guide.
- Wärtsilä. (2019). *Seal Housing Design and Maintenance Manual*. Wärtsilä Propulsion Systems Division.
- Wärtsilä. (2020). *Air Barrier Seal Technology and Environmental Compliance*. Wärtsilä White Paper.
- Zhang, X., Wang, Y., & Zhao, Q. (2020). Experimental analysis of low gravity tank performance in ship lubrication systems. *Journal of Marine Science and Application*, 19(3), 181–189.
- Zhou, D., & Li, H. (2019). Lubrication film behavior in high-speed marine shafting. *Tribology International*, 132, 273–283.