

Identifikasi Tercampurnya Minyak Lumas dengan Air pada Carter Cargo Oil Pump Turbine di MT. Nectar

Krisna Handika Wicaksono^{1*}, Amad Narto², Kresno Yuntoro³

¹⁻³ Program Studi Teknika, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, Indonesia

Email: krisnahadikaw@gmail.com, amad_narto@pip-semarang.ac.id, yuntoro@pip-semarang.ac.id

Alamat: Jl.Singosari No.2A,Wonodri, Semarang, Indonesia

Korespondensi penulis : krisnahadikaw@gmail.com*

Abstract. This study examines a crucial problem that occurred on board the MT. Nectar, namely air contamination in the lubricating oil of the Cargo Oil Pump Turbine (COPT), which is a critical system in supporting the download and unloading process of crude oil. This contamination resulted in a significant decrease in pump performance, increasing the risk of malfunction that impacts equipment safety and the operational efficiency of the ship. This problem not only has a technical impact, but also requires proper maintenance management handling. Using a qualitative approach through direct observation, interviews with crew members, and documentation studies of the maintenance and operation history of the lubrication system, this study analyzed the root cause using the SHEL (Software, Hardware, Environment, Liveware) model and Fishbone Diagram. The analysis results indicate that the main causes of contamination are leaks in the labyrinth seal, inadequate condenser vacuum, and wear on metal bearings due to suboptimal lubrication. To address this problem, the study recommends improving compliance with Plan Maintenance System (PMS) procedures, implementing routine and periodic inspections of the entire lubrication system, using high-quality components, and improving technical training for crew members to strengthen their understanding of the lubrication system. In addition, a digital monitoring system is needed for early detection of contaminants in the oil. These steps aim to maintain the darkness and efficiency of the COPT system to ensure optimal ship operations. This research is expected to be a useful reference for ship crews, shipping companies, and cadets at the Semarang Maritime Polytechnic (PIP) in understanding the importance of lubrication systems and preventing contamination in auxiliary machinery on ships. This research is expected to be a useful reference for ship crews, shipping companies, and cadets at the Semarang Maritime Polytechnic (PIP) in understanding the importance of lubrication systems.

Keywords: Fishbone Diagram, Labyrinth Seal, Lubricating Oil, SHEL Method.

Abstrak. Penelitian ini mengkaji permasalahan krusial yang terjadi di atas kapal MT. Nectar, yaitu kontaminasi air pada oli pelumas Cargo Oil Pump Turbine (COPT), yang merupakan sistem penting dalam mendukung proses muat dan bongkar minyak mentah. Kontaminasi ini mengakibatkan penurunan kinerja pompa secara signifikan, meningkatkan risiko kegagalan fungsi yang berdampak pada keselamatan peralatan dan efisiensi operasional kapal. Masalah ini tidak hanya berdampak teknis, tetapi juga memerlukan penanganan manajemen pemeliharaan yang tepat. Dengan pendekatan kualitatif melalui observasi langsung, wawancara dengan awak kapal, serta studi dokumentasi terhadap riwayat perawatan dan operasi sistem pelumasan, penelitian ini menganalisis akar permasalahan menggunakan model SHEL (Software, Hardware, Environment, Liveware) dan Diagram Fishbone. Hasil analisis menunjukkan bahwa penyebab utama kontaminasi adalah kebocoran pada labyrinth seal, vakum kondensor yang tidak memadai, serta keausan pada bantalan logam akibat pelumasan yang tidak optimal. Untuk mengatasi permasalahan ini, penelitian merekomendasikan peningkatan kepatuhan terhadap prosedur Plan Maintenance System (PMS), pelaksanaan inspeksi rutin dan berkala terhadap seluruh sistem pelumasan, penggunaan komponen berkualitas tinggi, serta peningkatan pelatihan teknis bagi awak kapal untuk memperkuat pemahaman tentang sistem pelumasan. Selain itu, perlu adanya sistem monitoring digital untuk mendeteksi dini adanya kontaminan dalam oli. Langkah-langkah ini bertujuan untuk menjaga keandalan dan efisiensi sistem COPT agar operasional kapal tetap optimal. Penelitian ini diharapkan menjadi referensi yang bermanfaat bagi awak kapal, perusahaan pelayaran, dan taruna Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Semarang dalam memahami pentingnya sistem pelumasan dan pencegahan kontaminasi pada mesin bantu di kapal. Penelitian ini diharapkan menjadi referensi yang bermanfaat bagi awak kapal, perusahaan pelayaran, dan taruna Politeknik Ilmu Pelayaran (PIP) Semarang dalam memahami pentingnya sistem pelumasan.

Kata kunci: Fishbone Diagram, Labyrinth Seal, Lubricating Oil, SHEL Method.

1. LATAR BELAKANG

Dalam era modern, transportasi laut memegang peran vital dalam pengiriman barang antarpulau, antarnegara, dan antarbenua. Oleh karena itu, perusahaan pelayaran dituntut untuk menjaga keandalan operasional armada mereka, salah satunya melalui perawatan rutin dan ketersediaan suku cadang. PT Waruna Nusa Sentana, sebagai salah satu perusahaan pelayaran dan galangan kapal terbesar di Indonesia, mengoperasikan kapal *tanker* MT. Nectar yang menggunakan sistem *Cargo Oil Pump Turbine* (COPT) berbasis turbin uap untuk kegiatan bongkar muat minyak mentah.

Cargo Oil Pump Turbine (COPT) sangat bergantung pada pelumasan yang efektif agar komponen mesin beroperasi secara optimal. Kontaminasi umumnya disebabkan oleh kondensasi, kebocoran sistem pendingin, atau kesalahan saat pemindahan minyak. Menurut Ye et, al (2023) Sistem pelumasan memainkan peran penting dalam memastikan operasi normal mesin diesel kapal, dan minyak lumas berfungsi sebagai media utama untuk mengurangi gesekan, mendinginkan komponen, dan menghilangkan kotoran. Menurut Kaminski et, al (2024) Minyak pelumas mesin diesel laut berfungsi mengurangi gesekan, mendinginkan, dan membersihkan komponen, namun kontaminasi bahan bakar menurunkan viskositas dan mempercepat keausan sistem injeksi. Menurut Ahn, Seo, & Lee, (2021) minyak pelumas laut dapat terkontaminasi MGO, yang menurunkan kualitas dan merusak kinerja mesin. TGA menjadi metode cepat dan andal untuk menganalisis kontaminasi tersebut.

Kontaminasi pada oli pelumas tidak hanya mengakibatkan penurunan viskositas, tetapi juga dapat mempercepat kerusakan pada komponen vital seperti bantalan (bearing), seal, dan poros turbin. Dalam konteks operasional kapal tanker, kerusakan tersebut dapat menyebabkan terganggunya proses muat dan bongkar minyak mentah, bahkan berpotensi menimbulkan downtime yang cukup lama dan mahal. Kondisi ini berdampak langsung terhadap efisiensi logistik perusahaan dan dapat menimbulkan kerugian finansial yang signifikan. Oleh sebab itu, sistem pelumasan harus dirancang dan dipelihara dengan sangat cermat, termasuk melalui pengawasan kontaminan secara berkala.

Dalam banyak kasus, kegagalan sistem pelumasan disebabkan oleh lemahnya implementasi prosedur perawatan yang telah ditetapkan dalam Plan Maintenance System (PMS). Masalah ini sering kali muncul akibat kurangnya pelatihan teknis pada awak kapal, keterbatasan alat inspeksi, serta ketidaktepatan dalam penggantian komponen. Untuk mengatasi hal ini, perusahaan pelayaran seperti PT Waruna Nusa Sentana perlu menerapkan sistem monitoring berbasis digital yang dapat mendeteksi anomali viskositas atau keberadaan partikel asing dalam oli secara real-time. Penerapan teknologi sensor dan Internet of Things

(IoT) dalam sistem pelumasan modern dapat meningkatkan deteksi dini dan mencegah terjadinya kerusakan besar.

Selain aspek teknis, penting juga untuk memperhatikan faktor sumber daya manusia dalam pengelolaan sistem pelumasan. Awak kapal harus dibekali dengan pemahaman menyeluruh tentang cara kerja dan pentingnya pelumas dalam menjaga performa mesin. Pelatihan teknis secara berkala, simulasi penanganan kontaminasi, dan penyusunan manual prosedur inspeksi harian sangat krusial untuk mendorong budaya perawatan yang disiplin dan proaktif. Kolaborasi antara operator kapal, teknisi pelabuhan, dan manajemen perusahaan akan menghasilkan sistem pemeliharaan terpadu yang menjamin keandalan COPT serta keselamatan pelayaran.

2. KAJIAN TEORITIS

Industri pelayaran memiliki peran strategis dalam sistem logistik global, khususnya dalam pengangkutan muatan dalam jumlah besar dan jarak jauh. Salah satu jenis kapal yang berperan penting dalam distribusi energi adalah kapal tanker, yang umumnya digunakan untuk mengangkut minyak mentah (*crude oil*). Dalam menunjang efisiensi operasional, kapal *tanker* dilengkapi dengan sistem bantu seperti *Cargo Oil Pump Turbine* (COPT), yaitu sistem pemompaan bertenaga uap yang digunakan untuk mengalirkan minyak dari tangki kargo ke fasilitas darat atau ke kapal lain (Narto et al., 2023).

COPT bekerja dengan tekanan uap tinggi yang diubah menjadi energi mekanik melalui turbin, kemudian disalurkan ke pompa sentrifugal. Salah satu komponen penunjang utama pada sistem ini adalah sistem pelumasan (*lubrication system*), yang berfungsi untuk mengurangi gesekan antar komponen bergerak, mencegah keausan, dan menjaga suhu kerja turbin tetap stabil (Hendrawan et al., 2022). Kualitas pelumas menjadi parameter penting yang harus dijaga, terutama karena penurunan mutu pelumas dapat berdampak langsung terhadap performa mesin.

Namun, dalam praktik operasional di atas kapal, sering kali ditemukan permasalahan berupa tercampurnya minyak lumas dengan air di dalam carter COPT. Fenomena ini teridentifikasi selama praktik laut yang dilakukan di kapal MT. Nectar, di mana terjadi penurunan kinerja pompa akibat kontaminasi pelumas. Pemeriksaan visual menunjukkan bahwa pelumas menjadi keruh dan berbusa, serta indikator tekanan dan suhu menunjukkan anomali.

Kontaminasi air dalam pelumas dapat berasal dari beberapa faktor teknis, antara lain kebocoran pada *labyrinth seal*, kurang optimalnya vakum kondensor, hingga keausan *metal*

bearing. Ketiga faktor tersebut memicu masuknya uap air atau air pendingin ke dalam sistem pelumasan, yang kemudian bercampur dengan minyak lumas. Keberadaan air dalam pelumas tidak hanya menurunkan viskositas dan kemampuan pelumasan, tetapi juga mempercepat terjadinya korosi dan keausan pada komponen internal turbin (Kusumadewi et al., 2022). Menurut Yüksel (2024), *Cargo Oil Pump Turbine* (COPT) adalah sistem pemindah muatan minyak pada kapal tanker yang terdiri dari dua bagian utama: turbin uap dan pompa sentrifugal. Turbin uap menghasilkan daya mekanis untuk menggerakkan pompa, sementara pompa tersebut berfungsi memindahkan minyak dari tangki ke fasilitas penerima. Dengan mengkaji secara mendalam kinerja dan kondisi operasional permesinan bantu ini.

Menurut Konur et. al (2022) COPT merupakan pompa bertenaga uap yang membutuhkan daya sangat tinggi untuk membuang minyak kargo secara efektif dari kapal ke fasilitas pelabuhan. COPT digerakkan oleh uap dalam jumlah besar dan uap balik ini didinginkan untuk dimanfaatkan kembali dalam sirkuit tertutup di kondensor vakum. Menurut Truijen et. al (2025) pompa turbin adalah jenis pompa sentrifugal vertikal yang digerakkan oleh turbin uap atau motor, dirancang untuk mengalirkan fluida dalam volume besar dengan tekanan sedang hingga tinggi. Pompa turbin reversibel kontra-rotasi (CR RPT) untuk memungkinkan penyimpanan tenaga pompa bertekanan rendah.

Menurut Nishi et. al (2025) untuk memperjelas hubungan antara aliran internal dan rugi-rugi hidraulik turbin pompa sudu tunggal dengan operasi balik dalam mode turbin, kinerja turbin dan aliran masuk sudu diselidiki dengan mengoperasikan pompa sentrifugal sudu tunggal secara balik. Menurut Banazek et. al (2020) pompa kargo penting ketika merencanakan operasi pembongkaran tanker. Analisis kinerja pompa kargo harus dilakukan tidak hanya dalam kaitannya dengan struktur pompa kargo itu sendiri sebagai objek uji yang terpisah.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengangkat isu serupa, misalnya oleh Aji (2021) yang mengidentifikasi kerusakan *mechanical seal* dan kualitas *strainer* yang buruk sebagai penyebab utama kerusakan COPT di MT. Patra Tanker 2. Mustofa (2023) juga melaporkan terhambatnya proses bongkar muat di MT. Sanana akibat tekanan *steam* rendah karena kerusakan pada *governor valve*. Seventen (2020), faktor yang dapat menyebabkan penurunan kinerja *cargo oil pump turbine* di MT. Gede. Pratama (2022), faktor yang menyebabkan kurang optimalnya kerja COPT yaitu, *mechanical seal* yang rusak, sudu jalan bocor-bocor, *labyrinth seal* rusak, dan kebocoran pipa air *boiler*. Meski demikian, studi yang secara khusus mengidentifikasi dan menganalisis pencampuran minyak lumas dengan air pada carter COPT masih sangat terbatas.



Gambar 1. *Cargo Oil Pump Turbine*

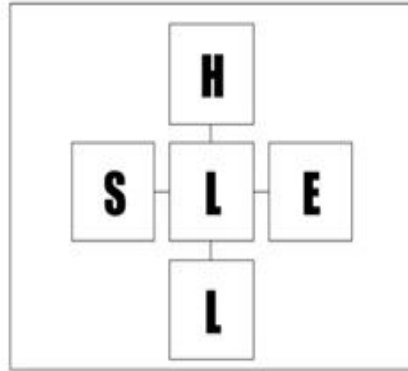
Sumber: Dokumen pribadi

3. METODE PENELITIAN

Menurut Sugiyono (2019), metode penelitian adalah cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu. Metode penelitian adalah aspek penting dalam dunia akademik karena membantu dalam memperoleh data yang valid dan reliabel. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif yang bertujuan untuk menggali dan memahami secara mendalam peristiwa tercampurnya minyak lumas dengan air pada *carter Cargo Oil Pump Turbine* (COPT) di kapal MT. Nectar. Penelitian dilaksanakan selama praktik laut selama 12 bulan, mulai dari 29 Juli 2023 hingga 30 Juli 2024, di atas kapal MT. Nectar milik PT Waruna Nusa Sentana. Lokasi utama observasi adalah ruang mesin dan sistem pelumasan turbin, terutama saat kegiatan bongkar muat di Pelabuhan Cilacap, di mana insiden pencampuran oli dan air terdeteksi.

Pengumpulan data dilakukan melalui empat teknik utama, yaitu observasi langsung terhadap perilaku mesin dan kondisi pelumas; wawancara terstruktur dengan Kepala Kamar Mesin dan Masinis II; dokumentasi teknis berupa manual COPT, *logbook* perawatan, serta laporan kondisi komponen seperti *bearing* dan *labyrinth seal*; dan studi pustaka dari berbagai literatur dan referensi teknis. Analisis data dilakukan dengan pendekatan tematik, yaitu mengelompokkan informasi berdasarkan isu-isu yang ditemukan di lapangan.

Untuk memperkuat interpretasi, digunakan dua alat bantu utama berupa Model SHEL. Model SHEL menganalisis interaksi antara perangkat lunak (*software*), perangkat keras (*hardware*), lingkungan kerja (*environment*), dan manusia (*liveware*), yang secara bersama-sama dapat memengaruhi munculnya kontaminasi.



Gambar 2. Diagram SHEL

Sumber : Dokumen Pribadi

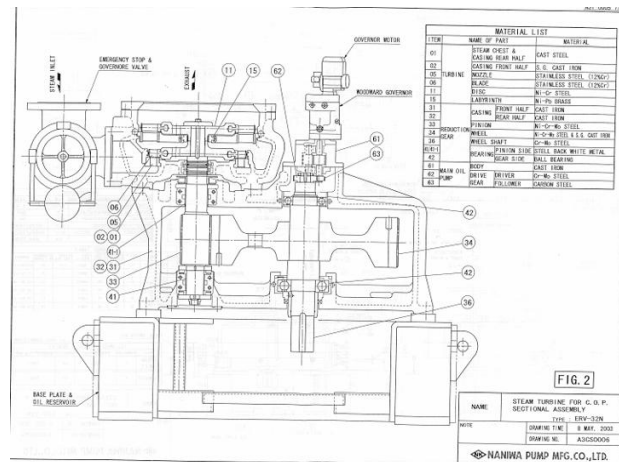
4. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 3. Kapal MT. Nectar

Sumber: Dokumen Pribadi

Penelitian ini dilaksanakan selama praktik laut di atas kapal MT. Nectar, yang merupakan kapal tanker pengangkut minyak mentah. Peneliti menemukan adanya gangguan teknis pada sistem *Cargo Oil Pump Turbine* (COPT), terutama pada sistem pelumas. Gangguan ini ditandai dengan penurunan kecepatan putaran pompa secara tiba-tiba, disertai keluarnya alarm trip saat proses bongkar muat berlangsung.



Gambar 4. Kontruksi Cargo Oil Pump Turbine

Sumber: Dokumen Pribadi

Pemeriksaan langsung menunjukkan bahwa oli pelumas dalam *carter* mengalami perubahan warna menjadi putih keruh dan berbusa, mengindikasikan pencampuran air dengan oli. Kondisi ini menyebabkan tekanan pelumas menurun dan suhu pelumas meningkat, yang berdampak pada tidak stabilnya kinerja pompa. Berdasarkan data yang dicatat pada *logbook*, kejadian ini telah berulang dalam beberapa pelayaran sebelumnya, namun belum ditangani secara menyeluruh.

Menurut Wodtke et. al (2024) Identifikasi dilakukan melalui pengukuran viskositas emulsi pada berbagai kadar air menggunakan viscometer. Ditemukan dua jenis emulsi: *water-in-oil* (W/O) saat kadar air <54% dan *oil-in-water* (O/W) saat >54%. Perubahan viskositas ini digunakan untuk memodelkan performa pelumasan dan mendeteksi kontaminasi air dalam minyak. Menurut Omar et. al (2024) Kontaminasi air diidentifikasi melalui metode saturasi dan pemisahan air bebas, pengukuran kadar air larut dengan titrasi *Karl Fischer*, serta analisis perubahan konsentrasi aditif dan performa tribologis oli melalui wear test dan analisis tribofilm. Menurut Duran et. al (2021) Metode yang digunakan adalah sensor ultrasonik dengan hamburan ganda (*multiple-backscattering*). Sensor ini ditempatkan dalam campuran minyak dan air (emulsi), lalu sinyal pantulan ultrasonik yang kembali diukur dan dianalisis berdasarkan energi dan amplop sinyal tersebut. Semakin tinggi kadar air, semakin besar energi pantulan dan bentuk sinyal berubah, sehingga kadar air dalam minyak dapat diidentifikasi secara kuantitatif. Menurut Applied Sciences Editorial Office (2025) yang efektif, sistem pelumas kapal dapat dianalisis menggunakan jaringan Bayesian dinamis untuk meningkatkan keandalan. Pengukuran viskositas menunjukkan bahwa oli pelumas yang diteliti bersifat sebagai fluida Newtonian, dan viskositasnya tidak dipengaruhi oleh tingkat alkalinitas. Selain itu, ketergantungan viskositas terhadap suhu sesuai dengan model Arrhenius. Menurut Ravendran

et, al (2017) Minyak pelumas laut dapat terkontaminasi MGO, yang menurunkan kualitas dan merusak kinerja mesin. TGA menjadi metode cepat dan andal untuk menganalisis kontaminasi tersebut. Untuk menganalisis penyebab masuknya air ke dalam sistem pelumasan Cargo Oil Pump Turbine (COPT), digunakan pendekatan Model SHEL yang terdiri dari Software, Hardware, Environment, dan Liveware. Pendekatan ini memberikan gambaran menyeluruh terkait faktor penyebab kerusakan. Dari aspek *Software*, diperhatikan penerapan SOP dan dokumentasi perawatan yang mungkin tidak dijalankan secara konsisten. Aspek *Hardware* mencakup keausan pada *labyrinth seal*, *bearing*, dan *kondensor* yang berkontribusi langsung terhadap kebocoran sistem. Environment menyoroti kondisi ruang mesin seperti suhu tinggi dan kelembapan yang mempercepat kerusakan. Sedangkan pada Liveware, dianalisis peran kru kapal yang mungkin kurang teliti dalam pemeliharaan rutin.

a. *Software* (S)

Tidak ditemukan adanya prosedur kerja atau standar operasional prosedur khusus untuk pengecekan kadar air dalam pelumas secara rutin. Manual perawatan tidak secara eksplisit menjelaskan metode deteksi dini pencampuran oli dan air.



Gambar 5. Kondisi Carter COPT

Sumber: Dokumen Pribadi

Maker	Grease Brand	Turbine Oil Brand
Idemitsu Kosan	Daphne Coronex Grease No.2 and EP-2	No.1 & EP-1 Daphne Super Turbine Oil 32
Nippon Oil Co.	Mullinoc Grease NO.2 and AP-2	No.1 & EP-1 FBK Turbine 32
COSMO Oil Co.	Dinamax No.2 and EP-2	No.1 & EP-1 Special A Turbine Oil 32
Mitsubishi Oil Co.	Dinamound Multi Purpose Grease No.2 and EP-2	No.1 & EP-1 Diamond Marine Turbine Oil 32
Esso Petroleum	Beacon 2 and EP-2	No.1 & EP-1 Teresso 32
Mobil Petroleum	Mobilux Grease No.2 and EP-2	No.1 & EP-1 Mobile Turbine Oil Light Mobile DTE Oil Light
Showa Shell Petroleum	Shell Alvania Grease No.2 and EP-2	No.1 & EP-1 Shell Turbo Oil T32
Jomo	Lisonix Grease 2 and EP-2	No.1 & EP-1 RIX Turbine 32
Kyodo oil Co.	Kyoseki Lisonix Grease 2 and EP-2	No.1 & EP-1 Kyoseki RIX Turbine 32
Exxon	Beacon 2	Beacon 1 NUTO H32
BP	Energol MM-EP2	EP-1 Energol THB 32
Castrol	Spheroil AP2	AP-1 Perfect T 32
Gulf	Crown Grease No.2	No.1

Gambar 6. Jenis Minyak Lumas pada COPT

Sumber: Dokumen Pribadi

b. *Hardware (H)*

Pemeriksaan fisik menunjukkan bahwa labyrinth seal pada sistem turbin mengalami keausan, menyebabkan terjadinya kebocoran uap air ke dalam carter. Selain itu, metal bearing menunjukkan gejala aus sehingga memperbesar celah antar komponen. Sistem kondensor juga tidak mampu menciptakan vakum maksimal, sehingga sebagian uap air kembali ke jalur pelumasan. Kondisi ini secara keseluruhan memperbesar potensi kontaminasi pelumas oleh air, yang berdampak langsung pada penurunan kinerja sistem pelumasan.



Gambar 4. *Labirynt seal*

Sumber: Dokumen Pribadi

c. *Environment (E)*

Kondisi ruang mesin yang lembab dan bersuhu tinggi mempercepat proses kondensasi dan memungkinkan terbentuknya tetesan air di sekitar sistem turbin. Kelembaban ini memperbesar risiko masuknya air ke dalam jalur pelumas melalui segel atau koneksi yang tidak kedap.

d. *Liveware (L)*

Kru mesin belum memiliki pelatihan yang cukup terkait indikator pencampuran pelumas dengan air. Selain itu, terjadi kelalaian dalam pelaksanaan inspeksi berkala, yang seharusnya mampu mendeteksi kerusakan pada komponen seperti *seal* dan *bearing* sebelum menyebabkan gangguan besar.

Pencampuran air dalam pelumas menyebabkan penurunan viskositas oli dan hilangnya kemampuan pelumas membentuk lapisan film pelindung antar permukaan logam. Hal ini meningkatkan gesekan, mempercepat keausan komponen seperti *bearing* dan *shaft*, serta dapat menyebabkan *overheating*. Apabila dibiarkan tanpa penanganan,

gangguan ini dapat menyebabkan kerusakan permanen pada pompa, meningkatkan biaya perbaikan, serta menyebabkan keterlambatan operasi bongkar muat yang berdampak pada jadwal pelayaran dan efisiensi logistik perusahaan.



Gambar 5. Metal Bearing

Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan hasil temuan dan analisis, disusun beberapa rekomendasi teknis sebagai upaya mitigasi dan pencegahan kontaminasi pelumas, antara lain:

- a) Penggantian komponen rusak, seperti *labyrinth seal* dan *metal bearing*, sesuai siklus *overhaul*.
- b) Penerapan prosedur inspeksi pelumas menggunakan alat deteksi kadar air (*moisture content tester*) sebagai bagian dari program perawatan rutin.
- c) Penambahan sensor kelembaban pada carter atau sistem pelumasan untuk pemantauan *real-time*.
- d) Peningkatan pelatihan teknis kru, terutama tentang sistem pelumasan dan cara mendeteksi tanda awal kontaminasi.
- e) Integrasi pemeriksaan sistem pelumas dalam *Plan Maintenance System* (PMS) dan pelaporan digital untuk memastikan tindakan preventif terdokumentasi dengan baik.

Penerapan langkah-langkah di atas diharapkan mampu meningkatkan keandalan sistem pelumasan COPT, meminimalisasi gangguan teknis saat operasi bongkar muat, dan memperpanjang usia pakai komponen mesin bantu di atas kapal tanker. Dengan sistem pelumasan yang bersih dan bebas kontaminasi, performa turbin dan pompa dapat terjaga optimal sehingga efisiensi kerja mesin tetap tinggi, terutama saat proses pemindahan kargo yang memerlukan kontinuitas dan kestabilan operasional. Selain itu, pengurangan risiko kerusakan akibat pelumasan yang tidak efektif akan menurunkan frekuensi perawatan darurat, menekan biaya operasional, dan meningkatkan keselamatan kerja di ruang mesin.

Dalam jangka panjang, hal ini juga berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi energi, penghematan bahan bakar, serta mendukung kelangsungan operasional kapal yang andal dan ramah lingkungan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Tercampurnya minyak lumpur dengan air pada sistem *Cargo Oil Pump Turbine* (COPT) di MT. Nectar disebabkan oleh beberapa faktor teknis yang saling berkaitan. Faktor utama adalah kebocoran pada labyrinth seal yang sudah aus dan tidak lagi mampu mencegah masuknya fluida asing ke dalam sistem pelumasan. Kondisi ini diperparah oleh tidak optimalnya fungsi kondensor yang menyebabkan proses vakum tidak maksimal, sehingga uap air yang seharusnya terkondensasi justru masuk kembali ke sistem turbin dan bercampur dengan minyak lumpur. Selain itu, keausan pada metal bearing menyebabkan ketidaksejajaran poros, yang membuka celah masuk tambahan bagi air ke dalam sistem pelumasan. Dampak dari pencampuran ini sangat signifikan terhadap performa mesin, karena pelumas kehilangan sifat protektifnya, menyebabkan gesekan langsung antar komponen, peningkatan suhu operasi, getaran berlebih, dan keausan mekanis yang lebih cepat. Upaya perbaikan dilakukan melalui penggantian komponen-komponen yang mengalami kerusakan seperti labyrinth seal dan bearing, pengurasan total terhadap oli yang sudah terkontaminasi, serta pembersihan menyeluruh pada jalur pelumasan. Sebagai langkah pencegahan jangka panjang, diterapkan sistem monitoring harian, analisis kualitas oli secara berkala, pencatatan parameter operasional mesin, dan peningkatan jadwal perawatan preventif. Selain itu, pelatihan awak kapal secara berkelanjutan sangat penting untuk meningkatkan kompetensi dalam mendeteksi gejala awal kerusakan dan mengambil tindakan yang cepat dan tepat. Disarankan pula agar penggantian komponen yang menunjukkan gejala keausan dilakukan secara berkala guna menjaga kinerja optimal sistem pelumasan serta mencegah terulangnya kerusakan serupa di masa mendatang.

DAFTAR REFERENSI

- Ahn, S., Seo, J. M., & Lee, H. (2021). Thermogravimetric analysis of marine gas oil in lubricating oil. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(3), 339. <https://doi.org/10.3390/jmse9030339>
- Aji, W. P. (2021). *Analisa penyebab rusaknya cargo oil pump guna menunjang discharge cargo Pertamina di atas kapal MT. Patra Tanker 2* [Skripsi, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang]. <https://repository.pip-semarang.ac.id/>
- Applied Sciences Editorial Office. (2025). Reliability assessment of ship lubricating oil systems through improved dynamic Bayesian networks and multi-source data fusion. *Applied Sciences*, 15(10), 5310. <https://doi.org/10.3390/app15105310>

- Banaszek, A., & Urbanski, T. (2020). The flow calculation algorithm of submerged hydraulic cargo pumps working with reduced pump speed on modern product and chemical tankers. *Applied Sciences*. [Informasi volume dan halaman tidak tersedia]
- Durán, A. L., Franco, E. E., Reyna, C. A. B., Pérez, N., Tsuzuki, M. S. G., & Buiocchi, F. (2021). Water content monitoring in water-in-crude-oil emulsions using an ultrasonic multiple-backscattering sensor. *Sensors*, 21(15), 5088. <https://doi.org/10.3390/s21155088>
- Hendrawan, A., Dwiono, A. S., & Pramono, S. (2022). Perilaku temperatur minyak lumas pada kapal. *Dinamika Bahari*. [Informasi volume dan halaman tidak tersedia]
- Kamiński, P. (2024). Investigation lubricity performance of lubricating oil used in marine diesel engine—Fuel injection pump. *Applied Sciences*, 14(14), 6148. <https://doi.org/10.3390/app14146148>
- Konur, O., Saatcioglu, Y. O., Korkmaz, S. A., Colpan, C. O., Yuksel, O., & Muslu, I. (2022). Perancangan dan analisis termal sistem siklus Rankine organik yang memanfaatkan panas buang turbin pompa oli kargo dan mesin induk di kapal tanker besar. *Jurnal Produksi Bersih*, 368, 133230. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133230>
- Kusumadewi, A., Abadi, C. S., & Syuriadi, A. (2022). Analisa pengaruh kerusakan bearing terhadap performa pompa diesel fire fighting PT PJB UP Muara Tawar. *Jurnal Prosiding Semnas Mesin PNJ*, 753–761.
- Mustofa, A. N. (2023). *Gagalnya kenaikan RPM pada cargo oil pump turbine berpengaruh terhadap terhambatnya proses bongkar muatan di MT. Sanana* [Skripsi, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang]. <https://repository.pip-semarang.ac.id/>
- Narto, A., & Mungin, E. W. J. S. E. V. (2023). *Mesin penggerak utama turbin uap dan turbin gas*. Jakarta: Penerbit Adab.
- Nishi, Y., & Itoh, N. (2025). Internal flow and hydraulic loss of a reverse-running pump turbine with a single blade. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 116, 109964. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2025.109964>
- Omar, A. S. A., Salehi, F. M., Farooq, U., & Morina, A. (2024). Additives depletion by water contamination and its influences on engine oil performance. *Tribology Letters*, 72(3), Article 74. <https://doi.org/10.1007/s11249-024-01876-y>
- Pratama, N. T. (2022). *Optimalisasi kerja cargo oil pump turbine di MT. Nusa Merdeka* [Skripsi, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang]. <https://repository.pip-semarang.ac.id/>
- Ravendran, R., Jensen, P., de Claville Christiansen, J., Endelt, B., & Appel Jensen, E. (2017). Rheological behaviour of lubrication oils used in two-stroke marine engines. *Industrial Lubrication and Tribology*, 69(5), 750–753. <https://doi.org/10.1108/ILT-03-2016-0075>
- Seventen, D. A. (2020). *Analisa penurunan kerja cargo oil pump turbine di MT. Gede* [Skripsi, Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang]. <https://repository.pip-semarang.ac.id/>
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Truijen, D. P. K., Hoffstaedt, J., Schürenkamp, D., Ansorena Ruiz, R., & De Kooning, J. D. M. (2025). Dynamic power response shaping using adaptive torque constraints in counter-rotating pump-turbine feedback control. *Energy*, 331, 136753. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.136753>
- Wodtke, M., Frost, J., & Litwin, W. (2025). Effect of water contamination of an environmentally acceptable lubricant based on synthetic esters on the wear and

hydrodynamic properties of stern tube bearing. *Tribology International*, Article 110562. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2025.110562>

Ye, S., Da, B., Qi, L., Xiao, H., & Li, S. (2023). Condition monitoring of marine diesel lubrication system based on an optimized random singular value decomposition model. *Machines*, 13(1), 7. <https://doi.org/10.3390/machines13010007>

Yuksel, O. (2024). Modelling of a cargo oil pump turbine system to find the optimum pump operation capacities through the design of experiments approaches. *Ships and Offshore Structures*, 15(3). <https://doi.org/10.1080/17445302.2024.2336679>