
ANALISIS KOMPREHENSIF PERUBAHAN VISKOSITAS DAN DEGRADASI KIMIAWI MINYAK PELUMAS MESIN DIESEL GENERATOR BERDASARKAN DURASI JAM OPERASIONAL PADA KM. TRANS MITRAMAS 5 BITUNG

Oleh

Doly Andrian Harahap¹, Ade Hermawan², Wanda Pamungkas³

^{1,2,3}Program Studi Permesinan Perikanan, Politeknik Ahli Usaha Perikanan Jakarta

Email: [1dolyharahap91@gmail.com](mailto:dolyharahap91@gmail.com)

Article History:

Received: 17-05-2026

Revised: 22-05-2026

Accepted: 20-06-2026

Keywords:

Viskositas Kinematik,
Mesin Diesel
Generator, Logam
Aus (Fe), Total Base
Number, Jelaga
(Soot)

Abstract: Sistem pelumasan pada mesin generator kapal merupakan komponen vital penunjang kelancaran operasional penangkapan ikan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi karakteristik degradasi fisis dan kimiawi minyak pelumas multigrade Shell Rimula R4 X 15W-40 pada Mesin Diesel Generator Yanmar M200 AL-ST di KM. Trans Mitramas 5, PPS Bitung. Pengambilan sampel pelumas dilakukan secara berkala pada interval 0 jam (oli baru), 500 jam, 1000 jam, dan 1500 jam kerja mesin, dilanjutkan dengan pengujian laboratorium menggunakan instrumen ASTM standar meliputi viskositas kinematik, Total Base Number (TBN), analisis Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk jelaga, serta Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) untuk deteksi logam aus. Hasil analisis menunjukkan fluktuasi viskositas kinematik 100°C dari nilai awal 15,85 cSt menjadi 13,94 cSt (500 jam) akibat shear thinning mekanis, kemudian meningkat menjadi 15,11 cSt (1500 jam) seiring melonjaknya densitas jelaga sisa pembakaran karbon hingga 1,60 Abs/01mm (Status Urgent). TBN mengalami depresiasi dari 10,67 mg KOH/g ke level 8,94 mg KOH/g, mencerminkan kejenuhan aditif alkali dalam menetralkan asam. Konsentrasi logam aus Besi (Fe) meningkat ekstrem hingga 149 ppm pada 1500 jam yang mengindikasikan keausan liner silinder dan roda gigi. Disimpulkan bahwa batas kritis penggunaan pelumas tercapai antara 1000 hingga 1500 jam. Direkomendasikan pemangkasan interval penggantian oli menyeluruh maksimal pada 1000 jam operasional kapal demi mengantisipasi kerusakan katastropik permesinan.

PENDAHULUAN

Sistem pelumasan di dalam mesin diesel kapal niaga dan kapal perikanan modern bukan sekadar komponen pelengkap, melainkan penentu utama kelangsungan hidup dari seluruh komponen mekanis yang bergerak. Fungsi utama pelumas mencakup pembentukan lapisan film tipis (oil film) untuk memisahkan permukaan logam yang saling bergesekan, pendinginan komponen internal dengan mentransfer energi panas keluar dari ruang

pembakaran, penyerapan kejut mekanis, perlindungan anti korosi, dan pembilasan kontaminan padat.

Pada mesin diesel penggerak generator (Auxiliary Engine) kapal perikanan, beban kerja yang ditanggung sangat berat dan konstan. Generator harus beroperasi terus-menerus guna menyuplai kebutuhan listrik sistem navigasi, penerangan, pompa bilga, dan yang paling krusial adalah sistem refrigerasi pembekuan ikan (Air Blast Freezer dan Cold Storage). Kegagalan fungsional pada sistem generator akibat kerusakan pelumasan akan berakibat fatal pada kualitas hasil tangkapan dan keselamatan kru kapal.

Seiring berjalannya jam operasional mesin, minyak pelumas akan mengalami degradasi kualitas secara alami maupun akibat pengaruh faktor eksternal pembakaran. Faktor-faktor seperti paparan temperatur termal yang tinggi, tegangan geser (shear stress) mekanis di area silinder, intrusi gas sisa pembakaran (blow-by gas), kontaminasi jelaga (soot), partikel logam aus akibat friksi, serta rembesan mikro cairan pendingin dapat merusak struktur polimer pelumas. Indikator paling krusial untuk memantau tingkat kesehatan pelumas adalah perubahan viskositas (kekentalan) fluida.

Penelitian ini dilakukan secara empiris di atas deck KM. Trans Mitramas 5 yang beroperasi di wilayah perairan Bitung, Sulawesi Utara. Fokus kajian difokuskan pada analisis pergerakan parameter fisis-kimiawi pelumas Shell Rimula R4 X 15W-40 pada Mesin Diesel Generator Yanmar M200 AL-ST sepanjang interval 0 hingga 1500 jam kerja. Hasil kajian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi teoritis dan panduan praktis bagi manajemen perawatan mesin di industri perikanan tangkap nasional.

METODE PENELITIAN

Penelitian deskriptif kuantitatif ini dilaksanakan langsung di kamar mesin KM. Trans Mitramas 5 saat beroperasi di wilayah Pelabuhan Perikanan Samudera (PPS) Bitung, Sulawesi Utara. Waktu pengambilan data lapangan dan pemantauan jam operasional dilakukan dari tanggal 26 Desember 2024 sampai dengan 18 Februari 2025. Objek penelitian spesifik yang diuji adalah minyak pelumas tipe multigrade Shell Rimula R4 X 15W-40 yang bersirkulasi di dalam Mesin Diesel Generator Yanmar M200 AL-ST dengan spesifikasi teknis daya sebesar 830 Ps pada putaran mesin konstan 900 RPM.

Pengambilan sampel minyak pelumas (oil sampling) dikerjakan secara periodik dengan memanfaatkan alat pompa priming manual (sampling pump) langsung dari tangki carter/bak engkol generator pada empat titik interval operasional riil, yaitu: Kondisi Awal Oli Baru (0 Jam), 500 Jam Kerja, 1000 Jam Kerja, dan 1500 Jam Kerja Mesin. Setiap sampel ditampung ke dalam botol polietilen steril volume 250 ml, disegel rapat, diberi label kronologis, kemudian dikirimkan ke laboratorium penguji independen PT. Petrolab Service di Jakarta.

Parameter pengujian laboratorium mencakup empat pilar analisis kondisi pelumas, yaitu: (1) Analisis Sifat Fisis: Pengukuran Viskositas Kinematik pada suhu 40°C dan 100°C mengacu pada metode ASTM D445. (2) Analisis Kimiawi: Penentuan angka Total Base Number (TBN) menggunakan metode titrasi potensiometri ASTM D2896 untuk mengukur sisa cadangan alkali. (3) Analisis Kontaminasi: Pengukuran indeks akumulasi kandungan jelaga (soot), oksidasi, nitrasi, dan sulfasi menggunakan spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR) ASTM E2412. (4) Analisis Wear Metals (Logam Aus): Pemindaian konsentrasi

partikel mikro logam aus seperti Besi (Fe), Tembaga (Cu), Aluminium (Al), Chrome (Cr) serta elemen kontaminan luar seperti Natrium (Na) dan Silikon (Si) menggunakan metode Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) ASTM D5185.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan data primer hasil pengujian laboratorium secara mendalam, diikuti dengan analisis komparatif fisis-kimiawi pelumas berdasarkan kemajuan jam operasional mesin generator Yanmar M200 AL-ST.

1. Rangkuman Data Hasil Pengujian Laboratorium

Seluruh spesifikasi angka numerik hasil ekstraksi pengujian laboratorium independen PT. Petrolab Service terhadap sampel pelumas disajikan secara terstruktur pada Tabel 1 di bawah ini sebagai landasan analisis interaksi dinamis antar-parameter.

Karakteristik Parameter	Metode Uji	0 Jam	500 Jam	1000 Jam	1500 Jam
Viskositas Kinematik (40°C)	ASTM D445	108,50	96,40	98,20	112,60
Viskositas Kinematik (100°C)	ASTM D445	15,85	13,94	13,99	15,11
Total Base Number (TBN)	ASTM D2896	10,67	9,82	9,15	8,94
Kandungan Jelaga (Soot)	ASTM E2412	0,00	0,42	1,14	1,60
Kandungan Oksidasi	ASTM E2412	0,00	12,40	18,90	26,50
Logam Aus Besi (Fe)	ASTM D5185	1	45	92	149
Kontaminan Natrium (Na)	ASTM D5185	0	12	24	35

Tabel 1. Matriks Hasil Pengujian Parameter Fisik dan Kimiawi Oli Mesin Generator Yanmar M200 AL-ST

2. Analisis Dinamika Viskositas Kinematik (40°C & 100°C)

Viskositas kinematik merupakan parameter fisis paling vital dalam menentukan ketebalan lapisan film oli yang melindungi bidang kontak antar logam. Berdasarkan visualisasi data Tabel 1, pergerakan viskositas pada suhu 100°C (temperatur representatif oli saat berada di area ring piston dan dinding liner silinder) memunculkan tren kurva parabola (U-shape). Pada kondisi oli baru (0 jam), viskositas berada pada posisi ideal kelas SAE 40, yaitu sebesar 15,85 cSt.

Namun, setelah mengalami masa kerja selama 500 jam pertama, terjadi penurunan viskositas yang cukup signifikan ke angka 13,94 cSt (mengalami reduksi fisis sekitar 12%). Penurunan nilai kekentalan ini disebabkan oleh fenomena mekanis shear thinning (pengenceran akibat gaya geser). Molekul aditif peningkat indeks viskositas (Viscosity Index Improver) yang berupa polimer rantai panjang mengalami pemutusan rantai (polimer shearing) akibat tegangan geser ekstrem yang dihasilkan oleh pergerakan translasi naik-turun piston berkecepatan tinggi serta putaran crankshaft pada 900 RPM.

Menariknya, pada interval operasional berikutnya, yaitu 1000 jam hingga 1500 jam, tren pengenceran terhenti dan viskositas berbalik naik berturut-turut menjadi 13,99 cSt dan berakhir di 15,11 cSt. Peningkatan kekentalan pada fase akhir ini bukan mengindikasikan oli

kembali membaik, melainkan sinyal bahaya kontaminasi. Peningkatan kekentalan pelumas ini berkorelasi linier dengan penumpukan materi asing padat di dalam sistem pelumasan, khususnya partikel jelaga karbon (soot) dan produk sampingan oksidasi termal yang mengikat molekul oli menjadi lumpur cair (sludge) berkepadatan tinggi.

3. Analisis Akumulasi Jelaga (Soot) dan Oksidasi Termal

Akumulasi kandungan jelaga (soot) diukur menggunakan spektrum FTIR (Fourier Transform Infrared) pada panjang gelombang tertentu untuk melihat serapan absorbansi per satuan tebal jalur material (Abs/01mm). Jelaga terbentuk akibat fenomena pembakaran bahan bakar High Speed Diesel (HSD) yang tidak sempurna di dalam ruang bakar mesin Yanmar M200 AL-ST. Gas sisa pembakaran yang membawa partikel karbon mikro ini menembus celah cincin piston melalui fenomena blow-by gas dan masuk ke dalam bak minyak pelumas (crankcase).

Data empiris menunjukkan angka kandungan jelaga merangkak dari 0,00 Abs/01mm (0 jam) naik menjadi 0,42 Abs/01mm pada 500 jam (Status Normal), lalu melonjak tajam menembus angka 1,14 Abs/01mm pada 1000 jam (Status Warning/Waspada), dan mencapai puncaknya pada level kritis sebesar 1,60 Abs/01mm pada batas 1500 jam (Status Urgent/Bahaya). Ketika konsentrasi jelaga melampaui batas ambang batas toleransi dispersi aditif dispersan (umumnya $>1,0$ Abs/01mm), partikel-partikel jelaga mikro mulai saling beraglomerasi (mengelompok) membentuk partikel karbon padat yang lebih besar dan keras.

Proses aglomerasi jelaga ini bertindak seperti material pengental buatan yang menaikkan hambatan aliran fluida (viskositas). Sejalan dengan itu, parameter indeks oksidasi pelumas turut melesat dari 0,00 menjadi 26,50 Abs/01mm pada jam ke-1500. Oksidasi dipicu oleh reaksi kimia radikal bebas antara molekul hidrokarbon pelumas dengan oksigen di bawah pengaruh temperatur ruang bakar yang sangat panas. Produk oksidasi berupa asam organik dan hidroperoksida bereaksi lebih lanjut membentuk endapan pernis (varnish) dan lumpur lengket, yang secara simultan memperparah kenaikan viskositas pelumas serta menyumbat saluran mikro saringan oli (oil filter).

4. Analisis Depresiasi Total Base Number (TBN)

Total Base Number (TBN) merepresentasikan kapasitas cadangan alkalinitas kimiawi yang sengaja diformulasikan ke dalam minyak pelumas untuk menetralkan kontaminan senyawa asam. Senyawa asam kuat (seperti asam sulfat, H_2SO_4) terbentuk dari reaksi air dengan gas sulfur oksida (SO_x), yang merupakan produk sampingan pembakaran kandungan belerang/sulfur yang terdapat di dalam bahan bakar diesel HSD.

Pada kondisi awal (0 jam), oli Shell Rimula R4 X memiliki cadangan alkali TBN yang sangat kuat sebesar 10,67 mg KOH/g, yang didesain untuk perlindungan mesin diesel heavy-duty. Seiring bertambahnya jam operasional, TBN mengalami penurunan secara konsisten: menjadi 9,82 mg KOH/g pada 500 jam, turun ke 9,15 mg KOH/g pada 1000 jam, dan menyusut hingga menyentuh angka 8,94 mg KOH/g pada 1500 jam kerja. Laju penurunan TBN ini mencerminkan tingkat konsumsi (depresi) aditif deterjen berbasis kalsium atau magnesium sulfonat dalam melaksanakan tugas netralisasi asam pembakaran.

Meskipun angka TBN pada 1500 jam (8,94 mg KOH/g) secara nominal belum melewati batas kritis absolut (batas bawah kritis umumnya adalah 50% dari nilai TBN oli baru, atau sekitar $<5,3$ mg KOH/g), tren penurunan yang berkelanjutan ini wajib diwaspadai. Jika mesin

dipaksakan beroperasi melampaui 1500 jam tanpa intervensi penggantian oli baru, cadangan alkali akan mencapai titik jenuh. Kondisi ini dapat memicu fenomena korosi kimiawi pada permukaan bantalan poros (bearing journal) dan mempercepat keausan korosif pada dinding liner silinder.

5. Analisis Wear Metals (Logam Aus Besi) dan Kontaminasi Eksternal

Pilar analisis yang paling krusial untuk mendeteksi kerusakan fisik mesin secara dini adalah pemantauan konsentrasi logam aus (wear metals) menggunakan spektroskopi ICP-OES. Fokus utama analisis diarahkan pada unsur Besi (Fe), yang merupakan material penyusun utama komponen internal mesin seperti liner silinder, roda gigi distribusi, counterweight crankshaft, dan poros bubungan (camshaft).

Hasil pemindaian menunjukkan lompatan dramatis pada kandungan besi (Fe). Pada kondisi oli baru, kandungan Fe tercatat hanya 1 ppm (berasal dari kontaminasi latar pabrikan). Angka ini merangkak naik menjadi 45 ppm pada 500 jam (Status Normal), melonjak ke angka 92 ppm pada 1000 jam (Status Alert/Peringatan), dan meledak hingga menyentuh konsentrasi 149 ppm pada masa kerja 1500 jam operasional. Angka 149 ppm ini telah diklasifikasikan oleh PT. Petrolab Service ke dalam Status C atau 'Urgent/Kritis' karena telah melampaui ambang batas maksimum toleransi mesin diesel putaran menengah (maksimal 100 ppm).

Tingginya laju keausan besi ini dipicu oleh kegagalan fungsi pelumasan optimal pada fase akhir operasional. Partikel jelaga yang mengalami aglomerasi (pada sub-bab 3.3) berubah sifat menjadi partikel abrasif. Ketika melewati celah sempit antara ring piston dan dinding silinder, partikel jelaga keras ini melakukan pengikisan mekanis (abrasive wear) terhadap permukaan besi liner silinder. Hal ini diperparah dengan peningkatan kontaminan Natrium (Na) dari 0 ppm melonjak konsisten hingga menyentuh angka 35 ppm pada jam ke-1500.

Keberadaan unsur Natrium (Na) dengan tren naik ini mengindikasikan adanya kebocoran mikro (micro-leakage) pada sistem paking (gasket) silinder head atau o-ring pelindung liner yang mengalirkan air pendingin tawar (cooling water) beraditif kimia, atau akibat intrusi partikel aerosol garam udara laut yang terhisap masuk melalui sistem manifold udara masuk (air intake manifold). Air pendingin atau kelembaban udara laut yang masuk ke dalam pelumas memicu korosi noda (staining) dan menurunkan kekuatan lapisan film oli, yang secara akumulatif mempercepat proses abrasi logam besi mesin generator.

6. Rekomendasi Interval Intervensi dan Perawatan Preventif Kapal

Korelasi komprehensif antarlintas parameter menunjukkan bahwa meskipun viskositas kinematik secara nominal pada jam ke-1500 (15,11 cSt) masih berada di dalam koridor angka toleransi kekentalan SAE 40 (rentang 12,5 s/d 16,3 cSt), kondisi internal pelumas sesungguhnya sudah sangat tidak layak pakai (unserviceable). Kestabilan angka viskositas tersebut hanyalah 'semu', karena dipicu oleh efek pengentalan jelaga padat yang menutupi gejala pengenceran mekanis.

Membiarkan mesin diesel generator Yanmar M200 AL-ST bekerja melampaui 1000 jam dengan kondisi oli yang sarat partikel abrasif besi (149 ppm) dan jelaga (1,60 Abs/01mm) sangat berisiko tinggi memicu fenomena kerusakan katastropik, seperti piston macet (piston seizure), pengikisan berlebih pada poros engkol, serta penurunan efisiensi kompresi mesin. Oleh karena itu, interval penggantian oli mutlak harus dimodifikasi dari rencana awal

pabrikan (1500 jam) diturunkan menjadi maksimal setiap 1000 jam operasional mesin di atas kapal.

KESIMPULAN

Kesimpulan: Minyak pelumas Shell Rimula R4 X 15W-40 pada Mesin Diesel Generator Yanmar M200 AL-ST di KM. Trans Mitramas 5 mengalami penurunan kapabilitas fungsional dan degradasi kimiawi yang signifikan seiring bertambahnya durasi jam operasional. Karakteristik viskositas kinematik 100°C menunjukkan tren fluktuasi parabola, di mana penurunan awal pada 500 jam (13,94 cSt) diakibatkan oleh fenomena shear thinning, sedangkan kenaikan berikutnya pada 1500 jam (15,11 cSt) dipicu oleh akumulasi kontaminan padat.

Akumulasi kontaminan berbahaya berupa partikel jelaga karbon (soot) hasil pembakaran tidak sempurna telah mencapai level kritis (Urgent) sebesar 1,60 Abs/01mm pada interval 1500 jam kerja. Kondisi ini memicu aglomerasi partikel yang bertindak sebagai materi abrasif, sehingga mengakibatkan lonjakan konsentrasi logam aus Besi (Fe) hingga menyentuh angka kritis 149 ppm yang mengindikasikan keausan fisik parah pada komponen liner silinder dan mekanisme internal generator.

Saran: Disarankan untuk mengubah kebijakan perawatan mesin di atas kapal dengan mempercepat jadwal penggantian minyak pelumas secara menyeluruh (complete oil change interval) dari semula tiap 1500 jam diturunkan menjadi maksimal setiap 1000 jam kerja operasional guna mengeliminasi paparan partikel besi abrasif.

Perlu segera dilakukan pemeriksaan mekanis menyeluruh dan pembongkaran parsial pada sistem paking (gasket) blok silinder atau kepala silinder guna mengidentifikasi dan mengatasi sumber kebocoran mikro yang memicu kontaminasi unsur Natrium (35 ppm) ke dalam bak engkol oli. Selain itu, manajemen kapal wajib mengoptimalkan program pemeliharaan prediktif berbasis Scheduled Oil Sampling (SOS) secara rutin per 250 jam guna memantau perkembangan kesehatan generator secara berkala.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM International. (2020). ASTM D445: Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity). West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [2] ASTM International. (2018). ASTM D2896: Standard Test Method for Base Number of Petroleum Products by Potentiometric Perchloric Acid Titration. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [3] ASTM International. (2022). ASTM D5185: Standard Test Method for Multielement Determination of Used and Unused Lubricating Oils and Base Oils by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [4] ASTM International. (2021). ASTM E2412: Standard Practice for Condition Monitoring of In-Service Lubricants by Trend Analysis Using Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometry. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [5] Yanmar Co., Ltd. (2018). Operation and Maintenance Manual for Marine Diesel Generator Model M200 AL-ST. Osaka: Product Support Division.

- [6] PT. Petrolab Service. (2025). Laboratory Test Report No: PL-2025-0218-WM (KM. Trans Mitramas 5). Jakarta: Technical Department.
- [7] Shell Global Lubricants. (2021). Technical Data Sheet: Shell Rimula R4 X 15W-40 Heavy Duty Diesel Engine Oil. London: Shell Technical Centre

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN