

DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/psnp.19996>

ANALISIS PENURUNAN KUALITAS PELUMAS MESIN INDUK KAPAL PERIKANAN BERDASARKAN PENGUKURAN VISKOSITAS DAN MASSA JENIS

ANALYSIS OF LUBRICANT QUALITY DEGRADATION IN FISHING VESSEL MAIN ENGINES USING VISCOSITY AND DENSITY MEASUREMENTS

Yurika Nantan^{1*}, Fahriadi Pakaya¹, Febrio Dehard Nesa¹, I Nyoman Subawa¹, Naomi Lembang²

¹)Politeknik Kelautan dan Perikanan Bitung, Jalan Tandurusa, Aertembaga Dua, Kota Bitung

²)Politeknik Negeri Fakfak

*E-mail: yurika.nantan@kkp.go.id

ABSTRAK

Sistem pelumasan berperan penting dalam menjaga kinerja dan ketahanan mesin induk kapal penangkap ikan. Pada mesin induk kapal, sistem pelumasan beroperasi secara tertutup dengan komponen dasar yang terdiri dari pompa oli, filter, dan pendingin oli. Viskositas dan densitas merupakan parameter utama yang digunakan untuk menilai penurunan kualitas pelumas mesin induk. Penelitian dilakukan untuk membandingkan viskositas dan densitas pada pelumas baru dan pelumas yang telah digunakan guna mengevaluasi penurunan kualitas pelumas setelah penggunaan. Pengujian dilakukan menggunakan metode viskometer Ostwald dan piknometer untuk menentukan viskositas kinematik dan massa jenis pelumas. Viscometer Ostwald digunakan untuk mengukur waktu aliran fluida melalui tabung-U berdasarkan prinsip gravitasi. Metode ini menetapkan hubungan viskositas antara fluida uji (pelumas) dan fluida acuan (air), sesuai dengan rekomendasi ASTM D445. Metode piknometer diterapkan juga untuk mengukur densitas yang sesuai dengan ASTM D1298. Hasil menunjukkan bahwa viskositas pelumas baru berkisar antara 13,69 - 13,77 cSt yang sesuai dengan klasifikasi SAE 40, sementara pelumas yang telah digunakan menunjukkan penurunan viskositas menjadi 10,98 - 11,17 cSt dimana mendekati klasifikasi SAE 30. Penurunan ini menandakan degradasi kualitas pelumas yang dapat berdampak negatif pada kinerja dan umur mesin. Berdasarkan hasil tersebut, penggantian pelumas direkomendasikan tidak hanya ditentukan berdasarkan jam operasi atau jarak tempuh, tetapi juga berdasarkan pengukuran viskositas aktual. Hasil ini menegaskan pentingnya memantau kualitas pelumas untuk mencegah kerusakan mesin dan meningkatkan efisiensi operasional kapal.

Kata kunci: massa jenis, mesin induk, pelumas, penurunan, viskositas

ABSTRACT

The lubrication system plays a crucial role in maintaining the performance and durability of fishing vessel main engines. In these engines, the lubrication system operates in a closed circuit incorporating an oil pump, filter, and oil cooler. Viscosity and density are the primary parameters used to assess the degradation of main engine lubricants. This study aims to compare the viscosity and density of new and used lubricants to evaluate the decline in lubricant quality after operational use. The experiments were conducted using the Ostwald viscometer and pycnometer

methods to determine the kinematic viscosity and density of the lubricants. The Ostwald viscometer, measures the flow time of a fluid through a U-tube based on the principle of gravity. This method establishes the viscosity relationship between the test fluid (lubricant) and the reference fluid (water), as recommended in ASTM D445. The pycnometer method was applied to measure density in accordance with ASTM D1298. The results indicate that the viscosity of new lubricants ranges from 13.69 to 13.77 cSt, corresponding to the SAE 40 classification, while used lubricant exhibit a decrease in viscosity to 10.98 to 11.17 cSt, approaching the SAE 30 classification. This reduction signifies degradation in lubricant quality that may adversely affect engine performance and longevity. Based on these findings, lubricant replacement should be determined not only by operating hours or mileage but also by actual viscosity measurements. These results confirm the importance of monitoring lubricant quality to prevent engine damage and improve the operational efficiency of the vessel.

Keywords: degradation, density, main engine, lubrication, viscosity

PENDAHULUAN

Peranan penting dari sistem pelumasan yaitu menjaga komponen mesin tidak mengalami kerusakan akibat dari gesekan berlebih, korosi, serta suhu tinggi. Selain mengurangi gesekan dan mendinginkan komponen, pelumas juga berfungsi meminimalkan keausan yang dapat memperpendek umur mesin. Kemampuan untuk mempertahankan ketebalan film pelindung dan mencegah kontak langsung antar permukaan logam merupakan ciri pelumas yang baik, sehingga pengoperasian mesin induk kapal perikanan yang bekerja dalam waktu lama dan kondisi laut yang tidak menentu membuat pelumas sangat dibutuhkan (Yoshida et al., 2020). (Al-Shudeifat et al., 2024) menegaskan bahwa degradasi pelumas selama operasional mesin jangka panjang berdampak langsung pada peningkatan gesekan dan konsumsi bahan bakar.

Karakteristik fisik yang mempengaruhi kinerja pelumas yaitu viskositas dan densitas. Viskositas menunjukkan kemampuan pelumas untuk mempertahankan lapisan film pelindung pada permukaan logam yang bergesekan. Seiring waktu dan penggunaan, pelumas dapat kehilangan kemampuan pelumasannya akibat proses termal, oksidasi, dan kontaminasi (Bupp et al., 2013; Csillag et al., 2019; Sriratana et al., 2018). Viskositas kinematik merupakan ukuran resistansi internal suatu *fluida* terhadap aliran di bawah gaya gravitasi. Parameter ini sangat penting untuk mengevaluasi kinerja dan kualitas pelumas dan minyak yang digunakan dalam berbagai sistem mekanik, termasuk mesin diesel maritim dan mesin kendaraan bermotor (Gierz et al., 2024; Sejkorová et al., 2021). Viskositas kinematik pelumas dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya:

1. Suhu, viskositas kinematik berkurang seiring dengan peningkatan suhu, hal ini dibuktikan berdasarkan pengamatan terhadap berbagai jenis minyak (Gierz et al., 2024; Ravendran et al., 2017).
2. Umur operasional pelumas mesin mempengaruhi viskositas kinematiknya. Degradasi aditif yang terjadi membuat viskositas berubah sehingga mempengaruhi sifat pelumasan (Kaminski, 2022; Zhukov et al., 2021).
3. Kontaminasi, dengan adanya kontaminan seperti bahan bakar diesel dapat secara signifikan mengubah viskositas kinematik dari minyak pelumas (Kaminski, 2022; Xu et al., 2025)

Selain pengaruh suhu, tekanan tinggi juga dapat menurunkan viskositas dan densitas pelumas. Oleh karena itu, sangat penting untuk mempertimbangkan kondisi operasional saat mengukur sifat fisik pelumas (Csillag et al., 2019; Dickmann et al., 2018; Rahman et al., 2012). Pengukuran dan pemantauan yang akurat diperlukan untuk memastikan pelumasan bekerja optimal, mengurangi keausan, dan memperpanjang umur operasional mesin dan peralatan, sehingga dapat menekan biaya operasional dan mengurangi pencemaran lingkungan (Sagin et al., 2021; Sagin & Semenov, 2016; Zhukov et al., 2021). Pengukuran viskositas dan densitas pelumas yang telah digunakan dapat memberikan informasi penting tentang kondisi aktual pelumas dan apakah pelumas tersebut masih efektif untuk digunakan lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pelumas baru dengan pelumas yang telah digunakan menggunakan metode uji viskositas dengan viskometer Ostwald dan piknometer. Harapannya dengan memahami perubahan yang terjadi pada pelumas setelah digunakan dapat memberikan rekomendasi yang lebih baik untuk pemeliharaan dan penggantian pelumas pada mesin induk kapal penangkap ikan.

BAHAN DAN METODE

Pelumas yang digunakan sebagai media penelitian diambil dari mesin induk mitsubishi 8DC11 yang digunakan untuk menggerakkan kapal dan diperlihatkan pada Gambar 1.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis *fluida* pada suhu tertentu untuk memberikan acuan dasar sebagai perbandingan telah banyak dilakukan, misalnya viskositas kinematik pelumas mesin SAE 40 pada suhu 100°C ditemukan sebesar 13,65 mm²/s (Anjorin & Mebude, 2019). Adapun spesimen uji pada penelitian ini berupa pelumas baru yang merupakan pelumas transmisi untuk mesin induk dengan jenis mediteran SAE 40 yang umum digunakan pada mesin diesel kapal penangkap ikan dan diambil langsung sebelum pelumas dimasukan ke *oil carter*. Spesimen kedua yang diambil yaitu pelumas yang telah digunakan dan diambil setelah penggunaan mesin selama satu trip (± 14 hari) dengan operasional mesin ± 258 jam kerja. Spesimen

ketiga yang digunakan sebagai parameter pembandingan pada pengujian ini yaitu air. Pengambilan sampel pelumas dilakukan pada kapal penangkap ikan yang ada di Bitung, Sulawesi Utara pada tanggal 17 Mei 2025 saat kapal melakukan *overhaul* mesin. Spesimen dari pelumas yang di uji diperlihatkan pada Gambar 2, untuk memberikan gambaran awal sebagai informasi adanya perbedaan warna yang terdapat antara pelumas yang baru dan bekas.



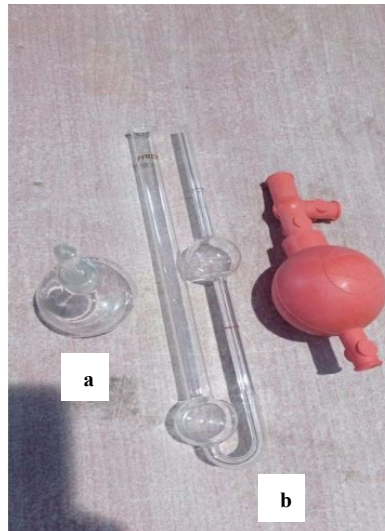
Gambar 1. Mesin Induk



Gambar 2. Spesimen Uji (a) Pelumas Baru, (b) Pelumas Bekas

Berbagai metode dan model tersedia untuk mengukur dan memprediksi viskositas kinematik, masing-masing dengan kelebihan dan aplikasi spesifiknya. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis komparatif menggunakan viskometer Ostwald untuk menentukan nilai viskositas dan piknometer untuk menentukan massa jenis pelumas (Gambar 3). Metode tradisional seperti viskometer kapiler Ubbelohde/ Ostwald banyak digunakan karena keakuratannya dalam menentukan viskositas kinematik pada suhu tertentu (Wolak et al., 2021). Viskometer Ostwald merupakan alat ukur yang umum digunakan untuk mengukur viskositas

kinematik dari suatu *fluida* termasuk pelumas sedangkan piknometer digunakan untuk mengukur densitasnya. Kombinasi kedua metode memberikan gambaran lengkap tentang perubahan sifat fisik pelumas setelah digunakan (Rahman et al., 2012; Verma et al., 2013).



Gambar 3. Alat Ukur (a) Piknometer, (b) Viskometer Ostwald

Pengukuran viskositas kinematik menggunakan viskometer Ostwald memenuhi standar ASTM D445, sedangkan pengukuran densitas dan berat jenis pelumas menggunakan piknometer mengikuti standar ASTM D1298 (International, 2020, 2021). Penggunaan piknometer dilakukan dengan mengukur massa piknometer kosong, kemudian mengukur massa piknometer berisi *fluida* uji (pelumas baru dan pelumas bekas) serta *fluida* acuan (air) secara terpisah dalam volume yang sama. Massa jenis *fluida* dihitung dengan membandingkan massa *fluida* (selisih massa total dan massa piknometer kosong) dengan volume *fluida* seperti terlihat pada persamaan 1 (Lorefice et al., 2014).

$$\rho = \frac{Massa_{total} - Massa_{kosong}}{Volume} \quad (1)$$

Pengujian menggunakan viskometer Ostwald dilakukan dengan cara mengisi alat yang telah bersih dengan *fluida*, lalu mengukur waktu yang dibutuhkan *fluida* untuk mengalir antara dua tanda pada pipa kapiler. Hasil waktu alir tersebut digunakan untuk menghitung viskositas *fluida* sesuai hukum *Poiseuille* pada persamaan (2) dan (3) dimana hasilnya nanti akan digunakan untuk menentukan klasifikasi nilai SAE pada Tabel 1.

$$\eta = \frac{\pi P r^4 t}{8 L V} \quad (2)$$

dimana: η = viskositas (Pa.s atau Ns/m²), P = tekanan (Pa), r = jari-jari pipa kapiler (m), t = waktu (s), L = panjang pipa kapiler (m), V = volume *fluida* yang mengalir (m³).

Selain mengukur waktu (t) untuk *fluida* uji (pelumas), juga diukur waktu (t₀) untuk *fluida* acuan

(air) dengan menggunakan rumus perbandingan, sehingga persamaan 1 dapat disubsitusi menjadi persamaan 3.

$$\frac{\eta_1}{\eta_0} = \frac{\rho_1 t_1}{\rho_0 t_0} \quad (3)$$

dimana: η = viskositas (Pa.s atau Ns/m²), ρ = massa jenis *fluida* (kg/m³), t = waktu (s).

Klasifikasi viskositas berdasarkan SAE (*Society of Automotive Engineers*) dimana mengkategorikan pelumas berdasarkan rentang viskositasnya pada suhu operasi tertentu, yang menunjukkan ketahanan *fluida* terhadap perubahan suhu dan beban mekanis ((SAE), 2021).

Tabel 1. Klasifikasi Viskositas SAE Berdasarkan SAE J300

Grade SAE	Viskositas Kinematik pada suhu 100°C (cSt)
SAE 20	5,6 – 9,3
SAE 30	9,3 – 12,5
SAE 40	12,5 – 16,3
SAE 50	16,3 – 21,9
SAE 60	21,9 – 26,1

Penggunaan kedua metode sangat membantu dalam memahami perubahan yang terjadi pada pelumas setelah digunakan dan menentukan kelayakannya. Penelitian membatasi analisis pada metode viskometer Ostwald dan piknometer, dimana tidak menggunakan metode viskosimetri yang lebih canggih secara ekstensif dikarenakan penerapannya pada kapal ikan dengan ukuran kecil hingga menengah sehingga dapat menekan harga.

HASIL DAN BAHASAN

Hasil

Spesifikasi dari mesin induk kapal penangkap ikan yang dilakukan pengambilan data ditunjukkan pada Tabel 2.

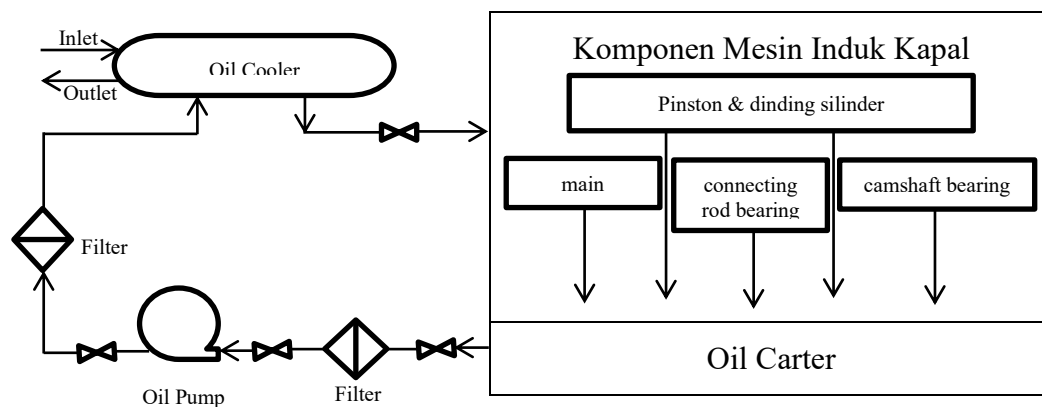
Tabel 2. Spesifikasi Mesin Induk

Uraian	Spesifikasi
Jenis Mesin	Mitsubishi 8DC11
Daya Keluaran	350 PS @ 2.200 rpm
Torsi	1.225 Nm @1.300 rpm
<i>Displacement</i>	17.737 cc
Silinder	V-8
Bore x Stroke	142 x 140 mm
Pendingin	<i>Water Cooled</i>
<i>Starting</i>	<i>Electric</i>
Injeksi	<i>Direct Injection, In Line</i>
Langkah Kerja	<i>4 Cycled</i>

Mesin induk kapal penangkap ikan yang digunakan memiliki 8 silinder berbentuk V dan

menggunakan *starting electric* dengan dua buah baterai untuk menyalakan motor *starter*.

Sistem pelumasan pada mesin induk merupakan *sump* basah dimana terlihat dari posisi peletakan *oil carter*. Diagram alir yang menunjukkan siklus kerja dari sistem pelumasan mesin induk diperlihatkan pada Gambar 4.



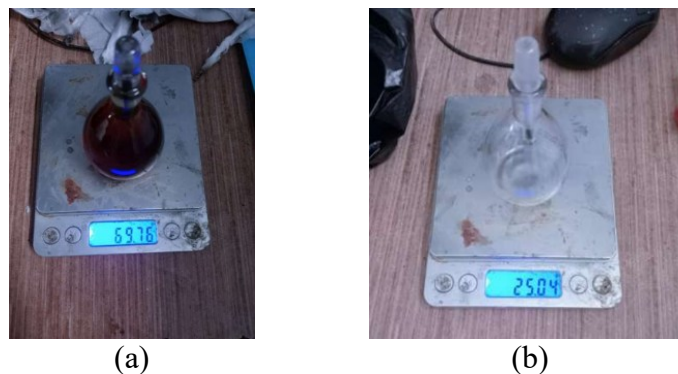
Gambar 4. Sistem pelumasan mesin induk

Sistem pelumasan pada mesin induk kapal penangkap ikan bekerja dengan cara pelumas disimpan di *oil carter* (bak bawah mesin) di pompa melalui *oil pump* memompa pelumas dari bak dengan melewati saringan awal (*strainer*) yang berfungsi mencegah partikel ukuran besar masuk ke sistem, kemudian pelumas dialirkan menuju *oil filter* untuk menyaring kotoran dan logam halus yang timbul akibat gesekan selama mesin beroperasi. Setelah disaring, pelumas melewati *oil cooler* untuk menurunkan suhu pelumas sehingga viskositasnya tetap stabil. Pelumas bertekanan kemudian dialirkan ke *main oil gallery*, lalu didistribusikan ke bagian-bagian vital seperti: *main bearing* (bantalan utama poros engkol), *connecting rod bearing* (bantalan batang torak), *camshaft bearing*, *piston cooling nozzle* (untuk pendinginan piston bawah). Sebagian pelumas naik ke dinding silinder melalui *oil scraper ring* pada piston untuk melumasi permukaan piston dan *silinder liner*. Setelah siklus pelumasan selesai, pelumas yang sudah bekerja akan turun kembali ke *oil carter* untuk didinginkan, disaring, dan digunakan kembali, semua proses ini membentuk sistem sirkulasi tertutup. Tabel 3 menyajikan informasi jenis dan parameter penting dari komponen sistem pelumasan. Tiap parameter pada tabel menggambarkan aspek fundamental, seperti jenis, tekanan, bahan, ukuran dan kapasitas.

Tabel 3. Spesifikasi Sistem Pelumasan Mesin Induk

Uraian	Spesifikasi
Jenis Pelumas	Mediteran SAE 40
Tekanan <i>Oil Pump</i>	4,0 – 5,5KG/CM2 (± 4 -5,5 Bar)
Kapasitas Aliran Pump	60-100 Liter/Menit
Tipe Filter	<i>Spin-On</i> atau <i>Cartridge</i> LF3325
Tipe Media Filter	<i>Cellulose Sintetis</i>
Diameter Pori	10 – 30 Mikron

Pengujian menggunakan piknometer dimana *fluida* uji (pelumas baru dan pelumas bekas) serta *fluida* acuan (air) diukur menggunakan timbangan digital yang diperlihatkan pada gambar 5. Adapun hasil pengukuran massa disajikan pada Tabel 4.



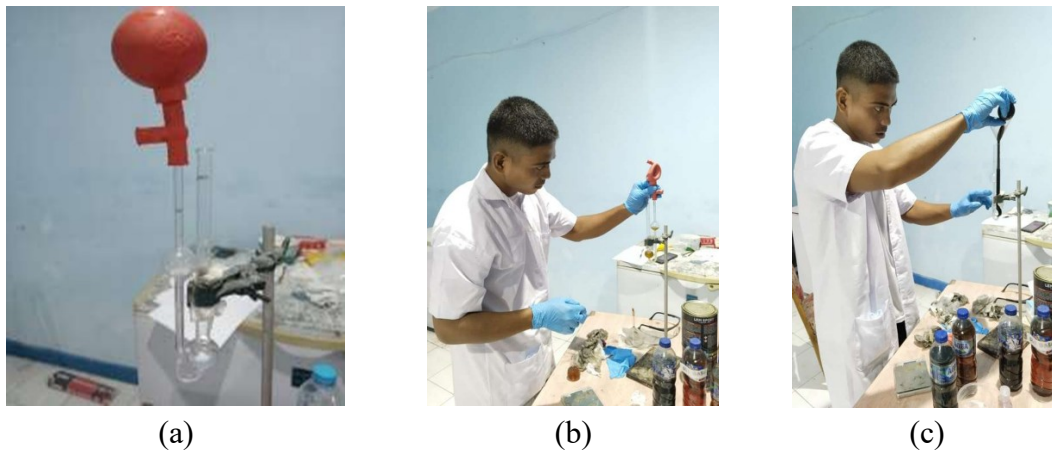
Gambar 5. Pengukuran piknometer (a) massa total *fluida* baru, (b) massa piknometer kosong

Tabel 4. Hasil Pengujian Massa *Fluida* Uji dan Acuan

Jenis <i>Fluida</i>	Massa Piknometer Kosong (g)	Massa Total (gr) ($m_{\text{piknometer}} + m_{\text{fluida}}$)	Volume <i>Fluida</i> (mL)
Pelumas Baru	25,04	69,76	50
Pelumas Bekas	25,04	68,89	50
Air	25,04	76,73	50

Massa total merupakan massa dari piknometer saat berisi *fluida* sedangkan massa piknometer kosong adalah massa yang di ukur sebelum piknometer di isi dengan *fluida*. Banyaknya *fluida* yang dimasukkan sama yakni 50 mL.

Pengujian menggunakan viskometer Ostwald dan *stopwatch* yang ditampilkan pada Gambar 6, dimana viskometer kapiler yang mengukur viskositas *fluida* dengan mencatat waktu alir *fluida* melalui tabung sempit akibat gravitasi sesuai prinsip Hagen-Poiseuille dimana waktu yang lebih lama menandakan *fluida* lebih kental. Pengambilan data pengukuran waktu dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan untuk masing-masing *fluida* yang hasilnya ditampilkan pada Tabel 5.



Gambar 6. Pengujian Viskometer Ostwald (a) air, (b) Pelumas Baru, (c) Pelumas Bekas

Tabel 5. Hasil Pengujian Pelumas

Data	Waktu Alir Fluida Baru	Waktu Alir Fluida Bekas
Pengujian I	356	291
Pengujian II	357	294
Pengujian III	358	296

Pembahasan

Merujuk pada data pengukuran massa *fluida* di Tabel 4, besarnya massa jenis dari masing-masing *fluida* uji dan pembanding dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

1. Massa Jenis Pelumas Baru : $\rho = \frac{69,76-25,04}{50} = 0,8944 \text{ gr/mL}$
2. Massa Jenis Pelumas Bekas : $\rho = \frac{68,89-25,04}{50} = 0,877 \text{ gr/mL}$
3. Massa Jenis Air : $\rho = \frac{76,73-25,04}{50} = 1,034 \text{ gr/mL}$

Hasil perhitungan memberikan perbandingan yang jelas antara massa jenis pelumas baru dan pelumas bekas terhadap air sebagai standar, sehingga dapat terlihat perubahan karakteristik massa jenis akibat proses penggunaan pelumas. Setelah mendapatkan massa jenis selanjutnya dilakukan perhitungan viskositas menggunakan persamaan (3) untuk pelumas baru dan bekas serta menggunakan air sebagai pembandingnya dengan nilai 0,893 sebagai acuan viskositas kinematik air yang diukur pada suhu ruang (Fadhilah et al., 2024; Fadilah et al., 2022).

1. Viskositas Pelumas Bekas:

$$\text{Pengujian I} : \eta_{\text{pelumas bekas}} = \frac{0,89 \times (0,877 \times 291)}{1,034 \times 5} = \frac{227,13}{5,17} = \frac{43,93}{4} = 10,98 \text{ cSt}$$

$$\text{Pengujian II} \quad : \eta_{\text{pelumas bekas}} = \frac{0,89 \times (0,877 \times 294)}{1,034 \times 5} = \frac{229,47}{5,17} = \frac{44,38}{4} = 11,09 \text{ cSt}$$

$$\text{Pengujian III} \quad : \eta_{\text{pelumas bekas}} = \frac{0,89 \times (0,877 \times 296)}{1,034 \times 5} = \frac{231,04}{5,17} = \frac{44,69}{4} = 11,17 \text{ cSt}$$

2. Viskositas Pelumas Baru:

$$\text{Pengujian I} \quad : \eta_{\text{pelumas baru}} = \frac{0,89 \times (0,894 \times 356)}{1,034 \times 5} = \frac{283,25}{5,17} = \frac{54,78}{4} = 13,69 \text{ cSt}$$

$$\text{Pengujian II} \quad : \eta_{\text{pelumas baru}} = \frac{0,89 \times (0,894 \times 357)}{1,034 \times 5} = \frac{284,05}{5,17} = \frac{54,94}{4} = 13,74 \text{ cSt}$$

$$\text{Pengujian III} \quad : \eta_{\text{pelumas baru}} = \frac{0,89 \times (0,894 \times 358)}{1,034 \times 5} = \frac{284,85}{5,17} = \frac{55,09}{4} = 13,77 \text{ cSt}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui range nilai viskositas kinematik untuk *fluida* uji pelumas bekas berada di *range* 10,98 cSt – 11,17 cSt sedangkan untuk *fluida* baru berada di kisaran 13,69 cSt – 13,77 cSt. Hasil dari nilai viskositas *fluida* uji selanjutnya disesuaikan dengan Tabel 1 untuk melihat nilai standar SAE berdasarkan viskositas kinematiknya yakni untuk pelumas bekas berada di SAE 30 dan untuk pelumas baru SAE 40. Pengamatan lapangan juga dilakukan untuk mengamati kemungkinan yang menjadi penyebab terjadinya penurunan nilai viskositas. Berdasarkan pengamatan, selain jam kerja mesin yang memang sudah memenuhi batas waktu penggantian pelumas, juga diketahui bahwa teknisi hanya melakukan penambahan oli saja jika kurang tanpa melakukan penggantian secara rutin, sehingga memungkinkan untuk terjadi akumulasi degradasi kimia dan kontaminasi yang mengubah komposisi *fluida* dari pelumas yang digunakan. Di masa mendatang dibutuhkan studi lanjutan terkait komposisi material penyusun dari pelumas untuk mengetahui salah satu faktor penyebab penurunan tersebut.

SIMPULAN

Perbandingan nilai viskositas pelumas pada mesin induk kapal penangkap ikan diperoleh berada pada rentang 13,69 cSt – 13,77 cSt, yang sesuai dengan rentang klasifikasi untuk SAE 40, sedangkan nilai viskositas untuk pelumas yang telah digunakan mengalami penurunan ke rentang 10,98 cSt – 11,17 cSt yang berada pada klasifikasi SAE 30. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, penggantian pelumas disarankan untuk dilakukan tidak hanya berdasarkan pemenuhan waktu operasional atau jarak tempuh, tetapi juga mengacu pada nilai aktual viskositas pelumas.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM International. (2020). *ASTM D1298-20: Standard test method for density, relative density (specific gravity), or API gravity of crude petroleum and liquid petroleum products by hydrometer method*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D1298-20>

- ASTM International. (2021). *ASTM D445-21: Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids (and calculation of dynamic viscosity)*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0445-21>
- Al-Shudeifat, M. A., Qureshi, M. F., Alnuaimi, M. A., & Al-Hamadi, H. (2024). Investigation of marine diesel engine lubrication oil degradation and its effect on performance parameters. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(4), 775. <https://doi.org/10.3390/jmse12040775>
- Anjorin, S. A., & Mebude, S. O. (2019). Design, Construction and Testing of a Viscometer. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 67(6), 111–120. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V67I6P221>
- Bupp, E., Williams, L., Wurzbach, R., & Staniewski, G. (2013). Absolute viscosity and sample density measurement methods to determine and report absolute and kinematic viscosity values for used lubricating oils. *Viscosity and Rheology of in Service Fluids as They Pertain to Condition Monitoring*, 66–76. <https://doi.org/10.1520/STP156420120193>
- Csillag, J., Petrović, A., Vozárová, V., Kosiba, J., & Majdan, R. (2019). Some rheological properties of new and used mineral lubricant and biolubricant for tractors. *Agronomy Research*, 17(6), 2233–2241. <https://doi.org/10.15159/AR.19.217>
- Dickmann, J. S., Devlin, M. T., Hassler, J. C., & Kiran, E. (2018). High Pressure Volumetric Properties and Viscosity of Base Oils Used in Automotive Lubricants and Their Modeling. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 57(50), 17266–17275. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b03484>
- Fadhilah, R. I., Arifin, A. Z., & Saputro, E. A. (2024). Calculation of Capillarity Constants in Ostwald Viscometer using The Water Viscosity Approach. *Jurnal Serambi Engineering*, 1X(4), 11295–11300.
- Fadilah, I., Sudarmawan, G., Yana Yusyama, A., Studi Konversi Energi, P., Teknik Mesin, J., Negeri Jakarta, P., & A Siwabessy, J. G. (2022). Pengaruh Jarak Tempuh Sepeda Motor Terhadap Nilai Viskositas Pelumas SAE 10w-40 dengan Metode Ostwald. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, 10, 1067–1073. <http://prosiding.pnj.ac.id>
- Gierz, Ł., Perz, K., Wieczorek, B., Peixoto, M. C., & Warguła, Ł. (2024). Kinematic Viscosity of Engine, Gear, Hydraulic and Special Purpose Oils at Temperatures of 25°C and 50°C. *Material and Mechanical Engineering Technology*, 2024(3), 11–16. https://doi.org/10.52209/2706-977X_2024_3_11
- Kaminski, P. (2022). Experimental Investigation into the Effects of Fuel Dilution on the Change in Chemical Properties of Lubricating Oil Used in Fuel Injection Pump of Pielstick PA4 V185 Marine Diesel Engine. *Lubricants*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/lubricants10070162>
- Lorefice, S., Romeo, R., Santiano, M., & Capelli, A. (2014). Original pycnometers for volatile liquid density over wide ranges of temperature and pressure: Practical example. *Metrologia*, 51(3), 154–160. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/51/3/154>
- Rahman, M. Q., Chuah, K.-S., MacDonald, E. C. A., Trusler, J. P. M., & Ramaesh, K. (2012). The effect of pH, dilution, and temperature on the viscosity of ocular lubricants-shift in rheological parameters and potential clinical significance. *Eye Basingstoke*, 26(12), 1579–1584. <https://doi.org/10.1038/eye.2012.211>

- Ravendran, R., Jensen, P., De Claville Christiansen, J., Endelt, B., & Jensen, E. A. (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>
- Sagin, S., Madey, V., & Stoliaryk, T. (2021). ANALYSIS OF MECHANICAL ENERGY LOSSES IN MARINE DIESELS. *Technology Audit and Production Reserves*, 5(2), 26–32. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.239698>
- Sagin, S. V., & Semenov, O. V. (2016). Motor oil viscosity stratification in friction units of marine diesel motors. *American Journal of Applied Sciences*, 13(2), 200–208. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2016.200.208>
- Sejkorová, M., Kučera, M., Hurtová, I., & Voltr, O. (2021). Application of FTIR-ATR spectrometry in conjunction with multivariate regression methods for viscosity prediction of worn-out motor oils. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/app11093842>
- Sriratana, W., Nakklinkoon, S., & Sathamsakul, S. (2018). Test of oil lubricant viscosity by using hall effect sensor. *ICEAST 2018 - 4th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology: Exploring Innovative Solutions for Smart Society*. <https://doi.org/10.1109/ICEAST.2018.8434468>
- Society of Automotive Engineers (SAE). (2021). *Engine Oil Viscosity Classification – SAE J300*. SAE International. <https://www.sae.org/standards/j300>
- Verma, M., Wasnik, N., Sai Sneha, T., & Rajalingam, S. (2013). Measurement of viscosity for various liquids by using Ostwald viscometer and interfacing with Labview. *International Journal of Applied Engineering Research*, 8(19 SPEC.IS), 2369–2372.
- Wolak, A., Zajac, G., & Słowik, T. (2021). Measuring kinematic viscosity of engine oils: A comparison of data obtained from four different devices. *Sensors*, 21(7). <https://doi.org/10.3390/s21072530>
- Xu, Y., Guo, Z., Rao, X., Yin, H., Jiang, S., Wu, M., Zhou, L., & Yuan, C. (2025). Wear Condition Evolution of Cylinder Liner-Piston Ring on the Two-Stroke Marine Diesel Engine Through Long-Term Monitoring and Analysis of Cylinder Oil. *Lubrication Science*, 37(4), 283–302. <https://doi.org/10.1002/ls.1748>
- Yoshida, K., Tanaka, H., & Murakami, T. (2020). Lubricating film thickness and anti-wear performance of marine engine oils under boundary lubrication. *Tribology International*, 149, 106337. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106337>
- Zhukov, V., Melnik, O., & Khmelevskaya, E. (2021). Changes in the kinematic viscosity of engine oil during the operation of marine diesel engines. *Journal of Physics: Conference Series*, 2131(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2131/3/032060>