Series: Engineering and Science Vol. 12 No. 1 (2026) E-ISSN: 2621-9794, P-ISSN: 2477-2097

STUDI PERFORMANSI DIESEL BERBAHAN BAKAR FAME 22%: RESPON OLI AKIBAT SISTEM PENDINGIN

Gusma Hamdana Putra[1)], Bambang Antoko[1)], Nopem Ariwiyanto[1)], Andie Wibowo[1)], Albert Wida Umbara[1)]

[1]Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

E-mail: hamdana.putra@ppns.ac.id

Abstract

Against the backdrop of the need for advanced biofuel development for national-scale application, a more detailed study of diesel engine performance characterization is needed. This study examines the effect of reducing the cooling system temperature (90-80°C) on the performance of a diesel engine fueled with 22% FAME (90% dexlite and 10% biodiesel) by comparing two lubricating oil viscosities (SAE 30 and 40). Tests were conducted at 4 piston revolutions (600-900 rpm) and 4 loads (25-95%), yielding 16 operating points per oil condition. The results show a sharp contrast in response: SAE 30 oil is very sensitive to temperature, with |%SFC| 15.1% at 90°C, and is more efficient at 16 points, while SAE 40 oil is much more resistant, with |%SFC| 3.6%. The temperature effect is concentrated in the low load zone. These initial findings suggest that the selection of oil viscosity determines the degree of performance dependence on coolant temperature management in low biodiesel blends.

Keywords: *diesel engine, FAME, cooling temperature, oil viscosity, performance*

Abstrak

Dilatarbelakangi kebutuhan pengembangan bahan bakar nabati tingkat lanjut untuk bisa diterapkan skala nasional, perlu dikaji lebih detail terkait karakterisasi performa pada mesin diesel. Penelitian ini mengkaji tentang pengaruh penurunan temperatur sistem pendingin (90-80°C) terhadap performa mesin diesel berbahan bakar FAME 22%, yaitu campuran antara dexlite 90% dan biosolar 10% dengan membandingkan dua viskositas oli pelumas (SAE 30 dan 40). Pengujian dilakukan di empat putaran piston (600-900 rpm) serta empat pembebanan (25-95%), menghasilkan 16 titik operasi per kondisi oli. Hasil menunjukkan kontras respons yang tajam: oli SAE 30 sangat sensitif terhadap temperatur yaitu |%SFC| 15,1% dengan kondisi 90°C lebih efisien pada 16 titik, sedangkan oli SAE 40 jauh lebih kebal yaitu |%SFC| 3,6%. Efek temperatur terkonsentrasi pada zona beban rendah. Temuan awal ini mengindikasikan bahwa pemilihan viskositas oli menentukan tingkat ketergantungan performa terhadap manajemen temperatur pendingin pada campuran biodiesel rendah.

Keywords: *mesin diesel, biodiesel B10, temperatur pendingin, viskositas oli, performansi*

PENDAHULUAN

Program pemerintah tentang mandatori biodiesel nasional terus ditingkatkan secara bertahap dan terstruktur, mulai dari B10 menuju B40 dan seterusnya. Kebijakan tersebut memiliki tujuan yaitu meningkatkan ketahanan energi nasional, dengan menekan ketergantungan terhadap impor bahan bakar, memperluas pemanfaatan biodiesel berbasis

minyak nabati seperti minyak sawit yang mana merupakan komoditas unggulan domestik (Sahara et al., 2022). Untuk memastikan ketersediaan dan kemampuan penerapan di lapangan terutama pada perilaku mesin diesel, perlu diuji secara komprehensif. Pengujian mesin diesel menggunakan campuran biodiesel 10% sebenarnya masih menunjukkan kondisi operasi konvensional, akan tetapi interaksi dengan parameter lain seperti temperatur sistem pendingin dan viskositas oli pelumas belum banyak dikaji (Mancarella & Marello, 2023).

Temperatur sistem pendingin merupakan parameter yang menentukan kondisi termal mesin diesel, yang tidak hanya mengatur temperatur fluida pendingin, namun secara langsung juga menentukan temperatur dinding silinder yang dapat mempengaruhi kualitas pembakaran, profil perpindahan panas, dan karakteristik gesekan gerak mekanis mesin (Mu et al., 2022). Viskositas oli ternyata mampu menentukan ketebalan film pelumas dan rugi gesekan (Hassan et al., 2026). Penelitian (Du et al., 2023), konsep tribologi piston ring-cylinder liner yang menggunakan teori temoelastohidrodinamik, menunjukkan bahwa temperatur liner merupakan parameter kritis dalam menentukan besar kecilnya kerugian daya akibat gesekan, yang berdampak pada emisi HC dan NOx dari pasangan ring kompresi-liner. Identifikasi ditemukan adanya rentang temperatur kerja liner optimal yang menghasilkan gesekan siklik minimum, bersifat independen terhadap putaran mesin. Pada temperatur liner rendah, gesekan viskos mendominasi, namun sebaliknya pada temperatur tinggi, gesekan batas meningkat akibat penipisan lapisan pelumas dan peningkatan interaksi aperitas.

Penelitian (Nenning et al., 2021) tentang pengujian pengaruh temperatur pendingin dan oli pada mesin menunjukkan bahwa penurunan temeratur mesin menyebabikan kenaikan friction losses, peningkatan ignition delay, serta perubahan karakteristik emisi. Implikasi temuan tersebut bahwa penurunan temperatur pendingin tidak hanya berdampak pada neraca termal mesin, namun juga mengubah kualitas proses pembakaran serta besarnya kerugaian mekanis secara simultan.

Berdasarkan riset tersebut, masih terdapat celah kajian pada campuran biodiesel rendah yaitu FAME 22%, pengaruh dari temperatur sistem pendingin dan viskositas oli pelumas terhadap parameter performa mesin. Studi pada umumnya menempatkan perubahan temperatur mesin sebagai bagian dari strategi manajemen termal atau sebagai variabel kontrol, bukan sebagai variabel bebas. Serta, perbandingan respons performa

antara dua grade oli tunggal (monograde) seperti SAE 30 dan 40 pada kondisi pengoperasian B10 belum banyak dilaporakan dalam literatur yang tersedia.

METODE PENELITIAN

Pengujian menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif dengan rancangan faktorial dua faktor, temperatur sistem pendingin serta viskositas oli pelumas. Kedua viskositas oli diuji secara terpisah untuk menghindari kontaminasi silang antara formulasi pelumas. Pengujian dilaksanakan pada mesin diesel yang dioperasikan menggunakan bahan bakar FAME 22%, yaitu campuran bahan bakar diesel yaitu Dexlite dan Biosolar dengan komposisi volume 90% dan 10%. Informasi karakteristik Dexlite menunjukkan bahwa bahan bakar tersebut masih mengandung 20% FAME, sedangkan bahan bakar Biosolar mengandung 40% FAME. Konfigurasi ini dipilih untuk merepresentasikan tahap awal transisi bahan bakar yang mendekati karakteristik bahan bakar diesel murni (Dex), sehingga pengaruh variabel operasi termal dan tribologis dapat diisolasi lebih baik.

Desain penelitian mengacu pada prinsip pengujian performa mesin diesel standar, pengoperasian mesin pada kondisi tunak (steady-state) sebelum setiap pencatatan data dilakukan. Kondisi tunak didefinisikan sebagai kondisi temperatur sistem pendingin, temperatur oli, kecepatan putar mesin, dan pembebanan telah stabil sebelum pengambilan data. Praktik ini mengacu pada praktik baku pengujian mesin diesel di laboratorium, yang mana stabilisasi penting untuk memperoleh data yang representatif dan terulang.

Pengujian dilakukan pada mesin Detroit Series 71, model 4-71N, yaitu mesin diesel dua-langkah, empat silinder segaris, naturally aspirated, dengan injeksi langsung melalui unit injektor. Spesifikasi utama mesin disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 1
Spesifikasi mesin uji Detroit Diesel 4-71N

Parameter	Detail
Konfigurasi	4 silinder segaris, 2-langkah
Diameter x langkah	108 mm x 127 mm (4.25 in x 5.0 in)
Volume langkah	4.65 L (284 cu in)
Rasio kompresi	18.7 : 1
Daya terukur	± 85–86 kW (114–116 BHP) @ 2100 rpm
Torsi puncak	± 485–552 N·m @ 1000–1600 rpm

Identifikasi variabel penelitian disusun sebagai berikut:

a. Variabel Bebas

Tabel 2
Variabel bebas

Parameter	Detail
Temperatur sistem pendingin	80°C dan 90°C
Viskositas oli pelumas	SAE 30 dan SAE 40
Putaran mesin (engine speed)	600, 700, 800, 900 rpm
Pembebanan mesin (engine load)	25%, 50%, 85%, 95% dari 100%

b. Variabel Terikat
   - Daya efektif (*Power*, BP) [kW]
   - Torsi (*Torque*, T) [N.m]
   - Konsumsi bahan bakar spesifik (*Specific Fuel Consumption*, BSFC) [g/kWh]
   - Efisiensi termal (*Thermal Efficiency*, ηth) [%]

c. Variabel Kontrol
   - Komposisi bahan bakar: FAME 22% (tetap untuk seluruh pengujian)
   - Kondisi atmosfer laboratorium
   - Prosedur stabilisasi kondisi tunak sebelum pencatatan data.

Setiap kondisi oli diuji pada 16 titik operasi yang merupakan kombinasi dari 4 level putaran piston mesin dan 4 level pembebanan, menghasilkan total 32 titik pengukuran untuk setiap parameter performa. Kondisi temperatur pendingin 90°C ditetapkan sebagai kondisi acuan, sedangkan kondisi 80°C adalah kondisi perlakuan yang perubahan performanya dievaluasi secara komparatif.

Pengambilan data dilakukan mengacu pada masing-masing variabel. Kuantitas bahan bakar yang diuji adalah sama untuk seluruh titik operasi. Pengambilan data meliputi hasil pembacaan dinamometer/alternator 3-fasa yang menyuplai load bank yaitu berupa tegangan (V) dan kuat arus (A), serta jumlah waktu (t) yang dibutuhkan dalam mengoperasikan mesin dengan kuantitas bahan bakar yang sama. Matriks titik pengujian sesuai kondisi oli (SAE 30 dan SAE 40) dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3
Matriks titik pengujian SAE 30 dan SAE 40

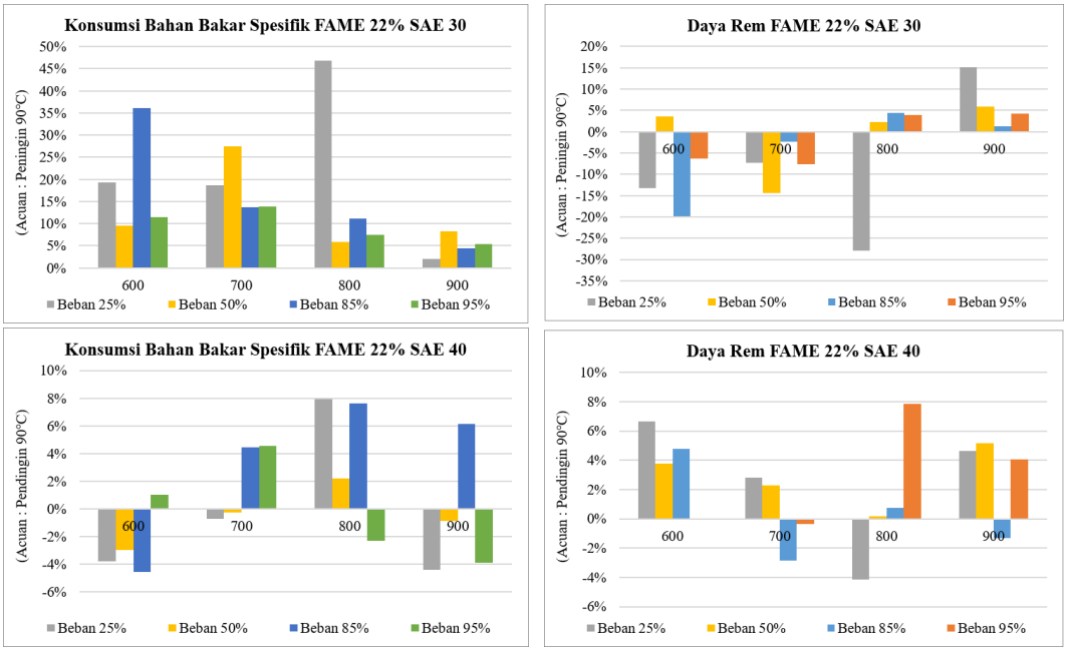
Parameter	Beban 25%	Beban 50%	Beban 85%	Beban 95%
600	√	√	√	√
700	√	√	√	√
800	√	√	√	√
900	√	√	√	√

Daya, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik, dan efisiensi termal didefinisikan dari persamaan dengan input tegangan, kuat arus, dan waktu konsumsi bahan bakar. Daya

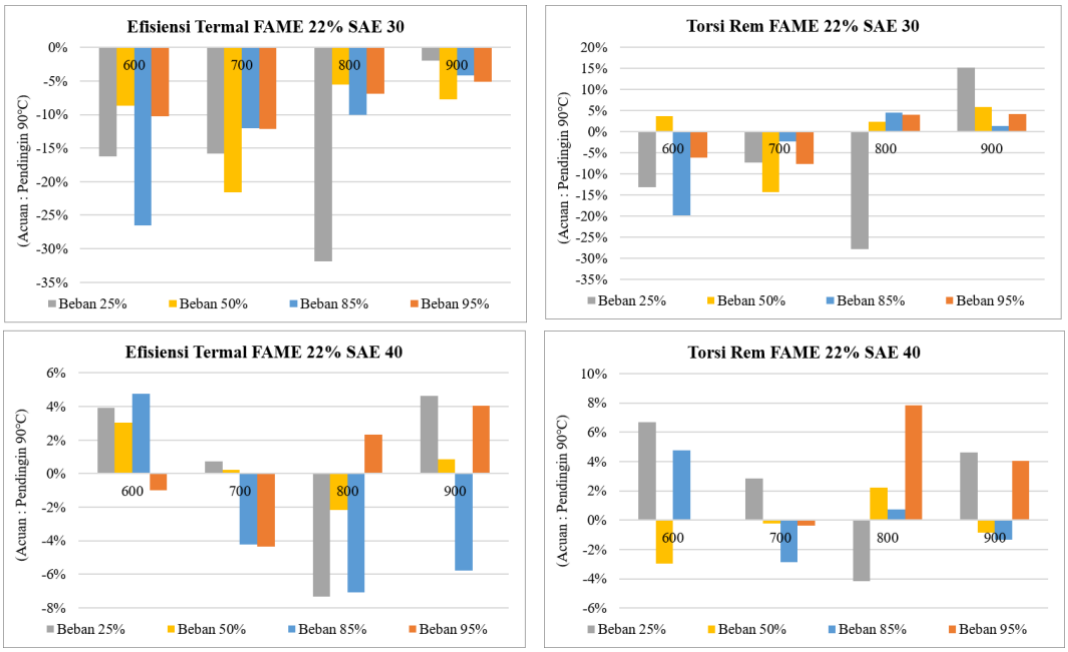
yang setara dengan daya listrik luaran alternator merupakan jumlah energi listrik per satuan waktu yang dihasilkan alternator dan diserap oleh load bank. Hasil tersebut merupakan beban nyata yang diterima mesin, serta diukur dari tegangan dan arus keluaran alternator.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Performa mesin diesel berbahan bakar FAME 22% dengan SAE 30 dan SAE 40, dan variasi pendingin dilihat pada gambar 1 dan 2 dibawah ini. Grafik tersebut merupakan persentase perbandingan pendingin 80°C dan 90°C dengan acuan 90°C. Batang positif menunjukkan bahwa performa bagus di kondisi 80°C, begitu juga sebaliknya.



Gambar 1. Daya dan konsumsi bahan bakar FAME 22% SAE 30 vs SAE 40



Gambar 2. Efisiensi termal dan torsi FAME 22% SAE 30 vs SAE 40

Gambaran umum tentang kontras respons antara SAE 30 dan SAE 40 adalah adanya temuan paling mencolok dari perbedaan dalam sensitivitas performansi mesin terhadap penurunan temperatur pendingin antara dua kelas viskositas oli yang diuji. Ringkasan agregat dapat dilihat pada tabel 4 berikut:

Tabel 4
Efek penurunan temperatur pendingin terhadap performansi

Parameter	SAE 30	SAE 40
|%Daya/Torsi| rata-rata	8,7%	3,2%
|%SFC| rata-rata	15,1%	3,6%
|%Efisiensi Termal| rata-rata	12,3%	3,5%
Titik di mana 90°C lebih efisien	16/16	7/16

Oli SAE 30, kondisi 90°C konsisten menghasilkan performa lebih baik dibanding 80°C di seluruh 16 titik operasi. Hal ini menunjukkan dependensi satu arah, oli SAE 30 sangat bergantung pada temperatur kerja yang lebih tinggi untuk mempertahankan efisiensinya. Sebaliknya, pada oli SAE 40, hanya 7 dari 16 titik yang menunjukkan keunggulan 90°C, mengindikasikan respons yang jauh lebih netral dan tidak sensitif terhadap temperatur pendingin 10°C. Perbedaan rata-rata |%SFC| untuk SAE 30 adalah 15,1%, dibandingkan dengan SAE 40 yaitu 3,6%, menunjukkan bahwa pemilihan grade

viskositas oli adalah penentu utama seberapa besar pengaruh temperatur pendingin berdampak pada efisiensi bahan bakar. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menegaskan bahwa SFC mesin diesel menurun seiring kenaikan temperatur oli maupun pendingin, serta SFC lebih sensitif terhadap perubahan temperatur oli dibandingkan temperatur pendingin (Garcia Tobar et al., 2025).

Terkait pengaruh temperatur terhadap gesekan piston-liner, ditemukan bahwa pada SAE 30 yang mana pendinginan diturunkan menjadi 80°C, viskositas efektif SAE meningkat siginifikan di kontak piston-liner, dibuktikan dengan daya yang lebih rendah dan SFC yang tinggi, serta hasil yang konsisten pada 16/16 titik. Pada SAE 40, walaupun mekanisme yang berlaku adalah sama, namun besarnya perubahan viskositas pada rentang 80-90°C relatif lebih kecil karena SAE 40 beroperasi pada bagian kurva viskositas-suhu yang sudah lebih datar pada rentang tersebut. Perubahan dari *Friction Mean Effective Pressure* (FMEP) yang mana didapat dari *friction losses* menjadi lebih kecil, sehingga menghasilkan performa lebih kecil, sehingga pada 16 titik operasi, faktor lain seperti variasi kecil dalam pembakaran dapat mengimbangi bahkan membalikkan arah pengaruh temperatur dibuktikan sejumlah 7/16 titik tidak konsisten. Penelitian lainnya menjelaskan bahwa temperatur sistem pendingin mampu menentukan temperatur dinding silinder, bahkan mampu menentukan kondisi film pelumas pada kontak piston ring-liner. Pengurangan baik temperatur pendingin dan oli mampu meningkatkan *friction losses*, memperpanjang *ignition delay*, dan mempengaruhi efisiensi termal, dengan kondisi yang bergantung pada mode operasi. Pada beban rendah dan menengah, pengaruh gesekan akibat penurunan temperatur lebih dominan, sedangkan pada beban penuh, efek kompensasi dari peningkatan efisiensi volumetrik dapat menekan penurunan efisiensi (Lodi et al., 2020) .

Analisis sebaran efek temperatur per zona beban didominasi di beban rendah SAE 30. Puncak |%SFC| mencapai 21,7% di beban 25%, kemudian turun kontinu hingga 9,5% di beban 95%. Pola ini mencerminkan mekanisme fisis yang konsisten dengan literatur yang dilakukan oleh (Sabahi et al., 2022), mesin beroperasi pada *friction-dominant regime* di mana kerugian gesekan mekanis adalah proporsi yang lebih besar dari total kerja yang dilakukan, sehingga peningkatan FMEP akibat viskositas yang lebih tinggi memberikan dampak relatif yang lebih besar terhadap BSFC. Selain itu, pada beban rendah, kualitas pembakaran lebih rentan terhadap kondisi termal yang kurang optimal,

sehingga temperatur dinding silinder yang lebih dingin mempersulit penguapan dan pencampuran bahan bakar, meningkatkan *ignition delay*, dan menghasilkan pembakaran yang kurang sempurna.

SIMPULAN

Penurunan temperatur pendingin dari 90°C ke 80°C menurunkan efisiensi pada B10 dengan oli SAE 30 secara konsisten (90°C lebih efisien di 16/16 titik, |%SFC| 15,1%). Oli SAE 40 jauh lebih kebal terhadap variasi temperatur (|%SFC| 3,6%), sehingga pemilihan viskositas oli menjadi penentu tingkat ketergantungan performa terhadap temperatur pendingin. Selain itu, efek temperatur terkonsentrasi pada zona beban rendah, sesuai area gesekan-dominan. Sebagai studi pendahulu, penelitian ini akan dilanjutkan dengan analisis campuran biodiesel lebih tinggi dan kajian durabilitas oli (degradasi viskositas, keausan) pada operasi jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

Du, C., Sheng, C., Liang, X., Rao, X., & Guo, Z. (2023). Effects of Temperature on the Tribological Properties of Cylinder-Liner Piston Ring Lubricated with Different Oils. *Lubricants*, *11*(3). https://doi.org/10.3390/lubricants11030115

Garcia Tobar, M., Pinta Pesantez, K., Jimenez Romero, P., & Contreras Urgiles, R. W. (2025). The Impact of Oil Viscosity and Fuel Quality on Internal Combustion Engine Performance and Emissions: An Experimental Approach. *Lubricants*, *13*(4). https://doi.org/10.3390/lubricants13040188

Hassan, Q. H., Al-Abboodi, H., & Aldulaimy, R. (2026). Tribological effects of engine oil type on diesel engine efficiency and pollutant formation. *Combustion Engines*. https://doi.org/10.19206/CE-218925

Lodi, F., Zare, A., Arora, P., Stevanovic, S., Jafari, M., Ristovski, Z., Brown, R. J., & Bodisco, T. (2020). Engine Performance and Emissions Analysis in a Cold, Intermediate and Hot Start Diesel Engine. *Applied Sciences*, *10*(11). https://doi.org/10.3390/app10113839

Mancarella, A., & Marello, O. (2023). Effect of Coolant Temperature on Performance and Emissions of a Compression Ignition Engine Running on Conventional Diesel and Hydrotreated Vegetable Oil (HVO). *Energies*, *16*(1). https://doi.org/10.3390/en16010144

Mu, H., Wang, Y., Yang, C., Teng, H., Zhao, X., Lu, H., Wang, D., Hao, S., Zhang, X., & Jin, Y. (2022). Technical research on improving engine thermal efficiency. *Advances in Mechanical Engineering*, *14*(9), 16878132221125032. https://doi.org/10.1177/16878132221125032

Nenning, L., Eichlseder, H., & Egert, M. (2021). Cold emission optimization of a diesel- and alternative fuel-driven CI engine. *Automotive and Engine Technology*, *6*(3), 235–246. https://doi.org/10.1007/s41104-021-00089-y

Sabahi, B., Bahrami, H., Sheikhdavoodi, M. J., Safieddin Ardebili, S. M., & Houshyar, E. (2022). Effect of Gaseous Fuels and Coolant Temperature on Performance and Combustion Characteristics of a Low-Speed Single Cylinder Diesel Engine. *Journal of Agricultural Machinery*, *12*(3), 351–366. https://doi.org/10.22067/jam.2021.68089.1007

Sahara, Dermawan, A., Amaliah, S., Irawan, T., & Dilla, S. (2022). Economic impacts of biodiesel policy in Indonesia: a computable general equilibrium approach. *Journal of Economic Structures*, *11*(1), 22. https://doi.org/10.1186/s40008-022-00281-9