

Analisis Pengaruh Penambahan Zat Aditif (2-EHN) Terhadap Peforma *Four Stroke Diesel Engine* Menggunakan *Multi Feedstock Biodiesel*

Aminatus Sa'diyah¹, Muchammad Hilmi Al Farisi², Callysta Nazeilla Rachma³, Edi Haryono⁴

^{1,3} Teknologi Rekayasa Energi Berkelanjutan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia (Kampus ITS Sukolilo), Surabaya, 60111, Indonesia

^{2,4} Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia (Kampus ITS Sukolilo), Surabaya, 60111, Indonesia

Email: am.sadiyah@ppns.ac.id¹, hilmifarisi31@student.ppns.ac.id², callystanazeilla@student.ppns.ac.id³,
edi_haryono@ppns.ac.id⁴

Abstrak

Kebutuhan bahan bakar fosil yang terus meningkat memicu kekhawatiran terhadap keterbatasan cadangannya dan dampak buruk yang ditimbulkan terhadap lingkungan. Biodiesel berbasis minyak nabati menjadi salah satu alternatif energi terbarukan yang berpotensi dan ramah lingkungan. Namun penggunaan biodiesel belum sepenuhnya optimal, khususnya dalam hal efisiensi performa mesin diesel. Salah satu solusi yang dapat mengatasi permasalahan tersebut ialah dengan penambahan zat aditif seperti 2-Ethylhexyl Nitrate (2-EHN) yang berperan untuk meningkatkan angka setana pada biodiesel. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan zat aditif 2-Ethylhexyl Nitrate (2-EHN) terhadap performa mesin diesel empat langkah menggunakan bahan bakar multi-feedstock biodiesel yang merupakan campuran dari minyak kelapa sawit, minyak jelantah, dan minyak kedelai. Variasi bahan bakar yang diuji pada penelitian ini meliputi B35, B40, dan B100 dengan penambahan zat aditif 2-EHN sebesar 0,5%, 1%, dan 3%. Uji performa mesin dilakukan dengan variasi putaran (1000, 1200, dan 1400 rpm) dan beban (2000, 3000, dan 4000 watt), serta pengujian sifat fisikokimia bahan bakar seperti viskositas, densitas, titik nyala, angka setana, dan nilai kalor. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan zat aditif 2-EHN mampu meningkatkan angka setana, menurunkan viskositas dan meningkatkan efisiensi pembakaran. Campuran B40 dengan penambahan 0,5% zat aditif 2-EHN menunjukkan performa mesin terbaik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan zat aditif pada bahan bakar multi-feedstock biodiesel dengan konsentrasi yang sesuai mampu meningkatkan performa biodiesel dan memperluas potensi penggunaannya sebagai bahan bakar alternatif yang berkelanjutan.

Kata kunci: 2-EHN, biodiesel, multi-feedstock, performa mesin diesel

Abstract

The increasing demand for fossil fuels has raised concerns regarding the depletion of their reserves and the negative environmental impacts they cause. Biodiesel derived from vegetable oils has emerged as a promising and environmentally friendly alternative renewable energy source. However, the use of biodiesel is not yet fully optimal, particularly in terms of diesel engine performance efficiency. One potential solution to this issue is the addition of fuel additives such as 2-Ethylhexyl Nitrate (2-EHN), which functions as a cetane number enhancer in biodiesel. This study aims to analyze the effect of adding 2-Ethylhexyl Nitrate (2-EHN) on the performance of a four-stroke diesel engine using multi-feedstock biodiesel, which is a blend of palm oil, used cooking oil, and soybean oil. The fuel variations tested in this research include B35, B40, and B100 with 2-EHN additive concentrations of 0.5%, 1%, and 3%. Engine performance tests were conducted under varying engine speeds (1000, 1200, and 1400 rpm) and loads (2000, 3000, and 4000 watts), along with physicochemical analyses of the fuel, such as viscosity, density, flash point, cetane number, and calorific value. The results show that the addition of 2-EHN increases the cetane number, reduces viscosity, and improves combustion efficiency. The B40 blend with 0.5% 2-EHN additive demonstrated the best engine performance. Overall, the findings indicate that adding 2-EHN at an appropriate concentration to multi-feedstock biodiesel can enhance fuel performance and expand its potential as a sustainable alternative energy source.

Keywords: 2-EHN, biodiesel, multi-feedstock, diesel engine performanc

1. Pendahuluan

Minyak bumi termasuk kategori sumber daya biotik atau sumber daya yang tidak dapat diperbaharui sehingga ketersediannya bahan bakar minyak bumi menjadi terbatas dan tidak dapat menjamin pasokan dimasa yang mendatang. Berdasarkan data Kementerian ESDM, tercatat bahwa Indonesia memiliki cadangan minyak bumi sebesar 2,36 miliar barel. Dengan tingkat produksi minyak nasional rata-rata sebesar 0,778 juta barel per hari, cadangan yang ada diperkirakan hanya mencukupi kebutuhan 8.5 tahun kedepan saja. Selain itu, penggunaan bahan bakar minyak dapat memberikan dampak buruk terhadap lingkungan, seperti meningkatkan emisi gas rumah kaca, menyebabkan polusi udara, dan memicu perubahan iklim (Salsabila, Ernah, Trimio, & Suminartika, 2024). Disamping itu, penggunaan minyak bumi memiliki peran krusial dalam mendukung pertumbuhan sektor transportasi, serta mendorong pertumbuhan sektor industri, pertanian, dan memenuhi berbagai kebutuhan manusia. Mengingat kondisi pasokan bahan bakar minyak yang terbatas, para ilmuwan dan peneliti secara aktif mengeksplorasi berbagai sumber energi alternatif. Seiring dengan menipisnya cadangan fosil, energi terbarukan menjadi pilihan yang menarik (Listyanto, 2020).

Bioenergi menjadi salah satu opsi yang menjanjikan diantara berbagai macam jenis energi terbarukan yang ada, terutama pada sektor transportasi (Khan, et al., 2021). Bioenergi berasal dari 2 gabungan kata “bio” dan “energi”, yang merujuk pada energi yang bersumber dari biomassa. Biomassa sendiri merupakan material organik yang berasal dari organisme hidup, baik tumbuhan maupun hewan, yang produknya dapat dijadikan sebagai sumber energi. Salah satu produk dari biomassa yakni biodiesel (Sulasminingsih, Hafiz, Sari, & Yuninda, 2023). Biodiesel merupakan salah satu alternatif bahan bakar yang telah lama dikaji sebagai upaya mencegah langkahnya energi fosil. Biodiesel berasal dari minyak nabati yang diekstraksi dari tanaman. Bahan bakar ini dikenal ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang lebih rendah dibanding bahan bakar fosil. Selain tidak mengandung sulfur, biodiesel juga memiliki tingkat keasapan yang rendah, angka setana yang tinggi, serta mampu terurai secara alami, sehingga memberikan sejumlah keunggulan dalam aspek lingkungan dan performa (Wafir, Listyadi, Rei, & Ilminnafik, 2019). Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti solar pada mesin diesel. Bahan bakar ini dibuat dari sumber minyak nabati, seperti minyak kelapa sawit, jarak pagar, kelapa, kedelai, dan berbagai jenis biji-bijian lainnya.

Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), program mandatori biodiesel di Indonesia telah dimulai sejak tahun 2008 dengan target implementasi campuran biodiesel B2,5 hingga B7,5. Dari tahun ke tahun program ini terus berkembang, dengan target B10 pada tahun 2014, B15 pada 2015, serta B20 yang diimplementasikan antara 2016 hingga 2019 (esdm.go.id, 2018). Selanjutnya, pada tahun 2023 hingga 2024, pemerintah telah mendorong penggunaan B35 (esdm.go.id, 2023), dan menargetkan penerapan B40 pada awal tahun 2025 (esdm.go.id, 2024). penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar mesin diesel 4 langkah menjadi sorotan di kalangan akademisi dan industri karena potensinya sebagai bahan bakar alternatif. Namun, masih ada tantangan yang harus diatasi, mengingat karakteristik fisik dan kimia biodiesel performa mesin.

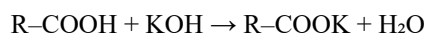
Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja biodiesel adalah melalui penambahan zat adiktif. Penambahan zat aditif pada bahan bakar terbukti mampu meningkatkan angka setananya. Bahan bakar yang memiliki angka setana yang lebih tinggi menunjukan bahwa bahan bakar tersebut lebih mudah terbakar, sehingga proses pembakaran berlangsung lebih efisien. Selain itu, aditif ini juga memperkaya kandungan oksigen dalam bahan bakar, yang membantu memperbaiki kualitas pembakaran, menurunkan emisi gas buang berbahaya, serta meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar. Penelitian mengenai penambahan zat aditif pada bahan bakar masih terus berkembang dan berfokus pada pemilihan aditif yang paling efisien dan analisis pengaruhnya terhadap performa mesin diesel. (Muhadi & Zainuri, 2024). Oleh karena itu, penggunaan zat aditif ini memiliki potensi untuk meningkatkan performa mesin diesel secara menyeluruh serta menurunkan tingkat konsumsi bahan bakar.

Berdasarkan paparan diatas mengenai risiko dan dampak buruk dari penggunaan bahan bakar fosil secara berkelanjutan, jelas bahwa hal tersebut dapat merusak lingkungan dan mengganggu kesehatan makhluk hidup di sekitar. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan zat aditif 2-EHN pada performa mesin diesel empat langkah yang menggunakan bahan bakar biodiesel B35, B40 dan B100 guna mewujudkan bahan bakar alternatif yang efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

2. Tinjauan Pustaka

Biodiesel umumnya dibuat melalui reaksi transesterifikasi atau reesterifikasi. Proses ini terjadi karena adanya reaksi senyawa ester dan alkohol yang dipercepat dengan penggunaan katalis (Devita, 2015). Secara umum, reaksi transesterifikasi adalah reaksi kimia antara trigliserida yang terdapat pada minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek, yang menghasilkan metil ester asam lemak (Fatty Acids Methyl Esters (FAME)) atau biodiesel serta gliserol sebagai produk samping. Namun, apabila minyak nabati yang digunakan memiliki asam lemak bebas (Free

Fatty Acid/FFA) yang sangat tinggi, maka perlu dilakukan proses esterifikasi terlebih dahulu. Hal ini dikarenakan kadar FFA yang tinggi dapat menyebabkan pembentukan sabun, sebagaimana ditunjukkan dalam reaksi (Mardawati, Hidayat, Rahmah, & Rosalinda, 2019):



Bahan baku biodiesel berasal dari sumber daya terbarukan seperti minyak nabati, termasuk minyak kelapa sawit, jarak pagar, kedelai, bunga matahari, tebu, alpukat, serta lemak hewani, minyak jelantah, atau limbah lemak lainnya. Bahan-bahan tersebut mengandung trigliserida, asam lemak bebas, dan senyawa pengotor. Pembuatan biodiesel memerlukan bahan pendukung seperti alkohol, dimana jenis alkohol yang sering digunakan adalah methanol. Penggunaan alkohol perlu diperhatikan kadar airnya, karena kadar air yang tinggi dapat menyebabkan penurunan kualitas dari biodiesel yang dihasilkan (Devita, 2015). Biodiesel sebagai bahan bakar alternatif memiliki keunggulan pada proses pembakarannya tidak menghasilkan belerang, bahkan biodiesel penggunaan biodiesel mampu mengurangi emisi karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan partikel lainnya (Sitorus, Ariani, & Lubis, 2018).

Dalam rangka upaya meningkatkan efisiensi dan ketersediaan bahan baku, penggunaan biodiesel berbasis multi-feedstock menjadi salah satu strategi yang banyak dikembangkan. Multi-feedstock menggabungkan berbagai jenis minyak, seperti minyak kelapa sawit, minyak jelantah, dan minyak kedelai, untuk menghasilkan bahan bakar dengan stabilitas karakteristik fisikokimia yang lebih baik. Minyak kelapa sawit dan minyak jelantah memiliki karakteristik yang hampir sama. Kedua minyak tersebut mengandung trigliserida, disamping asam lemak bebas, oleh karena itu kedua minyak ini memungkinkan untuk digunakan sebagai bahan baku biodiesel. Minyak kedelai juga menjadi salah satu minyak yang berasal dari kacang yang memiliki kualitas dan dapat digunakan untuk memproduksi biodiesel.

Penambahan zat aditif seperti 2-Ethylhexyl Nitrate (2-EHN) diperlukan guna meningkatkan performa pada bahan bakar multi-feedstock biodiesel pada penelitian ini. 2-EHN (2-Ethylhexyl Nitrate) merupakan senyawa adiktif yang tersusun dari molekul etil heksana dengan satu atom hidrogen yang tersubstitusi oleh NO₃ gugus fungsi nitrate (Kuszewski & Jaworski, 2024). Senyawa ini berfungsi untuk memperbaiki sifat pembakaran bahan bakar, meningkatkan kualitas pembakaran, mengurangi gejala ketukan (knocking) pada mesin, serta mendukung peningkatan performa mesin secara keseluruhan (Pan, et al., 2018).

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Bahan bakar yang dilakukan pada penelitian ini adalah multi-feedstock biodiesel hasil dari pencampuran minyak kelapa sawit, minyak jelantah, dan minyak kedelai dengan perbandingan 1:1:1. Setelah itu, dilakukan pembuatan bahan bakar B35 (35% biodiesel), B40 (40% biodiesel), dan B100 (100% biodiesel) adalah dengan cara mencampurkan *multi-feedstock* biodiesel dengan solar (Pertamina Dex). Masing-masing hasil pencampuran bahan bakar diberi tambahan zat aditif 2-Ethylhexyl Nitrate (2-EHN) dengan 3 variasi konsentrasi, yakni 0,5%, 1%, dan 3% dari volume total bahan bakar. Proses pengadukan dilakukan menggunakan pipa pengaduk untuk memastikan homogenitas campuran.

Pengujian pada penelitian ini menggunakan motor diesel four-stroke merk Jiangdong type ZH1115N yang dikopel dengan generator A.C.SYNCHRONOUS jenis generator STC-5. Mesin diuji pada 3 frekuensi putaran (1000 RPM, 1200 RPM, dan 1400 RPM) dengan diberi 3 variasi beban lampu (2000 Watt, 3000 Watt, dan 4000 Watt). Beberapa parameter yang diamati pada pengujian ini yakni, daya, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC), dan tekanan efektif rata-rata (BMEP).

Tabel 1. Variabel pengukuran

Variabel	Uraian
Terikat	1. Daya yang dihasilkan <i>four stroke diesel engine</i>. 2. Torsi yang dihasilkan <i>four stroke diesel engine</i>. 3. <i>Brake specific fuel consumption</i> (bsfc) yang dibutuhkan pada unjuk kerja <i>four stroke diesel engine</i>. 4. <i>Brake Mean Effective Pressure</i> (bmep)

	yang dibutuhkan pada unjuk kerja <i>four stroke diesel engine</i> .
Bebas	1. Beban lampu (Lampu 2000 Watt, 3000 Watt, dan 4000 Watt). 2. Frekuensi putaran mesin (1000 RPM, 1200 RPM, 1400 RPM). 3. Presentase <i>multi-feedstock</i> biodiesel terhadap Pertamina Dex (35%, 40%, dan 100%). 4. Presentase Zat Aditif 2-EHN (0,5%, 1%, 3%)

Selain pengujian performa mesin, dilakukan pula pengujian karakteristik bahan bakar biodiesel, yang meliputi viskositas, densitas, titik nyala (*flash point*), angka setana, dan nilai kalor. Pengujian viskositas, densitas, dan flash point dilakukan di Laboratorium Kimia PPNS, sedangkan angka setana dan nilai kalor diuji di Laboratorium Energi ITS. Data yang diperoleh dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh variasi komposisi campuran biodiesel dan konsentrasi aditif 2-EHN terhadap performa mesin diesel empat langkah.

4. Hasil dan Diskusi

Berdasarkan pengujian pada penelitian ini, terdapat 2 dua bagian utama, yaitu analisis karakteristik bahan bakar biodiesel dan evaluasi performa mesin diesel empat langkah terhadap variasi campuran biodiesel *multi-feedstock* dan penambahan aditif 2-EHN (2-Ethylhexyl Nitrate). Pengujian karakteristik bahan bakar bertujuan untuk mengetahui sifat fisikokimia dari masing-masing campuran bahan bakar, seperti densitas, viskositas, nilai kalor, titik nyala, dan angka setana. Sementara itu, pengujian performa mesin dilakukan untuk menilai pengaruh variasi bahan bakar terhadap parameter kerja mesin, meliputi daya, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC), dan tekanan efektif rata-rata (BMEP).

4.1 Hasil Karakteristik Biodiesel

Data hasil pengujian karakteristik Pertamina Dex dan bahan bakar *multi-feedstock* biodiesel dengan variasi B40, 40+EHN 0,5%, B40+EHN 1%, B40+EHN 3% dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Hasil uji karakteristik bahan bakar

Bahan Bakar	Titik Nyala (°C)	Densitas (kg/m ³)	Viskositas (cSt)	Angka Setana	Nilai Kalor (cal/g)
B40	67 °C	872	7,87	58	10,296
B40 + EHN 0,5%	67 °C	872	5,84	>59,2	10,495
B40 + EHN 1%	67 °C	872	6,12	>59,2	10,446
B40 + EHN 3%	65 °C	876	5,78	>59,2	10,394

Analisis Densitas

Dari hasil pengujian, penambahan 2-EHN tidak memberikan perubahan signifikan terhadap densitas bahan bakar. Nilai densitas tetap konstan pada 872 kg/m³ untuk B40, B40 + EHN 0,5%, dan B40 + EHN 1%, sementara sedikit meningkat menjadi 876 kg/m³ pada B40 + EHN 3%.

Analisis Viskositas

Penurunan viskositas terlihat sangat jelas pada penambahan zat aditif. B40 tanpa aditif memiliki viskositas tertinggi sebesar 7,87 cSt, dan mengalami penurunan signifikan menjadi 5,84 cSt pada B40 + EHN 0,5% dan 5,78 cSt pada B40 + EHN 3%. Penurunan ini menunjukkan bahwa 2-EHN memiliki kemampuan menstabilkan aliran bahan bakar serta mempermudah atomisasi di dalam ruang bakar. Viskositas yang lebih rendah, pembakaran menjadi lebih cepat dan efisien.

Analisis Angka Setana

Penambahan 2-EHN juga berperan sebagai cetane improver, yaitu senyawa yang mempercepat ignition delay. Hasil pengujian menunjukkan bahwa angka setana B40 meningkat dari 58 menjadi lebih dari 59,2 pada semua variasi penambahan aditif. Peningkatan ini sangat penting karena angka setana yang lebih tinggi mempermudah bahan bakar untuk terbakar saat proses injeksi, sehingga pembakaran terjadi secara optimal.

Analisis Titik Nyala (Flash Point)

Titik nyala semua variasi tetap relatif tinggi dan aman. B40, B40 + EHN 0,5%, dan B40 + EHN 1% memiliki nilai titik nyala 67 °C, sedangkan pada penambahan EHN 3%, nilai sedikit menurun menjadi 65 °C. Penurunan kecil ini masih dalam batas aman untuk penyimpanan dan transportasi bahan bakar.

Analisis Nilai Kalor

Nilai kalor tertinggi diperoleh pada B40 + EHN 0,5%, yaitu 10.495 cal/g, menunjukkan bahwa pembakaran dengan konsentrasi aditif rendah justru memberikan energi paling besar. Penambahan aditif dalam jumlah lebih tinggi (3%) justru sedikit menurunkan nilai kalor menjadi 10.394 cal/g.

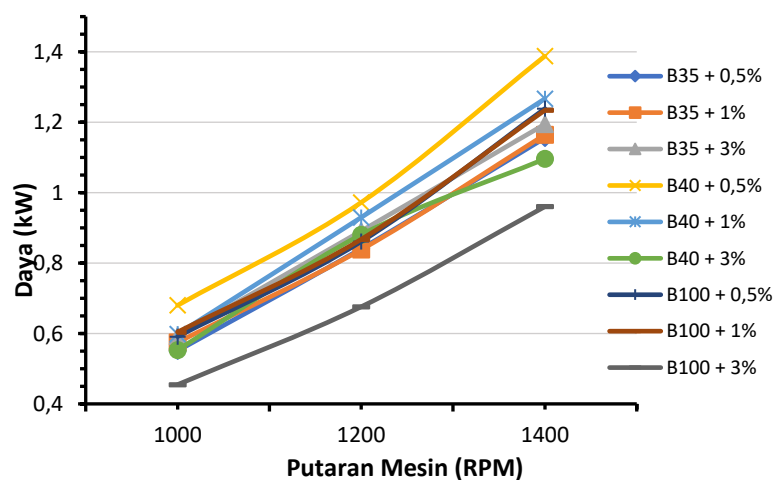
4.2 Hasil Uji Performa

Pada tahap ini dilakukan uji performa pada motor diesel empat langkah yang mencakup daya, torsi, BSFC, dan BMEP. Uji performa ini dilakukan pada motor diesel menggunakan bahan bakar *multi-feedstock* biodiesel B35, B40, B100 dengan penambahan zat aditif 2-EHN 0,5%, 1%, dan 3%. Variasi putaran RPM yang digunakan adalah 1000 RPM, 1200 RPM, 1400 RPM dimana penentuan variasi putaran RPM ditentukan berdasarkan titik putaran motor diesel pada kondisi stasioner pada RPM 1000 dan kondisi kerja maksimal dari putaran RPM generator yaitu RPM 1500, sehingga nilai RPM tertinggi yang diuji tidak lebih dari RPM 1500 untuk factor kelancaran dan keselamatan pengujian. Untuk penentuan beban yang digunakan dalam pengujian disesuaikan dengan kapasitas maksimum generator yaitu sebesar 5000 watt, namun dengan mempertimbangkan jenis lampu sebagai beban serta kondisi kumparan, maka beban maksimum yang diterapkan dibatasi hingga 4000 watt.

Hasil Pengujian dan Analisa Performa (Daya) pada *Four-Stroke Diesel Engine*

Pengujian daya dilakukan dengan variasi putaran mesin 1000 rpm, 1200 rpm, 1400 rpm, serta variasi beban menggunakan lampu 2000 watt, 3000 watt, dan 4000 watt. Hasil pengujian nilai daya untuk ketiga beban tersebut disajikan pada grafik di bawah ini.

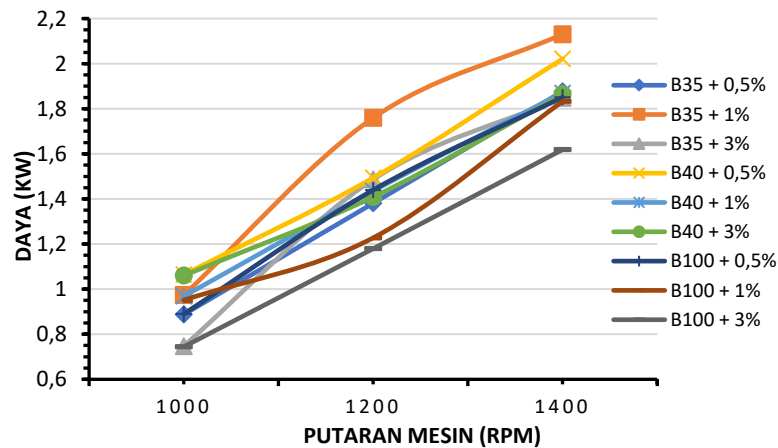
a) Daya pada beban 2000 watt



Gambar 1. Grafik daya pada beban 2000 watt

Pada gambar terdapat grafik daya pada beban 2000 watt untuk sembilan jenis bahan bakar yang diuji. Pada putaran 1000 rpm, 1200 rpm, 1400 rpm, pada putaran mesin 1000 rpm, daya tertinggi yaitu 0,679 kW dengan bahan bakar B40 + 0,5% EHN, sedangkan daya yang paling rendah dihasilkan oleh campuran B100 + 3% EHN dengan nilai 0,455 kW. Kemudian, pada putaran mesin 1200 rpm, daya tertinggi dicapai oleh bahan bakar B40 + 0,5% EHN dengan nilai 0,972 kW, sedangkan daya paling rendah dihasilkan oleh campuran B100 + 3% EHN dengan nilai 0,676 kW. Selanjutnya, pada putaran mesin 1400 rpm, daya tertinggi kembali dihasilkan oleh campuran B40 + 0,5% EHN dengan nilai 1,396 kW, sementara daya paling rendah masih berasal dari campuran B100 + 3% EHN yaitu sebesar 0,961 kW. Hasil ini menunjukkan bahwa B40 + 0,5% EHN memberikan output daya tertinggi, sedangkan B100 + 3% EHN menghasilkan daya terendah di setiap tingkat putaran mesin yang diuji.

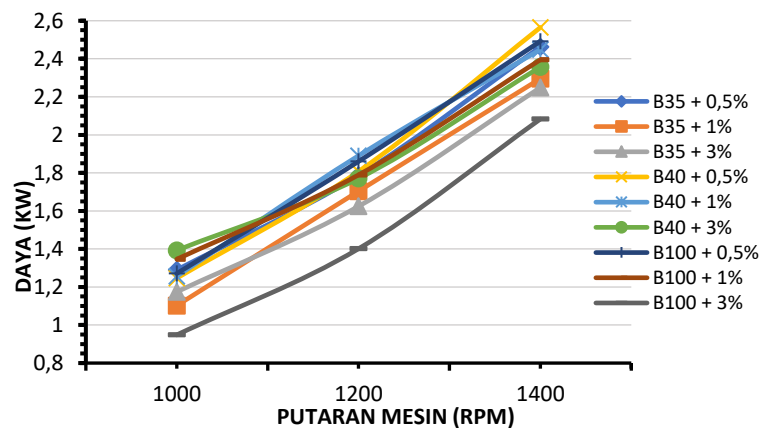
b) Daya pada beban 3000 watt



Gambar 2. Grafik daya pada beban 3000 watt

Pada gambar terdapat grafik daya beban 3000 watt untuk sembilan jenis bahan bakar yang diuji. Pada putaran 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1400 rpm, campuran biodiesel B40 dengan 0,5% EHN menghasilkan daya tertinggi, yaitu 1,064 kW pada kondisi putaran 1000 rpm. Sebaliknya, kombinasi B100 dengan 3% EHN menunjukkan kinerja terendah, dengan daya hanya 0,744 kW pada putaran 1000 rpm. Kemudian, pada kondisi putaran 1200 rpm, daya tertinggi beralih dihasilkan oleh campuran B35 + 1% EHN dengan nilai sebesar 1,759 kW, sedangkan daya terendah masih berasal dari kombinasi B100 + 3% EHN dengan daya sebesar 1,179 kW. Selanjutnya, pada putaran 1400 rpm, daya tertinggi tetap dihasilkan oleh campuran B35 + 1% EHN, yang mencatatkan nilai sebesar 2,131 kW, sedangkan daya paling rendah tetap dihasilkan oleh B100 + 3% EHN dengan nilai sebesar 1,619 kW.

c) Daya pada beban 4000 watt



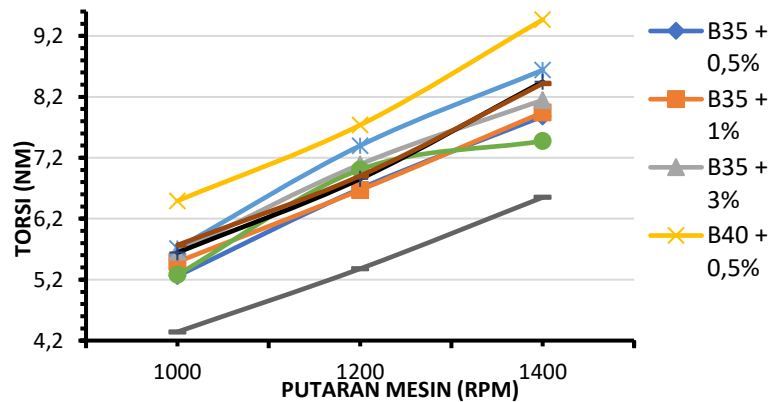
Gambar 3. Grafik daya beban 4000 watt

Pada gambar terdapat grafik daya pada beban 4000 watt untuk Sembilan jenis bahan bakar yang diuji. Pada putaran 1000 rpm, 1200 rpm, 1400 rpm, pada putaran mesin 1000 rpm, daya tertinggi yaitu 1,393 kW dengan bahan bakar B40 + 3% EHN, sedangkan daya yang paling rendah dihasilkan oleh campuran B100 + 3% EHN dengan nilai 0,948 kW. Kemudian, pada putaran mesin 1200 rpm, daya tertinggi beralih oleh bahan bakar B40 + 1% EHN dengan nilai 1,890 kW, sedangkan daya paling rendah dihasilkan oleh campuran B100 + 3% EHN dengan nilai 1,401 kW. Selanjutnya, pada putaran mesin 1400 rpm, daya tertinggi dihasilkan oleh campuran B40 + 0,5% EHN dengan nilai 2,565 kW, sementara daya paling rendah masih berasal dari campuran B100 + 3% EHN yaitu sebesar 2,083 kW.

Hasil Pengujian dan Analisa Performa (Torsi) pada *Four-Stroke Diesel Engine*

Pengujian torsi kali ini dilakukan dengan variasi putaran mesin 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1400 rpm, serta variasi beban menggunakan lampu 2000 watt, 3000 watt, dan 4000 watt. Hasil pengujian nilai torsi untuk ketiga beban tersebut disajikan pada grafik di bawah ini.

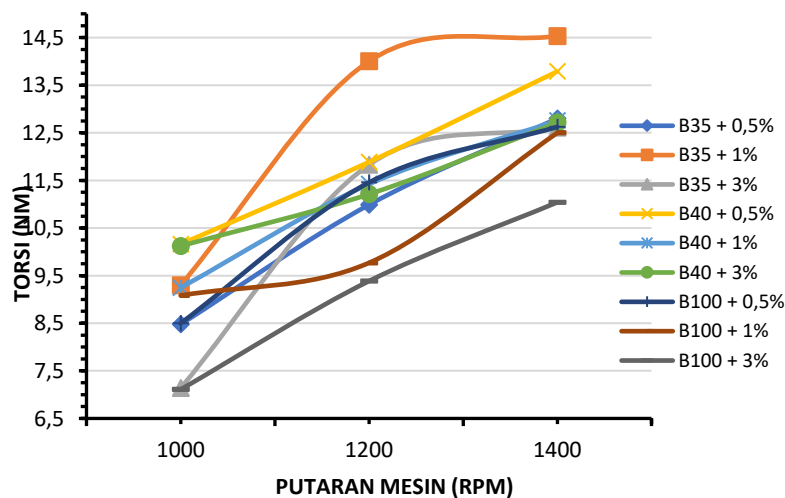
a) Torsi pada beban 2000 watt



Gambar 4. Grafik torsi pada beban 2000 watt

Pada gambar terdapat grafik torsi pada beban 2000 watt untuk sembilan jenis bahan bakar yang diuji. Pada putaran 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1400 rpm, campuran B40 dengan penambahan aditif 0,5% EHN pada kondisi putaran mesin 1000 rpm menghasilkan torsi tertinggi, yaitu 6,492 Nm. Di sisi lain, torsi terendah diperoleh dari B100 + 3%, yaitu 4,342 Nm. Kemudian, pada putaran mesin 1200 rpm, torsi tertinggi tetap dicapai oleh bahan bakar B40 + 0,5% EHN dengan nilai 7,737 Nm, sedangkan torsi paling rendah dihasilkan oleh campuran B100 + 3% EHN dengan nilai 5,379 Nm. Selanjutnya, pada putaran mesin 1400 rpm, torsi tertinggi dihasilkan oleh campuran B40 + 0,5% EHN dengan nilai 9,467 Nm, sementara torsi paling rendah masih berasal dari campuran B100 + 3% EHN yaitu sebesar 6,55 Nm.

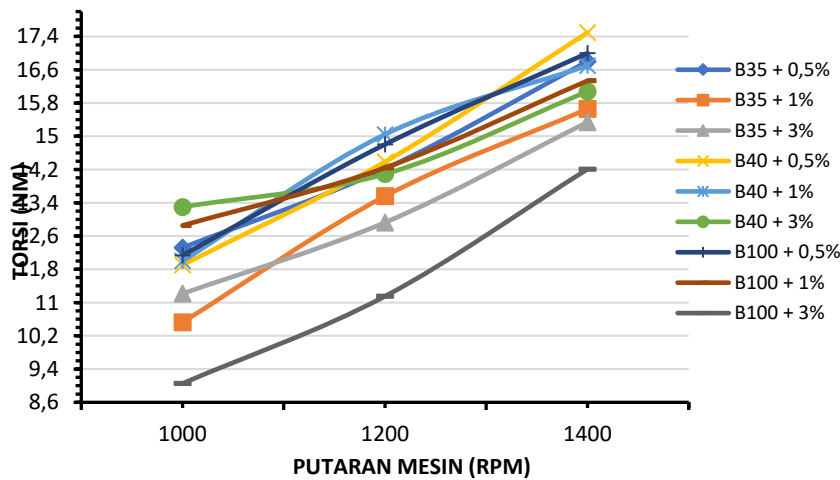
b) Torsi pada beban 3000 watt



Gambar 5. Grafik torsi pada beban 3000 watt

Pada gambar terdapat grafik torsi pada beban 3000 watt untuk sembilan jenis bahan bakar yang diuji. Pada putaran 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1400 rpm, saat kondisi putaran 1000 rpm campuran B40 + 0,5% EHN menghasilkan torsi paling tinggi, yaitu 10,161 Nm. Sementara itu, torsi paling rendah tercatat pada campuran B100 + 3%, yakni hanya 7,108 Nm. Kemudian, pada kondisi putaran 1200 rpm, daya tertinggi beralih oleh campuran B35 + 1% EHN dengan nilai sebesar 14,003 Nm, sedangkan torsi terendah masih berasal dari kombinasi B100 + 3% EHN dengan torsi sebesar 9,385 Nm. Selanjutnya, pada putaran 1400 rpm, torsi tertinggi tetap dihasilkan oleh campuran B35 + 1% EHN, yang mencatatkan nilai sebesar 14,532 Nm, sedangkan torsi paling rendah tetap dihasilkan oleh B100 + 3% EHN dengan nilai sebesar 11,040 Nm.

c) Torsi pada beban 4000 watt

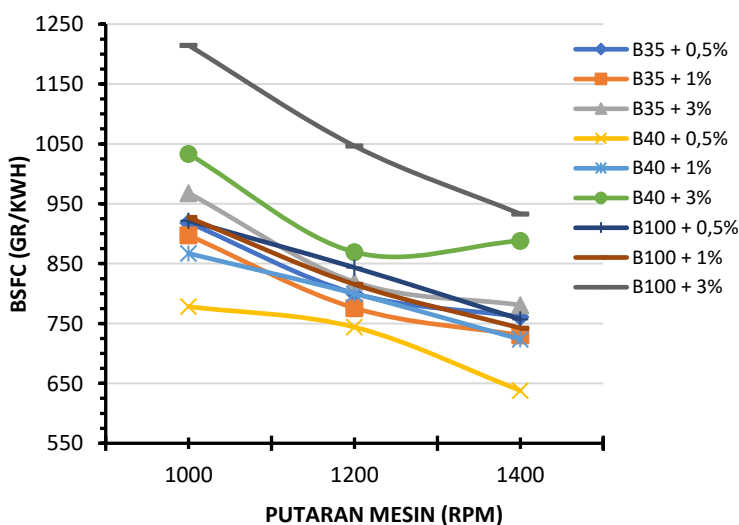


Gambar 6. Grafik torsi pada beban 4000 watt

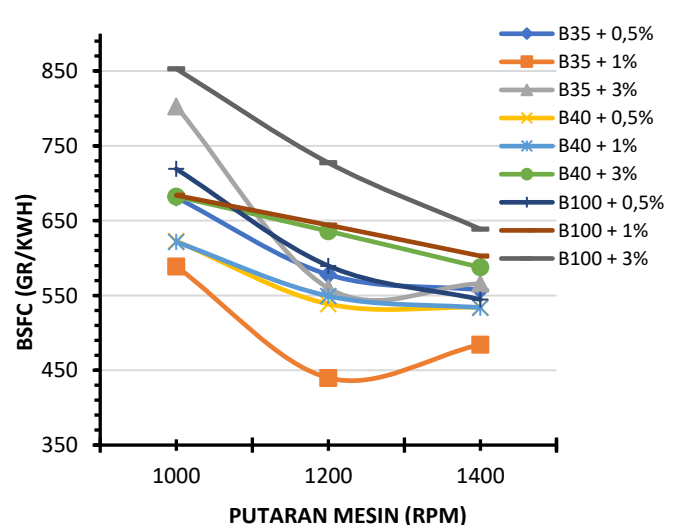
Pada gambar 4.13 terdapat grafik torsi pada beban 4000 watt untuk sembilan jenis bahan bakar yang diuji. Pada putaran 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1400 rpm, disini campuran B40 + 3% EHN menghasilkan torsi paling tinggi yaitu 13,299 Nm pada kondisi putaran 1000 rpm. Sedangkan, torsi paling rendah dicatat oleh B100 + 3% EHN, yaitu 9,053 Nm. Kemudian, pada putaran mesin 1200 rpm, torsi tertinggi beralih oleh bahan bakar B40 + 1% EHN dengan nilai 15,044 Nm, sedangkan torsi paling rendah dihasilkan oleh campuran B100 + 3% EHN dengan nilai 11,151 Nm. Selanjutnya, pada putaran mesin 1400 rpm, torsi tertinggi dihasilkan oleh campuran B40 + 0,5% EHN dengan nilai 17,494 Nm, sementara torsi paling rendah masih berasal dari campuran B100 + 3% EHN yaitu sebesar 14,208 Nm.

Hasil Pengujian dan Analisa Performa (BSFC) pada *Four-Stroke Diesel Engine*

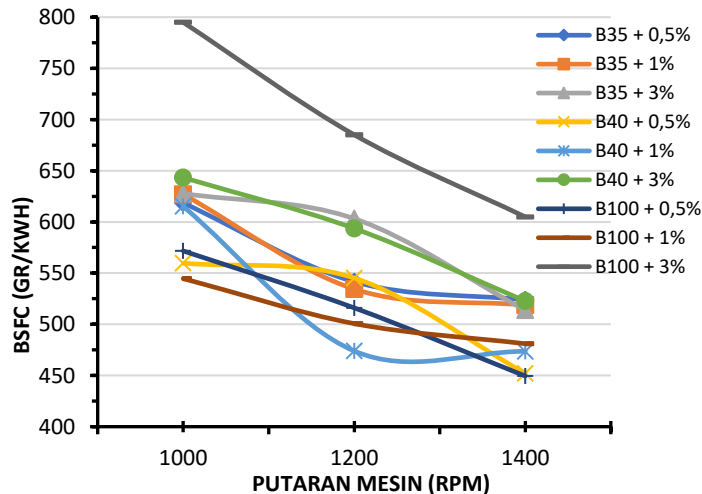
Pengujian performa (*bsfc*) dilakukan pada *Four-Stroke Diesel Engine* dengan menggunakan bahan bakar *multi-feedstock* biodiesel (B35+EHN 0,5%, B35+EHN 1%, B35+EHN 3%, B40+EHN 0,5%, B40+EHN 1%, B40+EHN 3%, dan B100+EHN 0,5%, B100+EHN 1%, B100+EHN 3%). Pengujian *bsfc* kali ini dilakukan dengan variasi putaran mesin 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1400 rpm, serta variasi beban menggunakan lampu 2000 watt, 3000 watt, dan 4000 watt. Hasil pengujian nilai *bsfc* untuk ketiga beban tersebut disajikan pada grafik di bawah ini.



(a)



(b)



(c)

Gambar 7.a. Grafik bsfc pada beban 2000 watt, b. beban 3000 watt, c. beban 4000 watt

Pada gambar terdapat grafik *bsfc* pada beban 2000 watt untuk sembilan jenis bahan bakar yang diuji. Pada putaran 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1400 rpm, campuran bahan bakar B40 dengan tambahan 0,5% EHN menunjukkan kinerja paling efisien dengan nilai *BSFC* terendah pada kondisi putaran mesin 1400 rpm yaitu 638,2366 g/kWh. Sedangkan, B100 dengan 3% EHN menunjukkan konsumsi bahan bakar tertinggi dengan nilai 932,991 g/kWh. Kemudian, pada putaran mesin 1200 rpm, campuran B40 + 0,5% EHN tetap menjadi yang paling efisien dengan nilai *bsfc* sebesar 743,96 g/kWh, sedangkan B100 + 3% EHN kembali menunjukkan *bsfc* tertinggi sebesar 1046,55 g/kWh. Selanjutnya, pada putaran mesin 1000 rpm, *bsfc* terendah juga masih dimiliki oleh B40 + 0,5% EHN dengan nilai 778,28 g/kWh, sedangkan B100 + 3% EHN mencatatkan nilai tertinggi yaitu 1214,61 g/kWh.

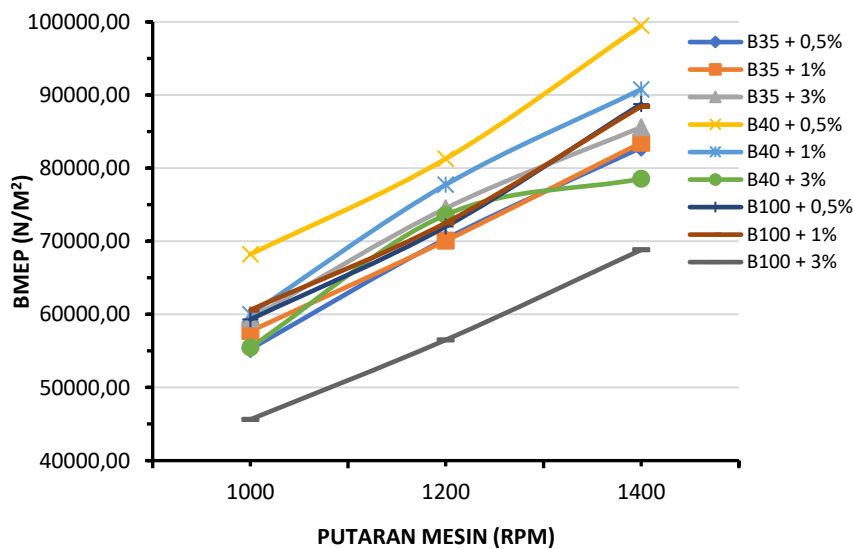
Pada gambar Grafik *bsfc* pada beban 3000 watt untuk sembilan jenis bahan bakar yang diuji pada putaran 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1400 rpm. Pada campuran biodiesel B35 dengan penambahan 1% EHN menghasilkan *BSFC* paling rendah pada kondisi putaran mesin 1400 rpm yaitu 484,386 g/kWh. Sedangkan, B100 dengan 3% EHN mencatat *BSFC* tertinggi sebesar 638,72 g/kWh. Kemudian, pada putaran mesin 1200 rpm, campuran B35 + 1% EHN tetap menunjukkan performa paling efisien dengan nilai *BSFC* sebesar 439,86 g/kWh, sedangkan B100 + 3% EHN kembali mencatat konsumsi bahan bakar tertinggi sebesar 727,37 g/kWh. Selanjutnya, pada kondisi putaran 1000 rpm, B35 + 1% EHN masih menjadi yang paling hemat bahan bakar dengan *BSFC* sebesar 588,83 g/kWh, sementara B100 + 3% EHN menunjukkan *BSFC* tertinggi yaitu 853,07 g/kWh.

Pada gambar terdapat grafik *bsfc* pada beban 4000 watt untuk sembilan jenis bahan bakar yang diuji pada putaran 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1400 rpm, campuran bahan bakar B100 dengan penambahan 0,5% EHN menghasilkan konsumsi bahan bakar spesifik terendah sebesar 449,4508 gr/kWh pada kondisi putaran mesin 1400 rpm. Sedangkan, campuran B100 dengan 3% EHN menunjukkan performa dalam efisiensi bahan bakar dengan *BSFC* tertinggi sebesar 604,885 g/kWh pada kondisi putaran 1400 rpm. Kemudian, pada kondisi putaran 1200 rpm, campuran B40 + 1% EHN menunjukkan nilai *BSFC* terendah sebesar 473,909 g/kWh, sedangkan B100 + 3% EHN tetap mencatat konsumsi bahan bakar tertinggi sebesar 685,0847 g/kWh. Selanjutnya, pada putaran 1000 rpm, B100 + 1% EHN menjadi campuran bahan bakar paling efisien dengan *BSFC* sebesar 544,658 g/kWh, sementara B100 + 3% EHN kembali menunjukkan konsumsi bahan bakar tertinggi yaitu 794,922 g/kWh.

Hasil Pengujian dan Analisa Performa (BMEP) pada Four-Stroke Diesel Engine

Pengujian performa (*BMEP*) dilakukan pada *Four-Stroke Diesel Engine* dengan menggunakan bahan bakar *multi-feedstock* biodiesel (B35+EHN 0,5%, B35+EHN 1%, B35+EHN 3%, B40+EHN 0,5%, B40+EHN 1%, B40+EHN 3%, dan B100+EHN 0,5%, B100+EHN 1%, B100+EHN 3%). Pengujian *BMEP* kali ini dilakukan dengan variasi putaran mesin 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1400 rpm, serta variasi beban menggunakan lampu 2000 watt, 3000 watt, dan 4000 watt. Hasil pengujian nilai *bmepp* untuk ketiga beban tersebut disajikan dalam bentuk grafik di bawah ini.

a) Grafik *bmepp* pada beban 2000 watt



Gambar 8. Grafik bmep pada beban 2000 watt

Pada gambar terdapat grafik *bmeep* pada beban 2000 watt untuk sembilan jenis bahan bakar yang diuji pada putaran 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1400 rpm, campuran bahan bakar yang menghasilkan nilai *BMEP* tertinggi adalah B40 + 0,5% EHN, dengan nilai 99471,09 N/m², pada saat variasi putaran 1400 rpm. Sedangkan, nilai terendah diperoleh oleh B100 + 3% EHN, yaitu 68825,911 N/m². Kemudian, pada putaran mesin 1200 rpm, *BMEP* tertinggi tetap dicapai oleh bahan bakar B40 + 0,5% EHN dengan nilai 81290,46 N/m², sebaliknya *BMEP* paling rendah dihasilkan oleh campuran B100 + 3% EHN dengan nilai 56513,91 N/m². Selanjutnya, pada kondisi putaran 1000 rpm, *BMEP* tertinggi yaitu 68214,52 N/m² dengan bahan bakar B40 + 0,5% EHN, sedangkan daya yang paling rendah dihasilkan oleh campuran B100 + 3% EHN dengan nilai 68825,91 N/m².

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penambahan zat aditif 2-EHN pada bahan bakar multi-feedstock biodiesel berpengaruh signifikan terhadap peningkatan performa mesin diesel empat langkah. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik biodiesel terbukti bahwa penambahan zat aditif 2-EHN mampu meningkatkan angka setana, menurunkan viskositas dan meningkatkan efisiensi pembakaran. Hasil uji performa mesin memperlihatkan campuran B40 + 0,5% EHN memiliki nilai Daya, Torsi, dan *BMEP* yang paling tinggi daripada konsentrasi bahan bakar dan konsentrasi aditif yang lain. Sebaliknya, penggunaan B100 dengan konsentrasi zat aditif 3% menunjukkan performa paling rendah. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan aditif 2-EHN dalam konsentrasi yang tepat dapat mengoptimalkan potensi biodiesel sebagai bahan bakar alternatif yang efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih terutama kepada kalab beserta teknisi Lab Reparasi Mesin PPNS atas dukungannya selama pengukuran dan pengujian performa mesin diesel.

Daftar Pustaka

- Devita, L. (2015). BIODIESEL SEBAGAI BIOENERGI ALTERNATIF DAN PROSPEKTIF. *Agrica Ekstensi*, Vol.9.
- Khan, M. H., Bonifacio, S., Clowes, J., Foulds, A., Holland, R., Matthews, J. C., . . . Shallcross, D. E. (2021). Investigation of Biofuel as a Potential Renewable Energy Source. *Atmosphere*.
- Kuszewski, H., & Jaworski, A. (2024). Investigating the Effect of 2 Ethylhexyl Nitrate Cetane Improver (2-EHN) on the Autoignition Characteristics of a 1-Butanol–Diesel Blend.
- Listyanto, H. A. (2020). Analisis Performa pada Bahan Bakar Biodiesel B50 - B100 Terhadap Mesin Diesel Berbasis Simulasi.

- Mardawati, E., Hidayat, M. S., Rahmah, D. M., & Rosalinda, S. (2019). PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA SAWIT KASAR OFF GRADE DENGAN VARIASI PENGARUH ASAM SULFAT PADA PROSES ESTERIFIKASI TERHADAP MUTU. *JURNAL INDUSTRI PERTANIAN – VOLUME 01*.
- Muhadi, I., & Zainuri, A. M. (2024). PENGARUH PENAMBAHAN ADITIF 2-EHN DAN ASAM OLEAT PADA BIOSOLAR TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR. *Jurnal Pendidikan dan Sains*.
- Pan, Huang, M., Liao, R., Tiancheng, Z., Lv, Z., & Delin Huang, H. (2018). Effect of EGR dilution on combustion, performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with n-pentanol and 2-ethylhexyl nitrate additive.
- Salsabila, N., Ernah, Trimio, L., & Suminartika, E. (2024). Pengembangan Biodiesel Kelapa Sawit Indonesia dalam Mencapai Target Bauran. *Mimbar Agribisnis : Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis*.
- Sitorus, T. B., Ariani, F., & Lubis, Z. (2018). EFEK BAHAN BAKAR BIODIESEL DARI MINYAK KEDELAI TERHADAP EMISI GAS BUANG DAN TEMPERATUR RUANG BAKAR MESIN DIESEL. *Jurnal SIMETRIS, Vol. 9*.
- Sulasminingsih, S., Hafiz, F., Sari, K., & Yuninda, S. (2023). Penggunaan Biomassa sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik di Wilayah Pedesaan. *Journal of Optimization System and Ergonomy Implementation(JOSEON) Vol. 01*.
- Wafir, M., Listyadi, D., Rei, R., & Ilminnafik, N. (2019). Analisis Unjuk Kerja Mesin Diesel Dengan Bahan Bakar Campuran Pertadex dan Biodiesel Biji Kemiri. *In Jurnal Rotor*.