Terbit *online* pada laman web jurnal : http://inomet.ft.unand.ac.id

INoMeT: Jurnal Inovasi Rekayasa Mekanikal dan Termal

| ISSN (Online) 3025-2598 |

Artikel Penelitian

Kinerja Mesin Diesel Berbahan Bakar Solar Dicampur 5% Air Dengan Fame (Fatty Acid Methyl Ester) Dari Crude Palm Oil (Cpo) Dan Alkyl enzene Sulponic Acid (Abs) Sebagai Emulsifie

Benny Dwika Leonanda[a], Adly Havendri[b], Ditya Dewangga[b]

[a] Program Studi Program Profesi Insinyur Sekolah Pascasarjana Universitas Andalas, Padang 25163, Indonesia
[b] Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Andalas, Padang 25163, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:
Diterima Redaksi: 23 Juni 2025
Revisi Akhir: 28 Juni 2025
Diterbitkan *Online*: 30 Juni 2025

KATA KUNCI

Emulsifier
Bahan bakar emulsi
Biodiesel
Peformansi mesin diese

KORESPONDENSI

E-mail: benny@eng.unand.ac.id

A B S T R A C T

This study aims to investigate the effects of a 5% water-in-diesel emulsion fuel blended with FAME (Fatty Acid Methyl Ester), using ABS (Alkyl Benzene Sulfonic Acid) as an emulsifier, on diesel engine performance. The results are compared with those of commercially available biodiesel and biosolar fuels.

The biodiesel used in this study was produced through esterification and transesterification of crude palm oil (CPO), and then blended with diesel fuel in concentrations of 5%, 15%, and 30% FAME, with an additional 5% water. The ABS content in the mixture was 0.22%. The observed parameters included fuel consumption, intake air temperature, coolant temperature at the radiator inlet and outlet, and exhaust gas temperature (T4). Further calculations were performed to determine Specific Fuel Consumption (SFC), Brake Thermal Efficiency (ηbth), Volumetric Efficiency, Air-Fuel Ratio (AFR), energy losses (Qloss), and exhaust gas temperature analysis.

The results showed that, on average, the emulsion fuel exhibited the lowest fuel consumption compared to biodiesel, with a reduction of approximately 18.997%. It also improved thermal efficiency by about 18.582%. The optimal emulsion blend consisted of 89.8% diesel, 5% water, 5% FAME, and 0.22% ABS. Additionally, the emulsion fuel demonstrated lower energy losses, with a value of 28.033%.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produksi minyak bumi di Indonesia terus mengalami penurunan setiap tahunnya, sementara konsumsi bahan bakar terus meningkat. Berdasarkan data dari SKK Migas, produksi minyak bumi nasional menurun hingga 12% selama periode 2005 hingga 2015. Hal ini juga diperkuat oleh studi Rosyadi (2015)[1], yang mencatat bahwa produksi minyak bumi di Indonesia mengalami penurunan hingga 16% karena cadangan yang menipis dan lapangan minyak yang sudah tua. Ketidakseimbangan antara pasokan dan permintaan ini berpotensi menimbulkan krisis energi, khususnya pada sektor bahan bakar minyak (BBM), sebagaimana dikemukakan oleh Sasongko & Yoesgiantoro (2022), bahwa penurunan produksi minyak dalam satu dekade terakhir menjadi ancaman nyata terhadap ketahanan energi nasional[2]

Sebagai respons terhadap kondisi ini, PT Pertamina mengembangkan bahan bakar alternatif dengan komposisi 75% solar, 15% Fatty Acid Methyl Ester (FAME), dan 10% air. Namun, sejauh ini formulasi

https://doi.org/10.25077/inomet.3.1.6-14.2025

Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

yang stabil hanya tercapai dengan kandungan air sebesar 5%. Emulsi bahan bakar merupakan salah satu pendekatan yang menjanjikan. Menurut Sudarmanta dan Jakfar (2014), pencampuran biodiesel dengan solar dapat memberikan performa termal yang lebih baik serta meningkatkan efisiensi pembakaran dalam mesin diesel[3].

Air dapat dicampurkan ke dalam bahan bakar diesel untuk membentuk bahan bakar emulsi, yaitu campuran homogen antara air dan bahan bakar dengan bantuan zat aditif yang berfungsi sebagai surfaktan. Surfaktan ini menurunkan tegangan permukaan antara air dan minyak, sehingga memungkinkan keduanya tercampur secara stabil. Dalam penelitian oleh Wahyudi & Ranyono (2024), ditunjukkan bahwa campuran emulsi diesel dan biodiesel memerlukan pengemulsi untuk stabilitas jangka panjang[4].

Salah satu surfaktan yang digunakan adalah Alkyl Benzene Sulphonic Acid (ABS), senyawa yang umum digunakan dalam industri deterjen. Emulsi bahan bakar dapat diklasifikasikan menjadi dua tipe: oil-in-water (O/W) dan water-in-oil (W/O), tergantung pada proporsi campurannya.

Proses pembakaran dalam mesin diesel melibatkan pencampuran bahan bakar dan udara yang tersebar melalui beberapa titik injeksi, bukan hanya satu titik. Ketika bahan bakar emulsi dipanaskan, droplet air yang terperangkap dalam minyak dengan titik didih lebih tinggi akan cepat menguap, menyebabkan ledakan mikro (*microexplosion*) yang memecah droplet bahan bakar menjadi lebih kecil. Fenomena ini telah dijelaskan dalam studi oleh Rahayu dkk. (2018), di mana atomisasi sekunder menghasilkan partikel bahan bakar yang lebih halus sehingga efisiensi pembakaran meningkat.

Pembakaran bahan bakar emulsi memiliki beberapa keunggulan: pertama, pembakaran lebih cepat dibandingkan bahan bakar diesel murni; kedua, kandungan air tidak mengganggu pembakaran bahkan mempercepat pencampuran bahan bakar dan udara; ketiga, pembakaran lebih sempurna dengan reduksi jelaga dan emisi gas buang. Menurut penelitian oleh Caraka (2016), pengembangan bahan bakar emulsi dapat menjadi solusi strategis untuk menekan emisi NOx dan CO, serta mengurangi ketergantungan pada BBM fosil[5].

Bahan bakar emulsi dirancang untuk meningkatkan efisiensi pembakaran serta menurunkan emisi seperti NOx. Namun, karena perbedaan tegangan permukaan antara solar dan air, keduanya tidak bisa bercampur tanpa bantuan *emulsifier*. Zat pengemulsi seperti ABS, FAME, atau bahan alami seperti getah pisang atau lidah buaya dapat digunakan untuk menjaga kestabilan campuran ini[6].

Biodiesel sendiri merupakan bahan bakar alternatif yang berasal dari sumber daya terbarukan, seperti minyak nabati atau lemak hewani, dengan komponen utama berupa senyawa ester hasil dari proses esterifikasi dan transesterifikasi. Ini dikuatkan dalam riset oleh Abdurrahman et al. (2018), yang menunjukkan bahwa biodiesel memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia sebagai substitusi BBM fosil[7].

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis performa mesin diesel saat menggunakan bahan bakar emulsi yang mengandung 5% air, ABS 0,22%, dan variasi FAME sebesar 5%, 15%, dan 30%.
2. Membandingkan kinerja mesin menggunakan bahan bakar emulsi dengan bahan bakar biodiesel komersial (B5, B15, B30) dan biosolar PT. Pertamina.
3. Mengevaluasi pengaruh emulsi bahan bakar terhadap parameter performa mesin seperti konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal, emisi, dan temperatur gas buang.

1.3 Rumusan Masalah

Penelitian ini difokuskan untuk mengkaji sejauh mana penggunaan bahan bakar emulsi yang terdiri dari campuran solar, air, FAME, dan emulsifier ABS dapat:

- Meningkatkan efisiensi pembakaran,
- Mengurangi konsumsi bahan bakar,
- Menurunkan emisi gas buang,

- Serta memberikan performa mesin diesel yang lebih optimal dibandingkan dengan penggunaan biodiesel murni dan biosolar komersial.

2. METODOLOGI

Proses Pembuatan dan Pengujian Bahan Bakar Emulsi Berbasis FAME dapat diuraikan seperti diuraikan dengan cara berikut

2.1 Proses Degumming

Proses *degumming* merupakan tahapan awal dalam pengolahan minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil* atau CPO), bertujuan untuk memisahkan getah atau lendir (*gum*) yang terdiri dari fosfatida, protein, residu, karbohidrat, air, dan resin, tanpa mengurangi kadar asam lemak bebas (FFA) dalam minyak. Proses ini dilakukan dengan menambahkan asam fosfat (H_3PO_4) ke dalam CPO, lalu dipanaskan agar terbentuk senyawa fosfolipid yang lebih mudah dipisahkan dari minyak (Hambali, 2007)[8].

Secara operasional, proses ini dilakukan dengan menambahkan 1% asam fosfat 20% dari total volume CPO. Campuran diaduk dengan kecepatan 300–400 rpm menggunakan sistem refluks selama 30 menit pada temperatur 90°C hingga 130°C.[9]

2.2 Pengujian Kadar FFA

Pengujian kadar FFA bertujuan untuk menentukan kualitas CPO sebelum diproses lebih lanjut menjadi biodiesel. Jika kadar FFA kurang dari 2%, maka proses esterifikasi tidak diperlukan. Pengukuran nilai FFA dilakukan dengan metode AOCS Cd 3d-63.[10], [11]

2.3 Proses Esterifikasi

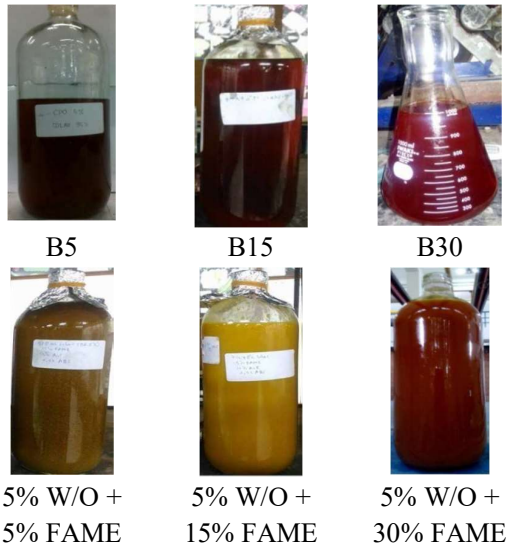
Proses esterifikasi bertujuan untuk mengonversi asam lemak bebas (FFA) menjadi ester melalui reaksi antara FFA dan metanol dengan bantuan katalis asam kuat. Dalam penelitian ini, metanol digunakan sebanyak 30% dari volume CPO hasil *degumming*, dan ditambahkan asam sulfat pekat (H_2SO_4) sebanyak 2,5%.[12]

Campuran diaduk menggunakan refluks dengan kecepatan 300–400 rpm selama 60 menit pada temperatur 58°C–65°C[13]

2.4 Proses Transesterifikasi

Proses transesterifikasi merupakan tahap akhir untuk menghasilkan metil ester (biodiesel). Minyak hasil proses esterifikasi direaksikan kembali dengan metanol menggunakan katalis basa kuat, yaitu natrium hidroksida (NaOH) [14] [15].

Metanol digunakan sebanyak 30% dari volume CPO hasil esterifikasi, dan NaOH ditambahkan sebanyak 1% dari massa CPO. Campuran diaduk pada kecepatan 300–400 rpm selama 60 menit pada suhu 58°C–65°C. Hasil dari proses ini adalah biodiesel dalam bentuk metil ester (FAME)[16], [17].



Gambar 1. Campuran bahan bakar sebelum berbentuk emulsi

Formulasi dan Pembuatan Bahan Bakar Emulsi

Bahan bakar emulsi dibuat dari campuran minyak diesel dan FAME dengan konsentrasi masing-masing 5%, 15%, dan 30%[14]. Setiap campuran kemudian ditambahkan air sebesar 5%. Campuran ini disiapkan dalam wadah berkapasitas 10 mL, 100 mL, 500 mL, dan 1000 mL, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 550 rpm selama 5 menit.

Komposisi dasar masing-masing sampel adalah sebagai berikut:

- Sampel 1: 89,8% Solar + 5% Air
- Sampel 2: 79,8% Solar + 5% Air
- Sampel 3: 64,8% Solar + 5% Air

Setelah itu, FAME dan emulsifier ABS (Alkyl Benzene Sulphonic Acid) ditambahkan ke dalam campuran tersebut, kemudian diaduk kembali dengan kecepatan 50 rpm selama 2 menit menggunakan *magnetic stirrer*. Komposisi akhir bahan bakar emulsi adalah:

- Sampel 1: FAME 5% + ABS 0,22%
- Sampel 2: FAME 15% + ABS 0,22%
- Sampel 3: FAME 30% + ABS 0,22%

2.5 Pengujian Performa Mesin Diesel

Pengujian performa bahan bakar emulsi dilakukan menggunakan mesin diesel **Toyota Hilux (2004)**, mesin 4 silinder tipe 2L berkapasitas 2446 cc dengan sistem injeksi langsung (direct injection).[14]



Gambar 2. Mesin Diesel uji mesin TOYOTA HILUX 4 silinder, tipe 2L 2446 cc

Parameter uji dilakukan berdasarkan variasi:

- Putaran mesin: 1000, 1150, 1300, 1450, dan 1550 rpm
- Beban awal: 30 psi, 40 psi, dan 50 psi
- Durasi pengujian: sesuai standar waktu pada setiap kombinasi variabel

Hasil pengujian mencakup pengukuran parameter performa mesin sebagai berikut:

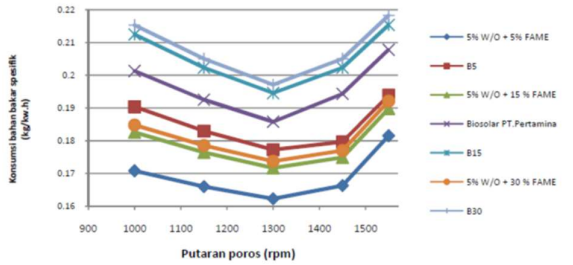
- Torsi (Nm)
- Daya keluaran (kW)
- Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC)
- Rasio udara terhadap bahan bakar (AFR)
- Efisiensi volumetrik
- Efisiensi termal (Brake Thermal Efficiency, ηbth)

Visualisasi dari setiap jenis bahan bakar dan proses pengujian dapat dilihat pada Gambar 1 (komposisi bahan bakar) dan Gambar 2 (konfigurasi mesin pengujian)[15].

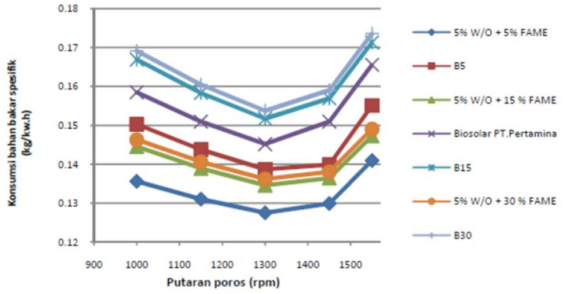
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Specific Fuel Consumption - SFC)

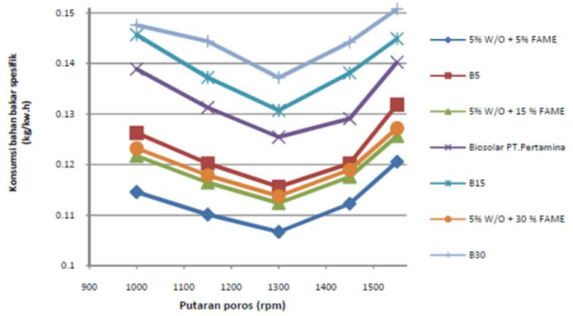
Pengujian konsumsi bahan bakar spesifik dilakukan dengan variasi pembebanan sebesar 30 psi, 40 psi, dan 50 psi serta variasi putaran mesin sebesar 1000, 1150, 1300, 1450, dan 1550 rpm. Grafik hasil pengujian disajikan pada Gambar 3.



(a) 30 psi



(b) 40 psi



(c) 50 psi

Gambar 3. Grafik hasil pengujian disajikan dengan variasi pembebanan sebesar 30 psi, 40 psi, dan 50 psi

 https://doi.org/10.25077/inomet.3.1.6-14.2025

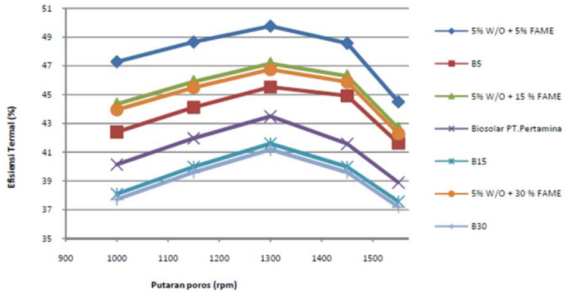
Berdasarkan grafik, konsumsi bahan bakar terendah diperoleh pada sampel bahan bakar emulsi dengan komposisi 5% air (W/O) dan 5% FAME. Sebaliknya, konsumsi bahan bakar tertinggi ditemukan pada sampel B30.

Temuan ini didukung oleh penelitian Strandel dan Schab (1998), yang menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar emulsi dapat menurunkan konsumsi bahan bakar hingga 2% pada kandungan air 2%, dan hingga 9% pada kandungan air 9%. Menurut Hui (1996), penambahan surfaktan menurunkan viskositas bahan bakar, sehingga konsumsi bahan bakar berkurang. Air dalam bahan bakar emulsi turut berperan dalam penurunan viskositas ini.

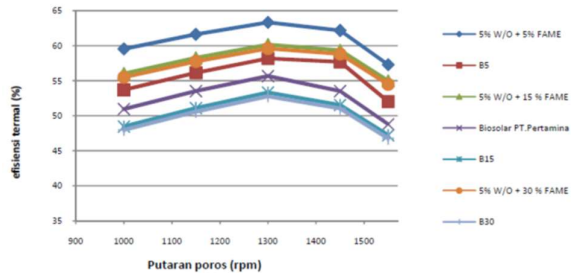
Di sisi lain, peningkatan kadar biodiesel dalam campuran bahan bakar cenderung meningkatkan konsumsi bahan bakar. Mahesh (2014) menyatakan bahwa semakin tinggi kandungan biodiesel, volume bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam pompa plunger semakin besar, sehingga konsumsi bahan bakar meningkat signifikan.

3.2 Efisiensi Termal Rem (Brake Thermal Efficiency - ηbth)

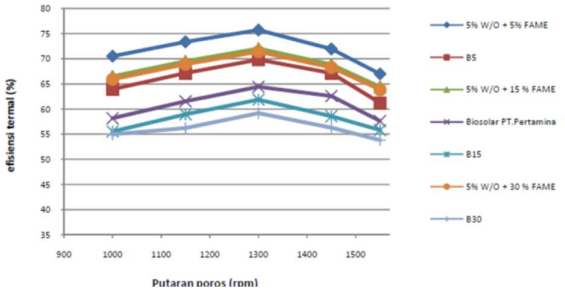
Grafik efisiensi termal ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan hasil pengujian, efisiensi termal tertinggi tercapai pada bahan bakar emulsi 5% W/O + 5% FAME, sedangkan efisiensi terendah terdapat pada sampel B30.



(a) Beban 30 psi



(b) Beban 40 psi



(c) Beban 50 psi

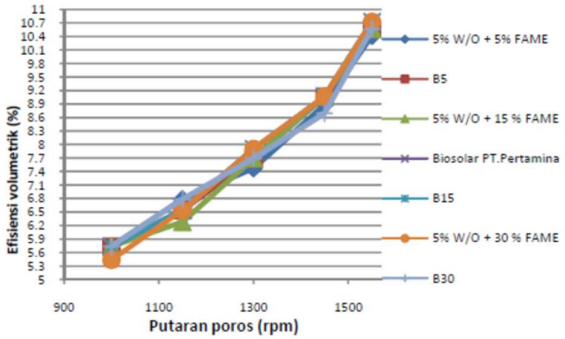
Gambar 4. Grafik efisiensi termal rem (Brake Thermal Efficiency - ηbth)

Hasil ini sejalan dengan penelitian Dibofori-Orji (2011), yang melaporkan bahwa efisiensi termal bahan bakar emulsi pada mesin diesel meningkat sebesar 12,4% pada fraksi volume air 2,5%, dan sebesar 14,6% pada fraksi air 5%. Namun, efisiensi mengalami penurunan pada fraksi air 8% (hanya naik 8%). Pada kandungan air 0%, efisiensi termal tercatat sebesar 27%.

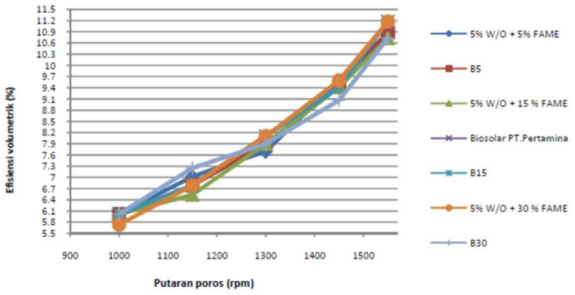
Menurut Lakshmi (2007), peningkatan beban kerja mesin menyebabkan peningkatan efisiensi termal karena rasio pembakaran bahan bakar menjadi lebih optimal pada kondisi beban tinggi.

3.3 Efisiensi Volumetrik

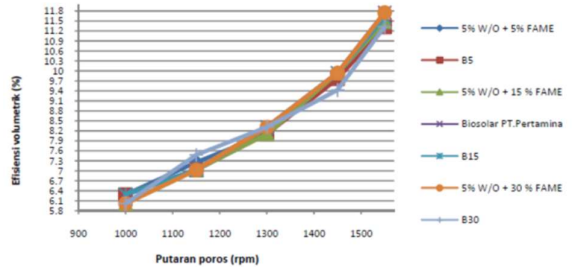
Efisiensi volumetrik pada seluruh jenis bahan bakar menunjukkan nilai yang relatif serupa. Faktor utama yang memengaruhi efisiensi ini adalah kondisi kerja mesin, bukan jenis bahan bakarnya.



(a) Beban 30 psi



(b) Beban 40 psi



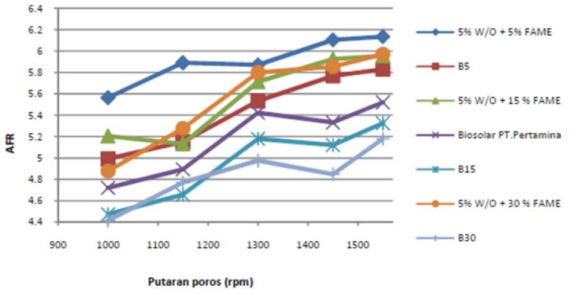
(c) Beban 50 psi

Gambar 5. Efisiensi volumetrik berbagai jenis bahan bakar

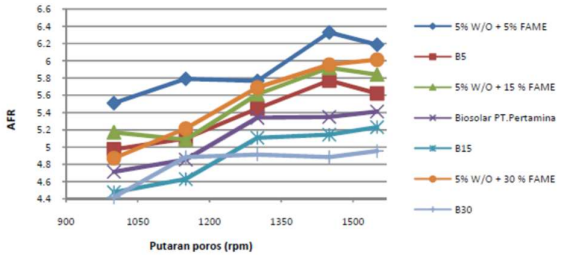
Namun demikian, dari grafik dapat diamati bahwa efisiensi volumetrik terendah tercatat pada sampel bahan bakar emulsi 5% W/O + 5% FAME, sedangkan pada sampel lainnya nilai efisiensinya cenderung konstan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat perbedaan komposisi bahan bakar, pengaruh terhadap efisiensi volumetrik tidak signifikan. Semakin tinggi putaran mesin, maka volume udara yang terhisap oleh piston juga semakin besar, meningkatkan potensi pembakaran.

3.4 Rasio Udara terhadap Bahan Bakar (Air-Fuel Ratio - AFR)

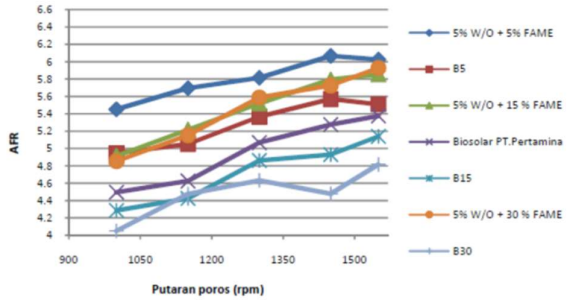
Hasil analisis AFR disajikan pada Gambar 6. Berdasarkan grafik, nilai AFR tertinggi diperoleh pada bahan bakar emulsi 5% W/O + 5% FAME, sedangkan AFR terendah terdapat pada sampel B30. Temuan ini berbeda dengan hasil pengujian oleh Jekson Turnip (2010), yang melaporkan bahwa peningkatan putaran dan beban mesin menyebabkan AFR menurun. Hal ini terjadi akibat fenomena *overlap* pada kondisi beban maksimum, di mana proses pembakaran berlangsung sangat cepat sehingga kebutuhan udara dan bahan bakar meningkat secara bersamaan. Namun, pada beban 40 hingga 50 psi, nilai AFR justru menurun, menunjukkan ketidakseimbangan antara asupan udara dan suplai bahan bakar.



(a) Beban 30 psi



(b) Beban 40 psi

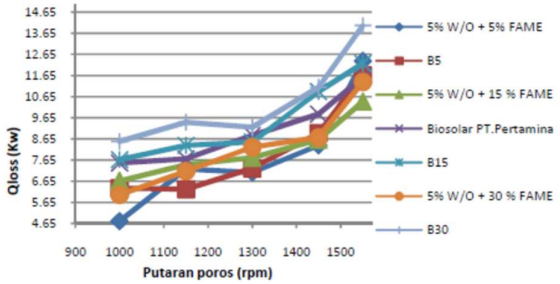


(c) Beban 50 psi

Gambar 6. Rasio Udara terhadap Bahan Bakar (Air-Fuel Ratio - AFR)

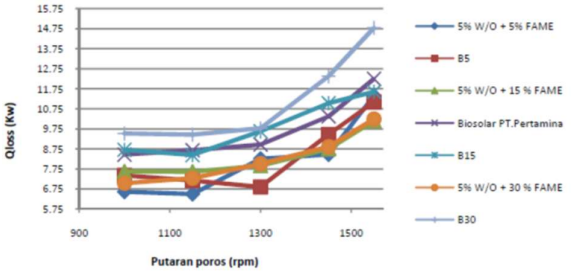
3.5 Kehilangan Energi (Energy Losses - Qloss)

Grafik Qloss ditampilkan pada Gambar 7. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa kehilangan energi termal (Qloss) terendah terjadi pada bahan bakar emulsi 5% W/O + 5% FAME, sementara yang tertinggi terdapat pada sampel B30.

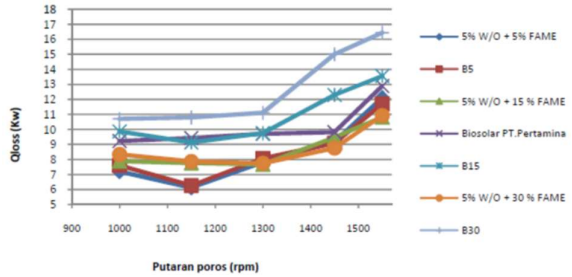


(a) Beban 30 psi

 https://doi.org/10.25077/inomet.3.1.6-14.2025



(b) Beban 30 psi



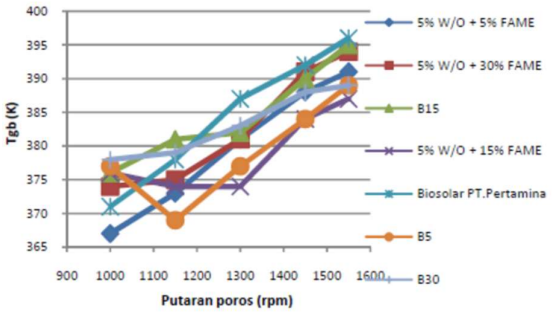
(c) Beban 50 psi

Gambar 7. Grafik kehilangan energi (Energy Losses - Qloss)

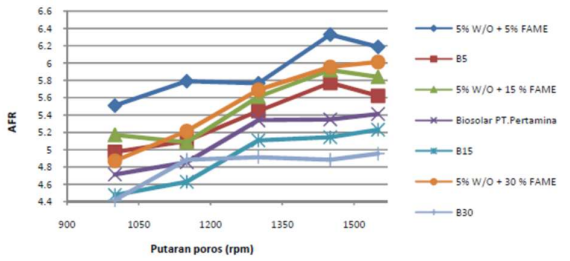
Penelitian oleh Liyan Feng, Baoguo Du, dan rekan-rekannya (2015) menunjukkan bahwa campuran bahan bakar diesel dengan 10% air (HWL-10) menghasilkan energi pembakaran yang lebih besar dibandingkan dengan diesel murni, sehingga energi yang terbuang dalam bentuk panas menjadi lebih kecil.

3.6 Temperatur Gas Buang (Exhaust Gas Temperature - Tgb)

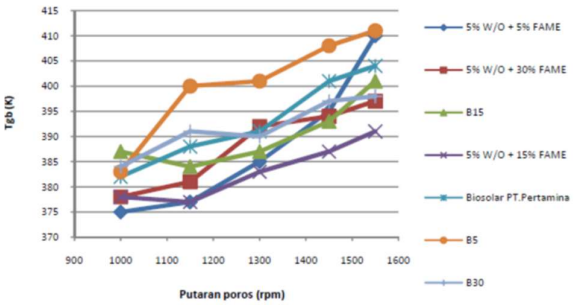
Temperatur gas buang diukur pada saluran manifold menuju sistem knalpot. Hasil pengujian menunjukkan bahwa temperatur gas buang meningkat seiring bertambahnya putaran dan beban mesin.



(a) Beban 30 psi



(b) Beban 40 psi



(c) Beban 50 psi

Gambar 8. Temperatur gas buang (Exhaust Gas Temperature - Tgb)

Dari grafik (Gambar 8), temperatur gas buang terendah tercatat pada sampel bahan bakar emulsi 5% W/O + 5% FAME, sedangkan temperatur tertinggi terdapat pada sampel B30 dan B15. Hal ini dikarenakan bahan bakar emulsi membutuhkan panas lebih tinggi untuk menguapkan air selama proses pembakaran, sehingga sisa panas yang dilepas dalam bentuk gas buang menjadi lebih rendah dibandingkan dengan biodiesel.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian terhadap bahan bakar emulsi, biodiesel dari minyak CPO (Crude Palm Oil), dan biosolar komersial (B30 dari PT. Pertamina), dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Bahan bakar emulsi dengan komposisi 5% air (W/O) dan 5% FAME menunjukkan performa terbaik dibandingkan sampel lainnya. Campuran ini memberikan:
    - Penurunan rata-rata konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) sebesar 18,997%,
    - Peningkatan efisiensi termal rem (brake thermal efficiency) sebesar 18,582%, dan
    - Penurunan kehilangan energi (Qloss) sebesar 28,033%.

2. Sampel B30 (biosolar) menunjukkan performa terburuk dalam sebagian besar parameter pengujian, terutama pada konsumsi bahan bakar, efisiensi termal, dan emisi panas gas buang.
3. Perbandingan udara terhadap bahan bakar (AFR) tertinggi juga dicapai oleh bahan bakar emulsi 5% W/O + 5% FAME, menunjukkan pembakaran yang lebih optimal.
4. Efisiensi volumetrik relatif stabil pada seluruh jenis bahan bakar dan lebih banyak dipengaruhi oleh kondisi kerja mesin (beban dan putaran), bukan oleh komposisi bahan bakar itu sendiri.
5. Temperatur gas buang (Tgb) terendah tercatat pada bahan bakar emulsi. Ini menunjukkan bahwa campuran tersebut membutuhkan energi panas tambahan untuk menguapkan air, sehingga mengurangi panas sisa yang dibuang ke lingkungan dan mengindikasikan pembakaran yang lebih efisien secara termal.

Kesimpulan Umum

Penggunaan bahan bakar emulsi dengan penambahan air dan FAME terbukti dapat meningkatkan efisiensi kinerja mesin diesel serta mengurangi konsumsi energi dan emisi panas. Oleh karena itu, bahan bakar emulsi dapat dijadikan alternatif yang efisien dan ramah lingkungan untuk menggantikan bahan bakar solar dan biodiesel konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

[1] H. Rosyadi., "Potensi Coalbed Methane untuk Mensukseskan Program Diversifikasi Energi Nasional," *Coalbed Methane Bulletin*, vol. 47, no. 2, Oct. 2010.

[2] I. Utami, D. Yoesgiantoro, and N. A. Sasongko, "Implementasi Kebijakan Kendaraan Listrik Indonesia untuk Mendukung Ketahanan Energi Nasional," *Research Gate*, Jun. 2022.

[3] A. Jakfar and B. Sudarmanta., "Pembuatan Dan Pengujian Biodiesel Biji Nyamplung Pada Mesin Diesel Multi Injeksi Dengan Variasi Komposisi Campuran Biodiesel Dan Biosolar," in *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XX Program Studi MMT-ITS,* Surabaya, Feb. 2014.

[4] S. U. Ranyono, Wahyudi, and N. Caroko, "Pengaruh Level Campuran Biodiesel Nyamplung -Solar (B5-B40) Terhadap Densitas, Viskositas Dan Sudut Injeksi Bahan Bakar," *Research Gate*, Dec. 2024.

[5] R. E. Caraka and P. C. Ekacitta, "Simulasi Kalkulator Energi Baru Terbarukan (EBT) Guna Memenuhi Ketahanan Energi di Indonesia," *Journal of Theoretical Statistics and Its Applications*, vol. 16, no. 2, pp. 77–88, Dec. 2016, doi: https://doi.org/10.29313/jstat.v16i2.1956.

[6] Y. Bindar *et al.*, "Produksi Minyak Mentah Pirolisa Biomassa (MMPB)," presented at the Seminar Appropriate Technology for Biomass Derived Fuel Production, Ruang Komisi Utama, BPPT 2nd Building 3rd Floor, Jl. Thamrin No.8: BPPT, Feb. 2016. doi: http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4775.6567.

[7] F. Hidayat, L. Pangaribuan, A. K. Permadi, and M. B. D. AbdurrahmanRe, "Pengaruh Parameter Operasional Injeksi CO2 Terhadap Peningkatan Perolehan: Studi Kasus Lapangan M Effects of CO2 Injection Operational Parameters on Recovery Improvement: A Case Study at M Field," *Jurnal Teknologi Minyak dan Gas Bumi*, vol. 16, no. 2, pp. 81–91, Agustus 2018.

[8] E. Hambali, S. ujdalifah, A. H. Tambunan, A. W. Pattiwiri, and R. Hendroko, *Teknologi bioenergi Authors*. AgroMedia, 2007.

[9] H. Zhang, Z. Lu, T. Wang, and Z. Che, "Mist formation during micro-explosion of emulsion droplets," *Fuel*, vol. 339, May 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.127350.

[10] D31.08, S*tandard Test Method for Determination of Free Fatty Acids Contained in Animal, Marine, and Vegetable Fats and Oils Used in Fat Liquors and Stuffing Compounds*, ASTM D5555-95, Dec. 29, 2023. doi: 10.1520/D5555-95R17.

[11] G. Singh, E. Lopes, N. Hentges, and A. Ratner, "Experimental Investigation of Water Emulsion Fuel Stability Available to Purchase," in *ASME 2019 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Salt Lake City, Utah, USA: ASME, Nov. 2019.

[12] C. Delesma, R. Castillo, P.Y, S.-C. P.J., Sebastian, and J. Muñiz, "Density Functional study on the transesterification of triacetin assisted by cooperative weak interactions via a gold heterogeneous catalyst: Insights into Biodiesel production mechanisms," *arXiv*, vol. 1701, no. 03179, Jan. 2017, doi:https://doi.org/10.48550/arXiv.1701.03179.

[13] F. Billaud, J. Gornay, and L. Coniglio, "Pyrolysis of secondary raw material from used frying oils," *arXiv*, vol. 0709, no. 4340, Sep. 2007, doi: https://doi.org/10.48550/arXiv.0709.4340.

[14] A. Uyaroğlu, T. Kocakulak, and B. Aydoğan, "Investigation of the Effects of Biodiesel Produced from Crambe Abyssinica Plant on Combustion, Engine Performance and Exhaust Emissions," *arXiv*, vol. 2212, no. 12159, Dec. 2022, doi:https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.12159.

[15] M. Suresh, M. Dutta, and S. Purushothaman, "Application of polynomial vector (pv) processing to improve the estimation performance of bio diesel in variable compression ratio diesel engine," *arXiv*, vol. 1301, no. 1261, Dec. 2012, doi: https://doi.org/10.48550/arXiv.1301.1261.

[16] G. Singh, E. Lopes, N. Hentges, and A. Ratner, "Experimental investigation of water emulsion fuel stability," presented at the ASME 2019 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, in V007T08A034, vol. IMECE2019-10258, V007T08A034. Salt Lake City, Utah, USA: ASME, Nov. 2019, p. 7. doi: https://doi.org/10.1115/IMECE2019-10258.

[17] B. Krishan, P. Rastogi, D. C. K. Rao, N. S. Kaisare, M. G. Basavaraj, and S. Basu, "Evaporation of water-in-oil microemulsion droplet," *arXiv*, vol. 2408, no. 15780, doi: https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.15780.