



Peranan medan magnet dan campuran etanol-biodiesel minyak jelantah pada pembakaran droplet terhadap perilaku api dan emisi gas buang

The role of magnetic fields and blend ethanol-waste cooking oil biodiesel on droplet combustion on flame behavior and flue gas emissions

D. Perdana^{*}, S.F.W.A. Fiyanto

Jurusan Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Ma'arif Hasyim Latif, Sidoarjo, Indonesia.

*E-mail: dony_perdana@dosen.umaha.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 23 July 2024

Accepted 06 September 2024

Available online 01 October 2024

Keywords:

Used cooking oil biodiesel

Droplet combustion

Ethanol

The role of the magnetic field

Petroleum reserves are increasingly depleting, causing a scarcity of petroleum fuel caused by the rapid progress of transportation and the manufacturing industry. This condition forces researchers to search for and develop new renewable energy source. The purpose of research is to understand and determines role of north-south (U-S) and south-south (S-S) magnetic fields to blend waste cooking oil biodiesel-ethanol on flame evolution, flue gas emissions, and temperature during droplet combustion. Waste cooking oil biodiesel and ethanol were used in this research by adding variations in the direction of repulsive and attractive magnetic fields with an intensity of 11000 gauss. Diameter of droplets tested was 0.3 mm and was placed on a type K thermocouple wire with diameter of 0.1 mm. This research found the role of attractive magnetic field (U-S) in blend waste cooking oil biodiesel-ethanol 20% to produce the shortest flame evolution of 704 ms, lowest CO of 165 ppm, and highest temperature of 828.5 °C. This happens because ethanol has a low flash point and large oxygen content, causing the combustion reaction to occur rapidly. The attractive of magnetic field (U-S) plays a role on attracting oxygen around flame to enter combustion reaction, while the H₂O resulting from combustion is pumped out of flame.



1. PENDAHULUAN

Meningkatnya jumlah kendaraan di dunia menyebabkan konsumsi bahan bakar energi dari fosil secara terus menerus, menyebabkan krisis energi semakin intensif. Cadangan bahan bakar dari minyak bumi berhubungan langsung dengan meningkatnya kebutuhan manusia akan produksi energi. Dengan bertambahnya populasi dunia, industri, kendaraan dan peralatan, peningkatan permintaan energi telah menyebabkan pencarian pengganti bahan bakar minyak bumi yang dapat memenuhi kebutuhan manusia sekarang ini. Salah satu kelemahan utama bahan bakar fosil adalah menghasilkan emisi dan disertai dengan risiko lingkungan yang besar,

misalnya pemanasan global seperti dijelaskan oleh Usman dkk. (2022). Untuk mencapai tujuan ini, banyak peneliti telah menyumbangkan metode berbeda untuk mengurangi emisi partikel dari mesin ICE, seperti teknik pembakaran tingkat lanjut, sistem pembuangan gas buang, dan bahan bakar alternatif seperti biodiesel dan alcohol seperti yang dikemukakan oleh Verma dkk.(2019). Sifat fisik dan kimia biodiesel mirip dengan solar memungkinkannya menggunakan infrastruktur transportasi mesin solar. Keunggulan ini mengurangi biaya produksi dan memiliki efisiensi ekonomi yang sangat tinggi. Dibandingkan dengan solar, kandungan sulfur lebih rendah, kandungan aromatik, dan kandungan oksigen yang lebih tinggi dalam biodiesel sehingga menurunkan emisi HC dan CO (Gad dkk., 2020). Karena viskositas biodiesel yang tinggi dan angka setana yang rendah, penggunaan biodiesel dengan konsentrasi tinggi akan meningkatkan waktu tunda penyalaan dan menurunkan suhu penyalaan, serta viskositas yang tinggi dapat menyebabkan tersumbatnya nosel injeksi bahan bakar, pembakaran tidak sempurna di dalam silinder, dan peningkatan emisi gas buang (Saikia, 2021). Emulsi bensin dengan biodiesel WCO meningkatkan sifat WCO dan menyebabkan pengurangan emisi NOx (Gad dkk., 2020). Campuran 25% biodiesel WCO dengan solar ketika dijalankan pada generator diesel 33KW, pada beban penuh, menunjukkan penurunan emisi CO₂ dan NOx masing-masing sebesar 19,27% dan 41,54% sedangkan emisi CO meningkat sebesar 52,40% dibandingkan solar. Portillo dkk. (2020) menyelidiki kelayakan biodiesel, bahan bakar berkelanjutan yang terbuat dari minyak goreng bekas, untuk digunakan pada mesin pembakaran dalam. Untuk melestarikan lingkungan, biodiesel WCO secara efisien menurunkan emisi sebesar 85% karena penurunan emisi hidrokarbon, SO₂, CO, dan asap pada gas buang. Selain itu, *brake specific fuel consumption* (BSFC) meningkat sementara *brake specific energy consumption* (BSEC), brake power (BP) dan torsi berkurang (Yaqoob dkk., 2021).

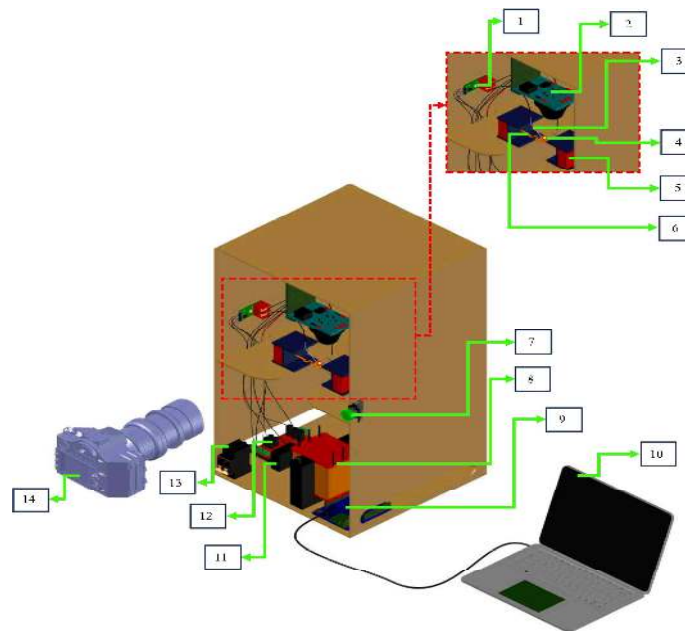
Aditif bahan bakar dapat berperan penting dalam mengoptimalkan kinerja mesin dengan meningkatkan kualitas bahan bakar dan memastikan pembakaran lebih efisien. Aditif akan meningkatkan penghematan bahan bakar karena bahan bakar dibakar dengan efisiensi lebih tinggi, meningkatkan keluaran tenaga mesin, dan mengurangi emisi. Sebagian besar viskositas biodiesel tidak dapat memenuhi persyaratan standar. Teknik lain untuk mengurangi viskositas dan kepadatan sampel bahan bakar adalah penambahan berbagai alkohol yang meningkatkan sifat bahan bakar sampel campuran bahan bakar (Datta dan Mandal, 2016). Meskipun alkohol tidak dapat digunakan secara langsung pada mesin pengapian kompresi, alkohol merupakan bahan tambahan bahan bakar yang paling cocok untuk bahan bakar diesel dan biodiesel karena karakteristik bahan bakarnya (Kumar dan Saravanan, 2016). Örs dkk. (2020) melakukan percobaan pada mesin SI dengan mencampurkan metanol dan etanol dengan bensin. Mereka menemukan bahwa penambahan metanol meningkatkan nilai *brake specific fuel consumption* (BSFC) sebesar 10,3% dibandingkan dengan penambahan etanol, sedangkan *brake thermal efficiency* (BTE) berkurang 6,12%. Qian dkk. (2019) dalam studi mereka, telah menggunakan efek yang diselidiki pada karakteristik pembakaran dan emisi dari penambahan etanol (21%, 25%, 29%, 32% dan 35% sebagai volumetrik) pada bensin sebagai bahan bakar pada mesin *sprak ignition* (SI). Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan rasio etanol dalam bahan bakar menyebabkan penurunan nilai tekanan silinder maksimum dan *heat release rate* (HRR) maksimum. Selain itu, durasi timbulnya nyala api dan durasi pembakaran cepat juga meningkat. Ketika parameter emisi gas buang diteliti, ketika emisi CO meningkat, nilai emisi NOx dan HC menurun.

Selain teknik yang disebutkan di atas, ionisasi *magnetic* bahan bakar adalah teknik baru lainnya yang belum banyak dieksplorasi oleh para peneliti. Bahan bakar cair sebagian besar mengandung hidrokarbon yang memiliki gaya tarik yang kuat sehingga dapat membentuk struktur padat. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian, mereka berpendapat bahwa penambahan medan magnet mempengaruhi perilaku nyala api dengan menggunakan metode pengukuran yang berbeda (Perdana dkk., 2021). Hasil ini menunjukkan bahwa medan magnet secara signifikan dapat mengubah struktur nyala api (Perdana dkk., 2020), suhu (Perdana dkk., 2022). Arah medan magnet yang bervariasi, menghasilkan gaya magnet yang berbeda-beda sehingga bentuk nyala api berubah-ubah, pertukaran panas antara gas dengan permukaan bahan bakar dan terjadi perubahan laju pembakaran (Zhang dan Wei, 2021). Arah medan magnet yang berubah-ubah mampu mempercepat kecepatan rambatan nyala api (Soebiyakto dkk., 2020).

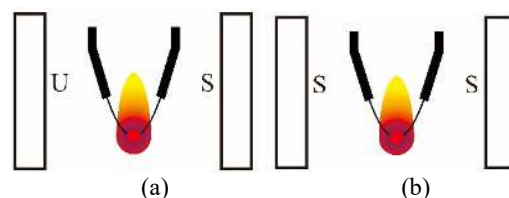
Dari pembahasan diatas, semua peneliti hanya fokus pada performa dan kinerja mesin pembakaran dalam. Sedikit dari penelitian ini yang memberikan penjelasan ilmiah mendalam untuk fenomena yang diamati. Dengan demikian, untuk lebih memahaminya, studi lebih mendasar dibutuhkan, bagaimanapun perilaku nyala yang memainkan peran penting dalam stabilitas pembakaran tidak dapat diamati. Perhatian khusus harus diberikan pada penelitian tentang pengaruh berbagai arah medan magnet diruang bakar pada pembakaran droplet dengan menggunakan campuran biodiesel minyak jelantah dengan etanol 20% sebagai bahan bakar alternatif. Dengan kata lain, perlu untuk mempelajari bagaimana pengaruh tersebut diruang bakar, terutama pada peralatan ruang bakar pembangkit listrik selama penggunaan jangka panjang.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan menggunakan peralatan eksperimental yang ditunjukkan secara skematis pada gambar 1, dengan tujuan untuk menguji karakteristik pembakaran tetesan campuran biodiesel minyak jelantah (BMJ) dengan etanol 20% yang dipengaruhi penambahan berbagai arah medan magnet tarik (U-S) dan tolak (S-S) ditunjukkan pada gambar 2. Diameter tetesan dijaga konstan pada diameter sekitar 0.3 mm dibuat pada *thermocouple junction* tipe K terbuat dari Pt/Rh13% dengan diameter 0.1 mm yang berguna penyangga tetesan dan pengukur temperatur nyala api, yang dihubungkan ke *data logger*. Diatas *thermocouple* terpasang modul sensor MQ-7 untuk mengukur emisi *carbon monoksida* (CO). *Droplet*, dinyalakan dengan menggunakan kawat pemanas berbahan Ni-Cr beradiameter 0,7 mm, panjang 30 mm dengan tegangan 12 V dan arus 5 A yang terletak pada jarak 3 mm di bawah *droplet*. Tetesan yang dibentuk pada *thermocouple* ditempatkan di celah 10 mm antara 2 batang magnet permanen neodmium seperti ditunjukkan pada gambar 2. Magnet berlapis nikel grade N45 dengan intensitas sebesar 11000 *gauss* berdimensi 40 mm x 25 mm x 10 mm. Batang magnet ditempatkan pada dudukan dan dikencangkan oleh baut dan mur sehingga mempermudah dilepas atau dipasang. Semua kasus pengukuran dilakukan secara berulang 5 kali pada kondisi perlakuan yang sama. Visualisasi nyala api diambil mulai awal nyala api terbentuk sampai padam menggunakan *camera high speed* Fuji ZR yang diletakkan pada jarak 20 cm dari *droplet*. Pengambilan gambar dilakukan dengan video berkecepatan 120 fps. Parameter yang diteliti pada penelitian ini diantaranya evolusi nyala api, emisi gas CO dan temperatur. Hasil dari pengambilan data kemudian diolah dengan menggunakan *free video converter to JPG* dan *Image J* kemudian diukur dengan menggunakan *software Corel Draw*, untuk mengolah data evolusi nyala api dengan satuan *millisecond* (ms) dan tinggi nyala api dengan satuan milimeter (mm).



Gambar 1 Peralatan instalasi pengujian: 1. Modul *Thermocouple*, 2. Sensor MQ-7, 3. *Thermocouple Type K*, 4. *Droplet*, 5. Magnet neodmium, 6. Kawat *heater coil*, 7. *Push button*, 8. *Transformer step down*, 9. *Arduino data logger*, 10. Laptop, 11. *Relay*, 12. *Step up dc booster*, 13. Saklar, 14. *High speed camera*



Gambar 2 Orientasi medan magnet (a) medan magnet tarik (U-S), (b) medan magnet tolak (S-S)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data sifat bahan bakar diperlukan pada penelitian ini, sebelum memperoleh data penelitian disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisika kimia etanol dan biodiesel minyak jelantah

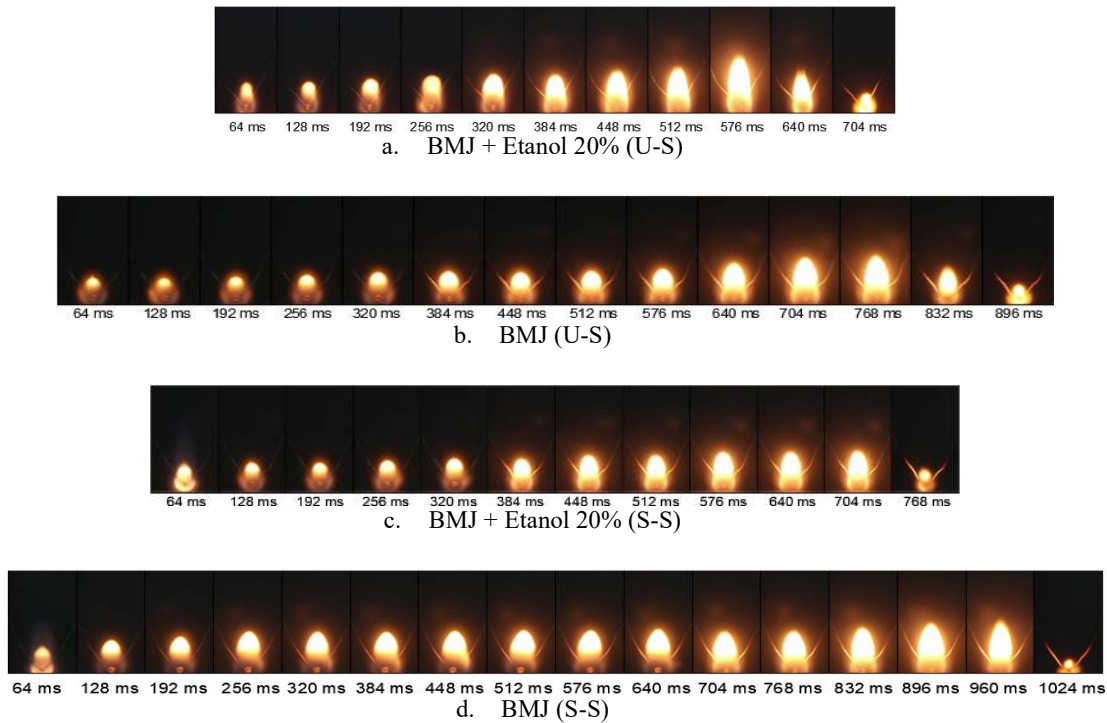
| Properties | Unit | Etanol ^{(a);(b);(c);(d)} | Biodiesel minyak jelantah ^{(e);(f)} |
|------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|--|
| <i>Kinematic viscosity at 40°C</i> | mm ² /s | 1,2 | 4,498 |
| <i>Density at 40°C</i> | kg/m ³ | 809,9 | 875 |
| <i>Caloric value</i> | MJ/kg | 26,8 | 40,047 |
| <i>Flash point</i> | °C | 12 | 98 |
| <i>Cetane number</i> | | 8 | 52 |
| <i>Hydrogen</i> | %wt | 13 | 12,1 |
| <i>Oxygen</i> | %wt | 34,78 | 10,8 |
| <i>Carbon</i> | %wt | 52,2 | 77,1 |

(a): (Wu dkk., 2021), (b): (Qijun dkk., 2020), (c): (Thakur dkk., 2017), (d): (Ghadikolaei dkk., 2019), (e): (Suherman dkk., 2023), (f): (Kolakoti dkk., 2021)

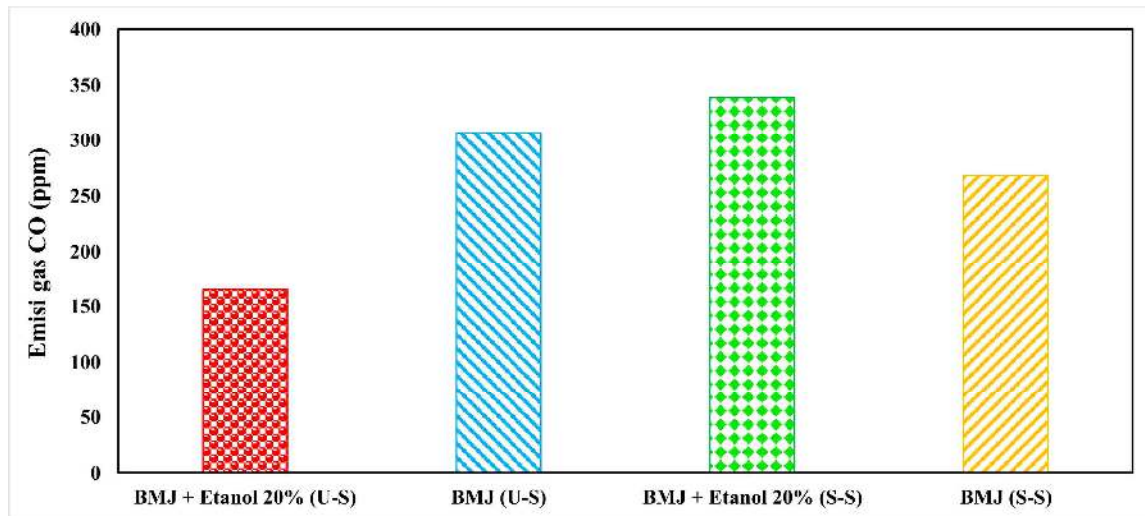
Evolusi nyala api dari pembakaran *droplet* biodiesel minyak jelantah (BMJ) dicampur etanol dengan penambahan variasi medan magnet yaitu tarik (U-S) dan tolak (S-S) ditunjukkan pada gambar 3. Pada campuran BMJ-etanol 20% dengan penambahan medan magnet tarik (U-S) menghasikan waktu evolusi nyala api tersingkat sebesar 704 ms, penelitian ini identik yang telah dilakukan oleh (Perdana dkk., 2020) pada pembakaran *premixed* minyak nabati yang diberi tambahan variasi medan magnet. Sedangkan waktu evolusi nyala api terpanjang terjadi pada BMJ tanpa campuran etanol sebesar 1024 ms, kemudian disusul BMJ tanpa campuran etanol dengan medan magnet tarik (U-S) dan BMJ dengan campuran etanol 20% dengan medan magnet tolak (S-S) masing masing sebesar 896 ms dan 768 ms. Variasi waktu evolusi nyala api terjadi dimungkinkan, pertama: etanol memiliki *flash point* yang sangat rendah daripada BMJ (lihat tabel 1) sehingga *flash point* BMJ akan menurun jika dicampur dengan etanol, mengakibatkan proses reaksi pembakaran droplet berlangsung dengan cepat. Ke dua: kandungan oksigen pada etanol yang sangat tinggi dibanding BMJ (lihat tabel 1), sehingga membuat bahan bakar dengan campuran kaya oksigen ini akan mudah bereaksi dengan bahan bakar. Kandungan oksigen akan meningkatkan reaksi pembakaran, karena pada saat bahan bakar diberi panas maka atom oksigen pada etanol akan bereaksi terlebih dahulu dengan atom karbon dan hidrogen. Reaksi ini menghasilkan putusnya rantai molekul dari BMJ sehingga mempercepat laju pembakaran dan menghasilkan pembakaran yang cepat. Medan magnet tarik (U-S) mempengaruhi bentuk nyala api, ditunjukkan pada gambar 3a-3b, dimana nyala api yang dihasilkan agak bulat. Hal ini dihasilkan dari ledakan yang terjadi akibat perbedaan temperatur droplet dengan lingkungan sekitar yang cukup signifikan. Dengan ditambah medan magnet ledakan pada *droplet* menjadi lebih intens karena molekul H₂O dan O₂ saling bertumbukan membuat molekul H₂O ini pecah lebih cepat, sehingga masing masing molekul ditarik keluar dari zona reaksi pembakaran. Saat meledak, uap bahan bakar dalam gelembung tidak memiliki waktu yang cukup untuk menyebar dan bereaksi dengan cepat dan oleh karena itu, menjadi api bulat (Gamayel dkk., 2020). Dapat diamati bahwa proses pembakaran yang cepat menyebabkan tinggi nyala api lebih rendah. Hal ini, besarnya intensitas medan magnet yang kuat menghasilkan gaya tolak menolak antar molekul hidrokarbon sehingga dapat memecah gugus molekul hidrokarbon. Hidrokarbon yang pecah menghasilkan ada ruang maksimum bagi molekul oksigen untuk bergabung dengan molekul bahan bakar. Akibatnya, molekul hidrokarbon lebih reaktif dengan oksigen dan lebih mudah terbakar.

Gambar 4 menunjukkan perbandingan emisi gas CO dari pembakaran droplet bahan bakar BMJ-etanol dengan penambahan medan magnet tarik (U-S) dan tolak (S-S). Biodiesel minyak jelantah + etanol 20% medan magnet (S-S) menghasilkan emisi gas CO tertinggi sebesar 339 ppm dibandingkan yang lainnya. Emisi gas CO terendah dihasilkan campuran bahan bakar BMJ-etanol 20% dengan medan magnet tarik (U-S) yakni sebesar 165 ppm. Pembakaran yang sempurna jika kadar emisi gas CO lebih rendah dibandingkan CO₂, besarnya CO dipengaruhi oleh banyaknya oksigen yang tersedia di ruang bakar. Penambahan etanol (oksigenat) akan menghasilkan sedikit peningkatan emisi CO jika dibandingkan dengan tanpa etanol. Kondisi ini disebabkan oleh rendahnya angka setana etanol, hal ini dapat menyebabkan ignition delay terjadi singkat dan mengakibatkan pembakaran bahan bakar lebih sempurna. Banyaknya CO yang terbentuk juga menunjukkan bahwa ketersediaan oksigen untuk pembakaran yang berlebih. Pengayaan oksigen dalam ruang bakar mengakibatkan terjadinya oksidasi parsial pada bahan bakar yang menyebabkan menurunnya jumlah CO. Identik dengan penelitian ini, penelitian lain melaporkan penurunan emisi CO dengan penambahan etanol (Pan dkk. 2019; Ortega dkk. 2021). Namun, dampak ini sangat bergantung pada jumlah dan jenis alkohol yang digunakan (Ma dkk., 2021). Dengan menambahkan etanol ke biodiesel, rasio oksigen terhadap bahan bakar dalam campuran meningkat. Ini

membantu memastikan bahwa ada cukup oksigen yang tersedia selama pembakaran untuk mengoksidasi karbon menjadi CO₂ daripada CO (Taufik dan Perdana, 2024).



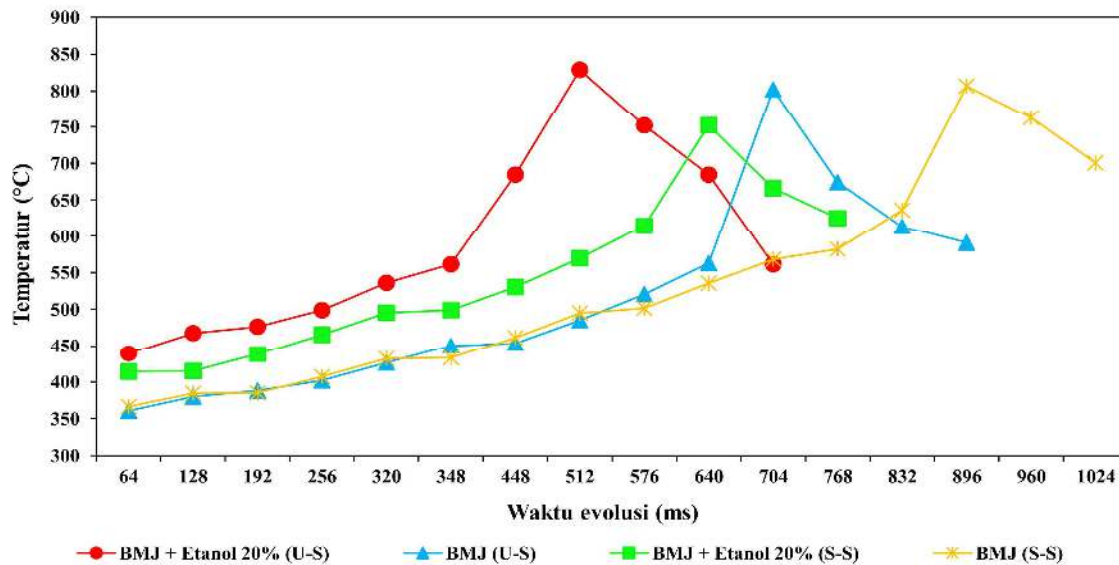
Gambar 3. Evolusi nyala api pada campuran BMJ-etanol dengan variasi medan magnet



Gambar 4. Emisi gas CO

Gambar 5 menunjukkan perbandingan temperatur dari pembakaran *droplet* campuran BMJ-etanol dengan penambahan medan magnet tarik (U-S) dan tolak (S-S). Temperatur yang dihasilkan trendnya semakin meningkat, namun pada saat diameter droplet mulai mengecil terjadi penurunan temperatur sebelum nyala api akan padam. Pada campuran bahan bakar BMJ-etanol 20% dengan medan magnet tarik (U-S) menghasilkan temperatur tertinggi sebesar 828,5 °C dibandingkan yang lainnya. Kemudian diikuti BMJ tanpa etanol dengan medan magnet tolak (S-S) dan BMJ medan magnet tarik (U-S), masing masing sebesar 806,5 °C dan 801,75 °C. Sedangkan temperatur terendah dihasilkan campuran BMJ-etanol 20% dengan medan magnet tolak (S-S) sebesar 752,25°C. Variasi temperatur ini diakibatkan nilai viskositas etanol mempengaruhi nilai viskositas BMJ,

sehingga nilai campuran bahan bakar ini menjadi rendah mengakibatkan bahan bakar lebih mudah terbakar. Bahan bakar yang mudah terbakar dan waktu evolusi nyala api singkat mengindikasikan temperatur yang dihasilkan paling tinggi, karena kandungan etanol yang kaya oksigen akan menaikkan temperatur dalam proses pembakaran (Wu dkk., 2021). Semakin besar intensitas medan magnet semakin tinggi suhu nyala api yang dihasilkan, karena O_2 semakin kaya di daerah sekitar nyala api menyebabkan reaksi pembakaran berlangsung sempurna (Perdana dkk., 2020). Tingginya temperatur nyala api mengindikasikan besarnya power/tenaga yang dihasilkan dari proses pembakaran. Sama halnya dengan menempatkan medan magnet di antara nyala api, semakin kuat intensitas medan magnet semakin tinggi temperatur yang didapatkan.



Gambar 5. Temperatur nyala pi pada campuran BMJ-etanol dengan variasi medan magnet

4. KESIMPULAN

Penelitian pembakaran *droplet* pada campuran biodiesel minyak jelantah-etanol dengan penambahan variasi arah medan magnet. Sifat fisika kimia dari campuran bahan bakar biodiesel minyak jelantah-etanol ini menghasilkan perilaku nyala api dan emisi gas buang berbeda-beda. Hal ini terjadi karena etanol mempunyai *flash point rendah* dan kandungan oksigen besar yang mempercepat proses reaksi pembakaran, sehingga mengakibatkan terjadinya proses oksidasi parsial pada bahan bakar menyebabkan menurunnya jumlah CO. Disamping itu medan magnet tarik (U-S) pada campuran biodiesel minyak jelantah-etanol 20% menghasilkan evolusi nyala api tersingkat, emisi gas CO terendah dan temperatur tertinggi pada pembakaran droplet, dibandingkan dengan yang lainnya. Hal ini dimungkinkan medan magnet tarik (U-S) mempengaruhi ledakan pada *droplet* menjadi lebih intens karena oksigen disekitar nyala api ditarik masuk kedalam reaksi pembakaran, sedangkan H_2O hasil pembakaran dipompa keluar dari nyala api, sehingga molekul H_2O dan O_2 saling bertumbukan membuat molekul H_2O ini pecah lebih cepat. Penerapan medan magnet dan etanol pada pembakaran biodiesel minyak jelantah terbukti dapat meningkatkan kualitas pembakaran yang sempurna yang dibuktikan dengan temperatur tertinggi dan emisi CO yang terendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Datta, A., Mandal, B.K., Impact of alcohol addition to diesel on the performance combustion and emissions of a compression ignition engine, *Applied Thermal Engineering*, 98, 670–82, 2016.
- Gad, M.S., EL-Seesy, A.I., Radwan, A., He, Z., Enhancing the combustion and emission parameters of a diesel engine fueled by waste cooking oil biodiesel and gasoline additives, *Fuel*, 269, 117466, 2020.
- Gamayel, A., Alshekhy, M.N.A., Al-Zubaidi, S.S., Yusuf, E., Effect of clove oil in droplet combustion of crude jatropha oil, *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(5s), 1564–1571, 2020.
- Ghadikolaei, M.A., Wei, L., Cheung, C.S., Yung, K.F., Effects of engine load and biodiesel content on performance and regulated and unregulated emissions of a diesel engine using contour-plot map, *Science of the Total Environment*, 658, 1117–1130, 2019.
- Kolakoti, A., Setiyo, M., Waluyo, B., Biodiesel production from waste cooking oil: characterization, modeling and optimization, *Mechanical Engineering for Society and Industry*, 1(1), 22-30, 2021.

- Kumar, B.R., Saravanan, S., Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 84–115, 2016.
- Ma, Q., Zhang, Q., Liang, J., Yang, C., The performance and emissions characteristics of diesel/biodiesel/alcohol blends in a diesel engine, *Energy Reports*, 7, 1016–1024, 2021.
- Örs, İ., Sayin, B., Ciniviz, M., Comparative study of ethanol and methanol addition effects on engine performance, combustion and emissions in the SI engine, *International Journal Of Automotive Science And Technology*, 4(2), 59–69, 2020.
- Ortega, M.V., Ochoa, G.V., Forero, J.D., Experimental study of emissions in single-cylinder diesel engine operating with diesel-biodiesel blends of palm oil-sunflower oil and ethanol, *Case Studies in Thermal Engineering*, 26, 101190, 2021.
- Pan, M., Huang R., Liao J., Jia C., Zhou X., Huang H., Huang X., Experimental study of the spray, combustion, and emission performance of a diesel engine with high n-pentanol blending ratios, *Energy Conversion and Management*, 194, 1–10, 2019.
- Perdana, D., Yuliati, L., Hamidi, N., Wardana, I.N.G., The role of magnetic field orientation in vegetable oil premixed combustion, *Journal of Combustion*, 2020, 2020.
- Perdana, D., Adiwidodo, S., Choifin, M., Winarko, W.A., The effect of magnetic field variations in a mixture of coconut oil and jatropha on flame stability and characteristics on the premixed combustion, *EUREKA: Physics and Engineering*, 5, 13–22, 2021.
- Perdana, D., Adiwidodo, S., Subagyo, S., Winarko, W.A., The role of perforated plate and orientation of the magnetic fields on coconut oil premixed combustion, *INMATEH - Agricultural Engineering*, 67(2), 77–84, 2022.
- Perdana, D., Pengaruh variasi arah medan magnet pembakaran premixed minyak nabati terhadap karakteristik nyala api pada tungku industri, *Teknik*, 43(3), 280–286, 2022.
- Portillo, E.A.V., Díaz, B.B., Cervantes, V.Y.M., Life cycle assessment and emission analysis of waste cooking oil biodiesel blend and fossil diesel used in a power generator, *Fuel*, 281, 118739, 2020.
- Qian, Y., Liu, G., Guo, J., Zhang, Y., Zhu, L., Lu, X., Engine performance and octane on demand studies of a dual fuel spark ignition engine with ethanol/gasoline surrogates as fuel, *Energy Conversion and Management*, 183, 296–306, 2019.
- Saikia, M., Thermal and emission performances of citrus maxima biodiesel blends in CI engine, *Materialstoday: PROCEEDINGS*, 45(6), 4558–4564, 2021.
- Soebiyakto, G., Wardana, I.N.G., Hamidi, N., Yuliati, L., Addition of bio-additive as a catalyst of burning vegetable oil influenced by 4 pole magnetic field, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(6–104), 2020.
- Suherman, S., Abdullah, I., Sabri, M., Silitonga, A.S., Evaluation of physicochemical properties composite biodiesel from waste cooking oil and schleichera oleosa oil, *Energies*, 16(15), 5771, 2023.
- Tang, Q., Ren, K., Xie, X., Chen, T., Jiang, P., Zhang, D., Impact of acetone-ebutanole-ethanol (ABE) and gasoline blends on the energy balance of a high-speed spark-ignition engine, *Thermal Science and Engineering Progress*, 46, 102175, 2023.
- Taufik, M., Perdana, D., Effect of mixture eucalyptus oil and magnetic fields on droplets combustion palm oil on flame behaviours and flue gas emissions, *Journal of Renewable Energy and Mechanics*, 7(01), 1–11, 2024.
- Thakur, A.K., Kaviti, A.K., Mehra, R., Mer, K.K.S., Progress in performance analysis of ethanol-gasoline blends on SI engine, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 324–340, 2017.
- Usman, M., Malik, M.A.I., Bashir, R., Riaz, F., Raza, M.J., Suleman, K., Rehman, A.U., Ashraf, W.M., Krzywanski, J., Enviroeconomic assessment of HHO-CNG mixture utilization in spark ignition engine for performance and environmental sustainability, *Energies*, 15(21), 8253, 2022.
- Verma, P., Stevanovic, S., Zare, A., Dwivedi, G., Chu, T.V., Davidson, M. Davidson., Rainey, T., Brown, R. J., Ristovski, Z.D., An overview of the influence of biodiesel, alcohols, and various oxygenated additives on the particulate matter emissions from diesel engines, *Energies*, 12(10), 1987, 2019.
- Wiratmaja, I.G., Elisa, E., Kajian peluang pemanfaatan bioetanol sebagai bahan bakar utama kendaraan masa depan di indonesia, *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 8(1), 1–8, 2020.
- Wu, G., Ge, J.C., Choi, N.J., Effect of ethanol additives on combustion and emissions of a diesel engine fueled by palm oil biodiesel at idling speed, *Energies*, 14(5), 1428, 2021.
- Yaqoob, H., Teoh, Y.H., Sher, F., Farooq, M.U., Jamil, M.A., Kausar, Z., Sabah, N.U., Shah, M.F., Rehman, H.Z.U., Rehman, A.U., Potential of waste cooking oil biodiesel as renewable fuel in combustion engines: a review, *Energies*, 14(9), 2565, 2021.
- Zhang, Z., Wei, Z., Experiment and simulation of the effects of non-uniform magnetic field on the regression rate of PMMA, *Combustion and Flame*, 223, 337–348, 2021.