

**EFFECT OF MIXTURE EUCALYPTUS OIL AND MAGNETIC
FIELDS ON DROPLETS COMBUSTION PALM OIL ON
FLAME BEHAVIOURS AND FLUE GAS EMISSIONS
(PENGARUH MEDAN MAGNET DAN CAMPURAN MINYAK KAYU PUTIH
PEMBAKARAN DROPLET MINYAK SAWIT TERHADAP PERILAKU API
DAN EMISI GAS BUANG)**

Moh. Aris Taufik¹, Dony Perdana^{1*}

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Maarif Hasyim Latif Sidoarjo
Jl. Ngelom Megare No 30 Sepanjang Taman Kab. Sidoarjo Jawa Timur

*Corresponding author: dony_perdana@dosen.umaha.ac.id

ABSTRACT

This research has the purpose to determine and understand the role of repelling magnetic field and the variation of eucalyptus oil bio-additives on flame evolution and exhaust emissions in burning palm oil droplets. Presently, the requirement for energy is increasing, so people must look for alternative energy of fuels. Because the availability of fossil fuels cannot be renewed and their existence is increasingly depleting. This situation really forces us to develop vegetable oil as a new energy source, one of which is palm oil. This research method uses a direct testing method on palm oil which is given a variation of a mixture of eucalyptus oil bio-additives a droplet diameter of 0.3-0.4 mm at a thermocouple diameter of 0.12 mm with magnetic field strength of 10,000 Gauss and heated by heater component. This research has found that the role of repelling magnetic field N-N (north-north) and variations in eucalyptus oil bio-additives have a major influence on the evolution time of the flame. The mixture of 10% bio-additive produces the shortest flame time of 1600 milliseconds, the lowest flame height with a value of 5.74 mm, and the highest temperature of 894.25°C compared to other bio-additive variations. CO exhaust gas at 6% bio-additive produces the lowest value of 33 ppm while NOx exhaust gas at 10% bio-additive produces the lowest value of 545 ppm.

Keywords: Droplet combustion, eucalyptus oil, flue gas emissions, magnetic fields, palm oil

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini mengetahui dan memahami pengaruh medan magnet tolak dan variasi bioaditif minyak kayu putih terhadap evolusi nyala api dan emisi gas buang pada pembakaran droplet minyak sawit. Saat ini kebutuhan akan energi semakin meningkat, sehingga umat manusia harus mencari energi bahan bakar alternatif. Karena ketersediaan bahan bakar fosil tidak dapat diperbarui dan keberadaannya semakin hari semakin menipis. Keadaan ini sangat memaksa kita untuk mengembangkan minyak nabati sebagai sumber energi baru salah satunya

adalah minyak sawit. Metode penelitian ini menggunakan metode pengujian secara langsung pada minyak sawit yang diberikan variasi campuran bioaditif minyak kayu putih dengan diameter droplet 0.3-0.4 mm pada penampang thermocouple berdiameter 0,12 mm dengan kekuatan medan magnet 10.000 Gauss dan dipanaskan oleh heater. Penelitian ini telah menemukan bahwa peranan medan magnet tolak utara-utara dan variasi bioaditif minyak kayu putih memberikan pengaruh besar pada waktu evolusi nyala api. Campuran bioaditif 10% menghasilkan waktu nyala api tersingkat 1600 milisecond, tinggi nyala api terendah dengan nilai 5,74 mm dan temperature tertinggi sebesar 894,25°C dibandingkan dengan variasi bioaditif lainnya. Gas buang CO pada bioaditif 6% menghasilkan nilai terendah 33 ppm sedangkan gas buang NOx pada bioaditif 10% menghasilkan nilai terendah sebesar 545 ppm.

Kata Kunci: emisi gas buang, medan magnet, minyak kayu putih, minyak sawit, pembakaran droplet

PENDAHULUAN

Pertumbuhan populasi global mendorong meningkatnya permintaan energi dari bahan bakar fosil untuk memenuhi berbagai industri dan aplikasi, termasuk transportasi darat, seperti otomotif, kereta api, industri berat, penerbangan internasional dan transportasi laut. Hal ini membuat cadangan minyak bumi dunia semakin menipis. Sebagai pengganti minyak bumi, *Biofuel* merupakan salah satu bahan bakar alternatif karena sifatnya mirip dengan solar (Scaldaferri & Pasa, 2019). Penelitian tentang karakteristik pembakaran pada mesin diesel menggunakan minyak nabati atau turunannya telah banyak dilakukan beberapa tahun terakhir ini. Bahan bakar biodiesel berbasis minyak nabati memiliki sifat fisikokimia yang serupa (Che Mat et al., 2018) dan ini menjadikannya pilihan utama untuk bahan bakar alternatif yang akan digunakan dalam mesin CI dengan perubahan yang tidak signifikan atau tanpa perubahan pada mesin. Biodiesel juga merupakan bahan bakar beroksigen tinggi (sekitar 11-15%). Selama pembakaran, dapat memberikan oksigen

tertentu, meningkatkan pembakaran, mengurangi emisi CO, HC dan PM, tetapi sedikit meningkatkan NOx (Suh & Lee, 2016). Namun ada beberapa kelemahan jika diaplikasikan langsung menjadi bahan bakar alternatif, kelemahan yang paling krusial masalah *properties* bahan bakar umumnya memiliki nilai viskositas dan atomisasi yang masih terlalu tinggi, serta volatilitas dan densitas bahan bakar yang masih terlalu rendah (Chiatti et al., 2019). Biodiesel menghasilkan atomisasi dan penguapan yang buruk, yang mengarah pada pembentukan tetesan bahan bakar, yang sebagian besar disebabkan oleh tegangan permukaan dan viskositas tinggi. Konsekuensi ini dapat menyebabkan penurunan kualitas kemajuan pembakaran, selanjutnya, mengurangi kinerja dan efisiensi mesin (Khalid et al., 2017). Namun demikian, sejumlah pendekatan telah berjuang untuk mengatasi masalah ini secara tepat untuk memastikan penerapan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif dapat bertahan lama, misalnya dengan meningkatkan kualitas biodiesel sejak tahap produksi, dengan menggunakan biodiesel konsentrasi rendah (Serrano et

al., 2015), dengan menerapkan strategi bahan bakar ganda (Lee et al., 2017), dengan menerapkan strategi pemanasan awal bahan bakar sebelum injeksi (Khalid et al., 2017), dengan memasukkan aditif bahan bakar biodiesel (Saputra Nursal et al., 2017). Campuran minyak sawit/solar PO20 dengan penambahan *butylated hydroxytoluene* (BHT) (2000 ppm) dan 20% vol n-butanol. Laju pelepasan panas PO20 + BHT hampir mirip dengan solar, meskipun faktanya tekanan silinder sekitar 7,1% lebih rendah, dan laju pelepasan panas PO20 + n-butanol lebih tinggi dari solar. Penelitian mereka juga menemukan pengurangan 37,5% dalam emisi CO dan peningkatan 1,9% dalam emisi NO_x dibandingkan dengan solar. Selain itu, konsentrasi n-butanol yang dicampur dalam solar yang lebih rendah (5-10%) menghasilkan tingkat CO dan emisi NO_x yang lebih rendah daripada solar, sedangkan konsentrasi n-butanol yang lebih tinggi (20%) menyebabkan tingkat emisi CO dan HC yang lebih tinggi, namun emisi *exhaust gas temperature* (EGT) dan NO_x lebih rendah daripada solar (Senthur Prabu et al., 2018). Selain itu, terjadi peningkatan *brake specific fuel consumption* (BSFC) dan *brake thermal efficiency* (BTE) dengan meningkatnya kandungan n-butanol dalam campuran bahan bakar dan juga akan memberikan bahan bakar alternatif yang stabil bahkan pada suhu rendah (Atmanli et al., 2016). Aditif *naftalena* sebesar 2 gram dicampur dengan pertalite, menunjukkan torsi dan daya tertinggi serta menghasilkan emisi gas buang CO dan HC terendah pada campuran dibandingkan dengan pertalite murni (Abdi Saragih, 2019).

Selain teknik yang disebutkan di atas, ionisasi magnetik 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 yang disebut senyawa semu yang dapat diatur lebih lanjut ke dalam kelompok. Medan magnet memiliki pengaruh positif pada bahan bakar dalam proses pembakaran (Abdul-Wahhab et al., 2017), hal ini menyebabkan perubahan beberapa sifat fisika-kimianya (Melo-Espinosa et al., 2016). Beberapa peneliti telah melakukan penelitian, mereka berpendapat bahwa penambahan medan magnet mempengaruhi perilaku nyala api dengan menggunakan metode pengukuran yang berbeda (Perdana et al., 2021). Ditemukan bahwa medan magnet secara signifikan dapat mengubah struktur nyala api (Wu et al., 2016), suhu (Perdana et al., 2022). Penelitian juga dilakukan pada mesin diesel yang dipengaruhi medan magnet, menghasilkan BSFC, partikulat, CO, HC, dan CO₂ masing masing 3,5%, 21,9-33,3%, 5,4-11,3%, 29,4-64,7%, dan 2,68-4,18%, semakin berkurang, namun NO_x meningkat 1,24-13,4%. Putaran mesin diesel divariasikan (1000 hingga 2500 rpm) tanpa dan menggunakan intensitas medan magnet (7000, 9000 dan 18000 G), menemukan pengurangan konsumsi bahan bakar 15,71%, BSFC 15,71% dan HC 29,82%, tetapi CO₂ meningkat sebesar 33,04% (Kurji & Imran, 2018).

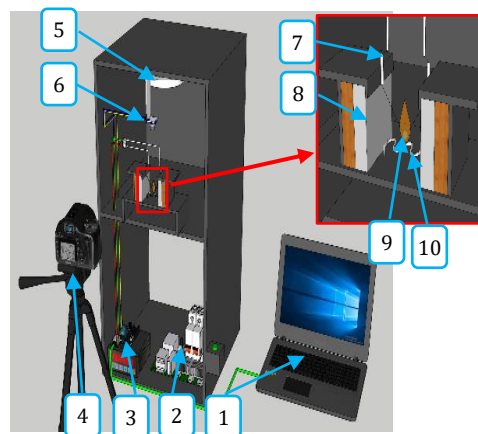
Semua penjelasan sebelumnya, peneliti hanya meneliti kinerja mesin pembakaran dalam. Sedikit dari beberapa penelitian yang memberikan penjelasan ilmiah mendalam untuk fenomena yang diamati. Dengan demikian, untuk lebih memahaminya, studi lebih mendasar dibutuhkan, bagaimanapun karakteristik nyala api

yang memainkan peran penting dalam stabilitas pembakaran tidak dapat diamati. Perhatian khusus harus diberikan pada penelitian tentang pengaruh medan magnet dan campuran minyak kayu putih pembakaran droplet minyak sawit terhadap perilaku api dan emisi gas buang 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.

METODE PENELITIAN

Metode experimental (*true experimental research*) digunakan dalam penelitian ini. Obyek yang diteliti untuk memperoleh data dengan menggunakan sebuah alat yang ditunjukkan pada gambar 1. Instalasi penelitian dengan skala laboratorium. Pada proses pembakaran *droplet* minyak sawit sebanyak 4 ml dicampurkan dengan bioaditif minyak kayu putih dengan konsentrasi 0%, 6%, 8% dan 10%. Magnet batang permanen yaitu medan magnet tolak utara-utara (U-U) dengan intensitas medan magnet 1.1 tesla type neodymium (N52) berdimensi 40×25×10 mm. Minyak sawit yang telah dicampurkan dengan bioaditif minyak kayu putih, droplet dengan diameter 0.3-0.4 mm diteteskan di *thermocouple* type K dengan material Pt/Rh13% diameter 0.12 mm yang terhubung pada modul *Arduino*, di atasnya diletakkan modul sensor MQ-7 dan MQ-135 (CO dan NOx) secara bergantian untuk mengukur emisi gas buang. Kawat pemanas listrik Ni-Cr berdiameter 0.7 mm dengan catu daya 6 V DC dengan arus listrik 5 A digunakan untuk menyalakan droplet. Kamera berkecepatan tinggi (120 fps) Fuji ZR digunakan untuk merekam nyala

api, mulai menyala sampai api padam. Hasil perekaman kemudian dioalah dengan menggunakan aplikasi *Free Video to JPG Converter* dengan pengukuran satuan *milli second* (ms). Aplikasi *Corel Draw* digunakan untuk mendapatkan evolusi, temperatur dan tinggi nyala api. Pengambilan data dilakukan sampai 10 kali percobaan.



Gambar 1. Instalasi alat pengujian

Keterangan gambar:

1. Laptop
2. Power supply DC 12V
3. Data logger
4. Kamera
5. Lampu
6. Sensor MQ-7 dan MQ-135
7. *Thermocouple* type K
8. Magnet
9. Droplet
10. Kawat nikelin atau *coil heater*

Tabel 1. Sifat fisika minyak sawit (Perdana et al., 2023)

Vegetable oil	Physical properties	
Palm oil	Kinematic viscosity at 38°C (mm ² /s)	39,6
	Calorific value (MJ/kg)	36,9
	Density at 20°C (kg/m ³)	910

Cloud point (°C)	31
Pour point (°C)	31
Flash Point (°C)	267–330

Tabel 2. Sifat kimia dan komposisi asam lemak pada minyak kelapa sawit (Marlina et al., 2020)

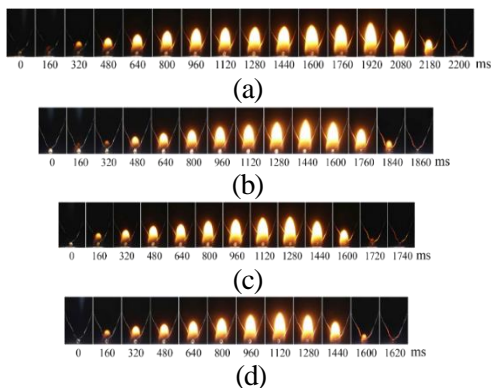
Chemical composition	Cn:db	Formula	Content (%)
Palmitic	16:0	$C_{16}H_{32}O_2$	40-47
Palmitoleic	16:1	$C_{16}H_{30}O_2$	0-0.6
Stearic	18:0	$C_{18}H_{36}O_2$	3-6
Oleic	18:1	$C_{18}H_{34}O_2$	36-44
Linoleic	18:2	$C_{18}H_{32}O_2$	6-12
Linolenic	18:3	$C_{18}H_{30}O_2$	0-0.5

Tabel 3. Sifat fisika minyak kayu putih (Marlina et al., 2020)

Vegetable oil	Physical properties	
Eucalyptus oil	Viscosity at 40°C (mm ² /sec)	2,197
	Flash Point (°C)	49
	Density at 15°C (gr/cm ³)	0,900-0,930

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh medan magnet tolak dan variasi bioaditif minyak kayu putih terhadap evolusi nyala api



Gambar 2. Hubungan pengaruh medan magnet tolak dan variasi bioaditif minyak kayu putih terhadap evolusi nyala api: (a) 0%, (b) 6%, (c) 8%, dan (d) 10%

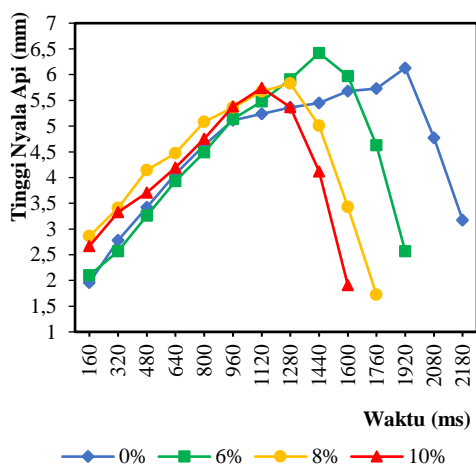
Gambar 2 menunjukkan evolusi nyala api dari minyak sawit dengan diberikan medan magnet tolak (U-U) dan ditambahkan variasi bioaditif minyak kayu putih. Pada minyak sawit dengan campuran 0% minyak kayu putih atau tanpa memiliki waktu nyala api terlalu lama sebesar 2180 ms, diikuti dengan variasi bioaditif sebesar 6%, 8%, dan 10% masing-masing sebesar 1840 ms, 1720 ms, dan 1600 ms dengan waktu terpendek.

Peranan variasi bioaditif minyak kayu putih pada minyak sawit membuat waktu nyala api menjadi lebih cepat, ini dikarenakan minyak sawit memiliki viskositas yang tinggi (lihat pada tabel 1) dan termasuk dalam kelompok minyak nabati dengan asam lemak jenuh tunggal yang sebagian besar tersusun atas asam palmitat ($C_{16}H_{32}O_2$) (lihat pada tabel 2). Dengan dicampurnya bioaditif minyak kayu putih kedalam minyak sawit menghasilkan viskositas turun. Penurunan tersebut disebabkan minyak kayu putih memiliki viskositas yang lebih rendah dari minyak sawit (lihat pada tabel 4 dan table 1). Disamping itu minyak kayu putih juga memiliki kandungan sineol (eucalyptol) sebesar 50% - 65% yang terbesar dibanding yang lainnya (Musyaroh, 2016), dimana sineol dengan rumus kimia $C_{10}H_{18}O$ memiliki kandungan oksigen didalamnya yang mampu mempercepat putusnya rantai molekul dari minyak sawit, sehingga mempercepat laju pembakaran pada minyak sawit.

Pengaruh medan magnet tolak dan variasi bioaditif minyak kayu putih terhadap tinggi nyala api

Grafik perbandingan tinggi nyala api dengan medan magnet tolak (U-U) dan variasi bioaditif minyak kayu putih

ditunjukkan pada gambar 3. Dari semua variasi campuran bioaditif dan nonbioaditif menunjukkan tinggi nyala api memiliki *trend* meningkat, kemudian dengan meningkatnya waktu nyala api, tinggi nyala api trendnya mulai menurun sampai nyala api sebelum padam. Tinggi nyala api yang terendah terjadi pada bioaditif 10% sebesar 5.74 mm pada waktu 1120 ms. Setelah itu mengalami penurunan sebelum nyala api padam pada waktu 1600 ms. Sedangkan pada bioaditif 0% menghasilkan nyala api yang tertinggi sebesar 6.13 mm pada waktu 1920 ms, kemudian diikuti bioaditif 6% dan 8% dengan tinggi nyala api masing-masing 6.42 mm di waktu 1440 ms dan 5.83 mm pada waktu 1280 ms.

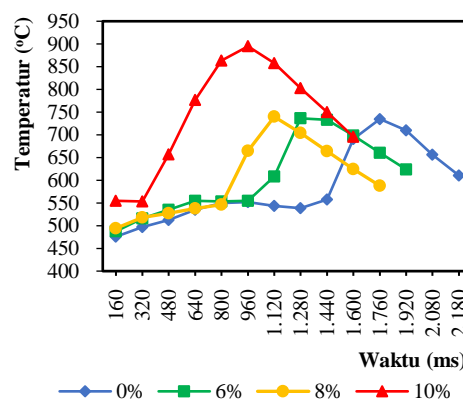


Gambar 3. Hubungan pengaruh medan magnet tolak dan variasi campuran bioaditif minyak kayu putih 0%, 6%, 8%, dan 10% terhadap tinggi nyala api

Hal ini terjadi dikarenakan, pertama pada proses pembakaran droplet dengan variasi bioaditif 10% yang kaya akan oksigen pada kandungan sineol (lihat tabel 3) yang ada didalam senyawa minyak kayu putih. Oksigen dibutuhkan pada proses pembakaran, dengan bertambahnya oksigen maka proses

pembakarannya menjadi lebih cepat dan sempurna. Kedua, medan magnet tolak juga memberikan pengaruh terhadap proses pembakaran karena medan magnet tolak membuat elektron dari minyak sawit keluar dari lintasan karena bergerak lebih aktif (Perdana et al., 2020), sehingga peningkatan kecepatan reaksi mampu mengimbangi kecepatan difusi.

Pengaruh medan magnet tolak dan variasi bioaditif minyak kayu putih terhadap temperatur nyala api

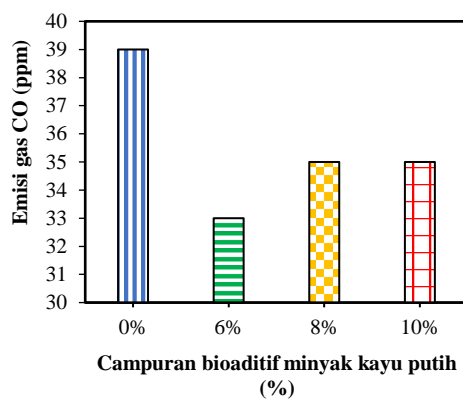


Gambar 4. Hubungan pengaruh medan magnet tolak dan variasi campuran bioaditif minyak kayu putih 0%, 6%, 8%, dan 10% terhadap temperature nyala api

Pada gambar 4 menunjukkan grafik perbandingan temperatur dari variasi campuran bioaditif minyak kayu putih pada pembakaran droplet minyak sawit dengan pengaruh medan magnet tolak. Hasil percobaan dengan temperatur tertinggi terjadi pada variasi bioaditif sebanyak 10% dengan nilai temperatur 894.25 °C, untuk variasi bioaditif 8%, 6% dan 0% berturut-turut memiliki nilai temperatur 739.75 °C, 736.25 °C dan 734.75 °C. Semakin tinggi penambahan persentase bioaditif minyak kayu putih pada minyak sawit akan menyebabkan peningkatan nilai maksimum temperatur

api. Hal ini mengindikasikan bahwa bioaditif minyak kayu putih mampu meningkatkan temperatur pada pembakaran minyak sawit, karena memiliki flash point dan viskositas yang rendah dan kaya akan oksigen. Oksigen di dalam senyawa sineol yang terkandung dalam bioaditif minyak kayu putih juga membantu meningkatkan temperatur, karena oksigen sangat dibutuhkan dalam proses pembakaran.

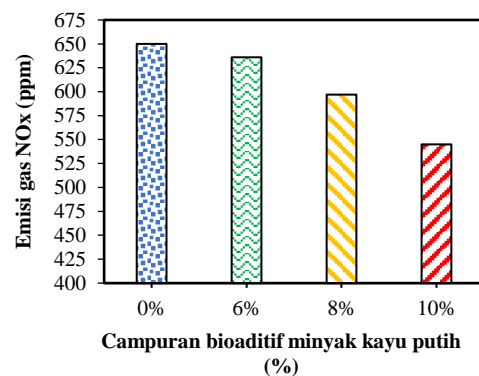
Pengaruh medan magnet tolak dan variasi bioaditif minyak kayu putih terhadap emisi gas pada *droplet combustion* minyak sawit



Gambar 5. Grafik nilai ppm emisi gas CO pada *droplet combustion* minyak sawit

Perbandingan emisi gas CO dari pembakaran *droplet* minyak sawit dengan pengaruh medan magnet tolak (U-U) dan variasi campuran bioaditif minyak kayu putih ditunjukkan pada gambar 5. Minyak sawit dengan campuran 0% bioaditif minyak kayu putih atau tanpa campuran minyak kayu putih mengandung emisi gas CO sebanyak 39 ppm, diikuti variasi 6%, 8%, dan 10% masing-masing sebesar 33 ppm, 35 ppm, dan 35 ppm. Jika dilihat dari grafik menunjukkan *droplet* yang mengandung bioaditif minyak kayu putih memiliki kandungan emisi gas CO

lebih rendah dari pada minyak sawit murni. Hal ini dikarenakan atom karbon (C) yang bersumber dari minyak sawit kekurangan oksigen (O_2) yang berasal dari udara untuk melakukan reaksi kimia yang terjadi pada ruang bakar sehingga berubah menjadi karbon monoksida (CO) jadi pembakaran kurang sempurna, sedangkan pada *droplet* minyak sawit yang mengandung bioaditif minyak kayu putih konsentrasi atom karbon (C) mendapatkan tambahan oksigen dari senyawa sineol yang terkandung dalam minyak kayu putih, sehingga dapat lebih memutus rantai karbon dalam minyak sawit yang mengakibatkan kadar CO lebih rendah. Pada bioaditif 6% memiliki nilai emisi gas CO terendah ini dikarenakan kandungan sineol lebih sedikit jika dibandingkan bioaditif 8% dan 10%, sehingga membuat sineol lebih cepat habis terbakar dan emisi gas CO menjadi lebih sedikit.



Gambar 6. Grafik nilai ppm emisi gas NOx pada *droplet combustion* minyak sawit

Gambar 6 menunjukkan perbandingan emisi gas NOx dari pembakaran *droplet* minyak sawit dengan medan magnet tolak U-U (utara-utara) dan variasi campuran bioaditif minyak kayu putih. Minyak sawit dengan campuran 0% bioaditif minyak kayu putih atau tanpa campuran minyak kayu putih mengandung emisi gas NOx sebanyak

650 ppm, diikuti variasi 6%, 8%, dan 10% masing-masing sebesar 636 ppm, 579 ppm, dan 545 ppm. NO_x tertinggi terjadi pada minyak sawit tanpa bioaditif dibandingkan dengan menggunakan bioaditif. Hal ini dikarenakan pada minyak sawit tanpa bioaditif pembakarannya kurang sempurna akibat kekurangan oksigen.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan. Evolusi nyala api yang memiliki waktu pembakaran paling cepat terjadi pada variasi campuran minyak kayu putih 10%. Campuran minyak kayu putih 10% menghasilkan tinggi nyala api yang terendah. Temperature tertinggi dihasilkan campuran minyak kayu putih 10%. Kandungan emisi gas buang CO dengan nilai terendah ada pada variasi bioaditif 6% dan emisi gas buang NO_x dengan nilai terendah ada pada variasi bioaditif 10%.

SARAN

Dibutuhkan penelitian yang berkelanjutan dengan mengeksplorasi dari berbagai jenis bioaditif dan arah medan magnet untuk mengetahui karakteristik pembakaran dan gunakan kamera high speed dalam hal perekaman video gerak lambat dan resolution tinggi untuk menghasilkan potongan gambar yang lebih jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi Saragih, S. (2019). Analysis of the effect of pertalite fuel mixed with naftalena to the performance and exhaust gas emissions on motorcycle machine. *Journal REM (Renewable Energy and Mechanics) E-ISSN, 03(01)*, 2714–6219. [https://doi.org/10.25299/rem.2020.vol3\(01\).4238](https://doi.org/10.25299/rem.2020.vol3(01).4238)
- Abdul-Wahhab, H. A., Al-Kayiem, H. H., A. Aziz, A. R., & Nasif, M. S. (2017). Survey of invest fuel magnetization in developing internal combustion engine characteristics. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 79, pp. 1392–1399). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ers.2017.05.121>
- Atmanli, A., Ileri, E., & Yilmaz, N. (2016). Optimization of diesel-butanol-vegetable oil blend ratios based on engine operating parameters. *Energy, 96*, 569–580. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.091>
- Che Mat, S., Idroas, M. Y., Hamid, M. F., & Zainal, Z. A. (2018). Performance and emissions of straight vegetable oils and its blends as a fuel in diesel engine: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 82, pp. 808–823). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ers.2017.09.080>

- Chiatti, G., Chiavola, O., & Palmieri, F. (2019). Impact on combustion and emissions of jet fuel as additive in diesel engine fueled with blends of petrol diesel, renewable diesel and waste cooking oil biodiesel. *Energies*, *12*(13).
<https://doi.org/10.3390/en12132488>
- Khalid, A., Tajuddin, A. S. A., Jaat, N., Manshoor, B., Zaman, I., Hadi, S. A. A., & Nursal, R. S. (2017). Performance and emissions of diesel engine fuelled with preheated biodiesel fuel derived from crude palm, jatropha, and waste cooking oils. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, *14*(2), 4273–4284.
<https://doi.org/10.15282/ijame.14.2.2017.12.0341>
- Kurji, H. J., & Imran, M. S. (2018). Magnetic field effect on compression ignition engine performance. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, *13*(12), 3943–3949.
http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2018/jeas_0618_7153.pdf
- Lee, J., Chu, S., Kang, J., Kyoungdoug, M., Jung, H., Kim, H., & Chi, Y. (2017). Operating strategy for gasoline/diesel dual-fuel premixed compression ignition in a light-duty diesel engine. *International Journal of Automotive Technology*, *18*(6), 943–950.
<https://doi.org/10.1007/s12239-017-0092-7>
- Marlina, E., Basjir, M., Ichyanagi, M., Suzuki, T., Gotama, G. J., & Anggono, W. (2020). The role of eucalyptus oil in crude palm oil as biodiesel fuel. *Automotive Experiences*, *3*(1), 33–38.
<https://doi.org/10.31603/ae.v3i1.3257>
- Melo-Espinosa, E. A., Piloto-Rodríguez, R., Sierens, R., & Verhelst, S. (2016). Emulsification of waste cooking oils and fatty acid distillates as diesel engine fuels: An attractive alternative. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, *9*, 3–16.
<https://doi.org/10.5278/ijsep.m.2016.9.2>
- Musyaroh. (2016). Steam distillation eucalyptus trees to the variation of operating pressure and treatment materials to optimize sineol content in eucalyptus oil. *Jurnal Teknik Kimia*, *10*(2), 37–42.
<http://ejournal.upnjatim.ac.id/index.php/tekkim/article/view/536>

- Perdana, D., Adiwidodo, S., Choifin, M., & Winarko, W. A. (2021). The effect of magnetic field variations in a mixture of coconut oil and jatropa on flame stability and characteristics on the premixed combustion. *EUREKA, Physics and Engineering*, 2021(5), 13–22.
<https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001996>
- Perdana, D., Adiwidodo, S., Subagyo, & Winarko, W. A. (2022). The role of perforated plate and orientation of the magnetic fields on coconut oil premixed combustion. *INMATEH - Agricultural Engineering*, 67(2), 77–84.
<https://doi.org/10.35633/inmateh-67-07>
- Perdana, D., Asrori, Hanifudin, M., & Dinata, N. I. (2023). Effect of magnetic field on the flame characteristics of droplet combustion of coconut and palm oil effect of magnetic field on the flame characteristics of droplet combustion of coconut and palm oil. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 12(2), 326–337
<http://dx.doi.org/10.23960/jtep-l.v12i2.326-337>
- Perdana, D., Yuliati, L., Hamidi, N., & Wardana, I. N. G. (2020). The Role of Magnetic Field Orientation in Vegetable Oil Premixed Combustion. *Journal of Combustion*, 2020.
<https://doi.org/10.1155/2020/2145353>
- Saputra Nursal, R., Zali, Z., Jalil, S., Khalid, A., & Hadi, S. A. (2017). Experimental study of the bio-additives effects in biodiesel fuel on performance, emissions and combustions characteristics of diesel engine. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(6), 1997–2005.
http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2017/jeas_0317_5855.pdf
- Scaldeferri, C. A., & Pasa, V. M. D. (2019). Production of jet fuel and green diesel range biohydrocarbons by hydroprocessing of soybean oil over niobium phosphate catalyst. *Fuel*, 245, 458–466.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.01.179>
- Senthur Prabu, S., Asokan, M. A., Prathiba, S., Ahmed, S., & Puthean, G. (2018). Effect of additives on performance, combustion and emission behavior of preheated palm oil/diesel blends in DI diesel engine. *Renewable Energy*, 122, 196–205.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.068>

- Serrano, L., Lopes, M., Pires, N., Ribeiro, I., Cascão, P., Tarelho, L., Monteiro, A., Nielsen, O., da Silva, M. G., & Borrego, C. (2015). Evaluation on effects of using low biodiesel blends in a EURO 5 passenger vehicle equipped with a common-rail diesel engine. *Applied Energy*, *146*, 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.063>
- Suh, H. K., & Lee, C. S. (2016). A review on atomization and exhaust emissions of a biodiesel-fueled compression ignition engine. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 58, pp. 1601–1620). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.329>
- Wu, W. F., Qu, J., Zhang, K., Chen, W. P., & Li, B. W. (2016). Experimental Studies of Magnetic Effect on Methane Laminar Combustion Characteristics. *Combustion Science and Technology*, *188*(3), 472–480. <https://doi.org/10.1080/00102202.2015.1119825>