

Karakteristik Pembakaran Difusi Campuran Bahan Bakar Minyak Kelapa Murni Dengan Bioaditif Minyak Cengkeh

Fairuddin^{1*}, Helen Riupassa¹, Hendry Y. Nanlohy¹

¹) Program Studi Teknik Mesin Universitas Sains Dan Teknologi Jayapura, Papua 99351, Indonesia

*Email; fairuddinteknikmesin@gmail.com

ABSTRACT

Biofuel derived from raw vegetable oil is considered a crucial alternative energy source to address the escalating fuel energy crisis due to the growth of industrial activities and the human population. The compounds present in raw coconut oil, including saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, and glycerol, constitute the focus of this research. The combustion of raw coconut oil involves a complex reaction due to the presence of saturated chain bonds, necessitating additional substances to weaken the carbon chains and enhance the combustion rate. This study employs the suspended droplet combustion method to increase the contact between air and fuel, thereby improving the reactivity of fuel molecules. To boost the combustion rate of coconut oil droplets, a bio-additive in the form of clove oil is experimentally added. Research findings reveal that the compound eugenol in clove oil possesses aromatic properties and a non-symmetrical carbon chain geometry. This factor can potentially expedite effective collisions among fuel molecules, consequently improving the ease of fuel combustion. In conclusion, this research provides insights into the potential use of coconut oil as a biofuel, highlighting the role of bio-additives such as clove oil in enhancing combustion rate efficiency. The study contributes to our understanding of strategies that can be applied to optimize the utilization of biofuel derived from raw vegetable oil.

Keywords: Coconut Oil, Eugenol, Bioaditif, Droplet Combustion, Combustion Rate.

PENDAHULUAN

Saat ini sumber energi seperti minyak bumi sudah semakin langka, hal ini menyebabkan terjadinya kenaikan harga bahan bakar yang cukup signifikan [1], [2]. Biofuel yang bersumber dari minyak nabati mentah merupakan salah satu sumber energi alternatif yang diperlukan untuk mengendalikan krisis energi bahan bakar tersebut [3]. Selain itu, minyak nabati merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang tidak beracun dan memberikan dampak positif dalam meredam laju pemanasan global [4]–[6]. Tanaman kelapa dan juga tanaman cengkeh adalah salah satu jenis tanaman yang paling banyak kita temui di negara-negara asia seperti negara Indonesia, dan dapat diolah menjadi minyak nabati. Minyak nabati dari hasil olahan tanaman kelapa dan cengkeh mempunyai viskositas dan densitas yang hampir setara atau menyerupai bahan bakar bio-diesel [7]–[9].

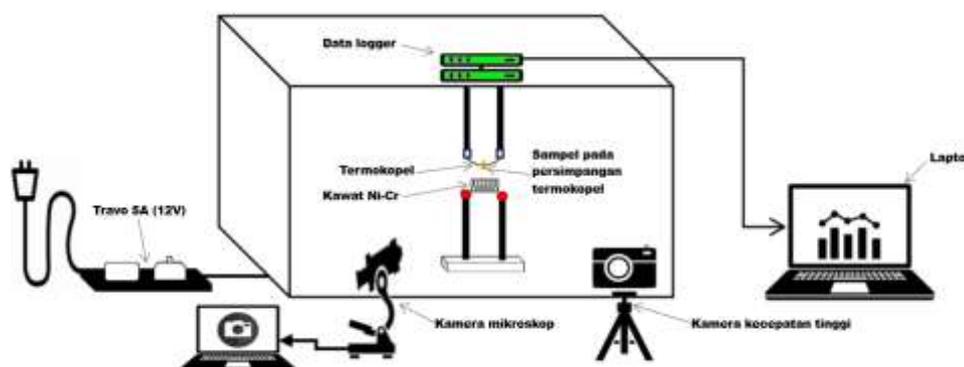
Peneliti sebelumnya telah menerapkan penelitian menggunakan minyak nabati pada mesin pembakaran dalam [9]–[13]. Namun, meskipun banyak hasil kajian yang menunjukkan keberhasilan penerapan minyak nabati, masih banyak informasi ilmiah yang belum diperoleh atau terungkap, minyak nabati mentah memiliki banyak faktor kompleks, yaitu senyawa multi komponen dengan peran yang berbeda [14], [15]. Kandungan oksigen yang tinggi dan stabilitas yang buruk memiliki efek pada proses pembakaran. Selain itu, tidak seperti minyak solar, viskositas minyak nabati yang tinggi membuatnya sulit terbakar dalam kondisi normal [16] namun masalah ini dapat diatasi dengan memodifikasi bahan bakarnya dengan menambahkan bioaditif seperti minyak cengkeh [16]–[18]. Senyawa minyak kelapa murni mengandung unsur multikomponen seperti asam lemak jenuh, asam lemak tak jenuh tunggal, asam lemak tak jenuh ganda, dan gliserol [19], [20]. Keunikan karakteristik dan kompleksitas minyak kelapa murni membuat efek bio-aditif terhadap karakteristik pembakaran difusi minyak nabati menjadi hal yang sangat menarik untuk diteliti.

Minyak cengkeh memiliki kemampuan untuk meningkatkan laju pembakaran bahan bakar, karena senyawa eugenol dalam minyak cengkeh memiliki sifat aromatik yang berpotensi mempercepat tumbukan efektif antar molekul bahan bakar [8]. Dengan menambahkan minyak cengkeh sebagai bioaditif, efisiensi energi selama proses pembakaran dapat ditingkatkan. Hal ini membantu mengoptimalkan pemanfaatan energi yang dihasilkan dari bahan bakar minyak nabati. Minyak cengkeh juga berperan dalam mengurangi emisi gas beracun selama pembakaran bahan bakar. Sifat antioksidan dan antiinflamasi dari senyawa-senyawa dalam minyak cengkeh dapat membantu mengurangi pembentukan polutan dan partikel berbahaya. Penggunaan bioaditif dari minyak cengkeh juga dapat meningkatkan stabilitas proses pembakaran, mengurangi risiko terjadinya kondisi pembakaran yang tidak sempurna. Minyak cengkeh dapat membantu mengatasi masalah kandungan oksigen yang tinggi pada bahan bakar minyak nabati. Kandungan oksigen yang tinggi dapat mempengaruhi proses pembakaran, dan penambahan minyak cengkeh membantu mengoptimalkan reaktivitas molekul bahan bakar [17].

Dari uraian tersebut, terlihat bahwa minyak cengkeh menunjukkan keunggulan dan peran yang sangat positif sebagai bioaditif pembakaran bahan bakar minyak nabati. Penelitian ini menggunakan minyak kelapa murni yang dicampur dengan minyak cengkeh sebagai bio-additif, pemilihan minyak kelapa murni tanpa proses transesterifikasi didasarkan pada ketersediaannya yang mudah diperoleh [21], meskipun memiliki kelemahan karena mengandung rantai karbon asam lemak jenuh. Karakteristik asam lemak jenuh yang kaku dapat meningkatkan viskositas dan titik nyala minyak, berpotensi menghambat dan menurunkan kinerja bahan bakar. Untuk mengatasi masalah tersebut, ditambahkan bioaditif minyak cengkeh, dengan tujuan dapat meningkatkan kinerja minyak kelapa murni sebagai bahan bakar dan mengoptimalkan penggunaan biofuel sebagai sumber energi alternatif yang berkelanjutan serta ramah lingkungan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang difokuskan pada observasi dan eksplorasi karakteristik pembakaran bahan bakar melalui fenomena nyala api difusi tetesan tunggal. Desain eksperimen dijelaskan dalam gambar 1, yang menggambarkan tetesan bahan bakar yang digantung pada ujung termokopel dan dinyalakan menggunakan pemanas koil listrik. Pemilihan metode pembakaran tetesan dipilih karena sederhana dan ekonomis.



Gambar. 1. Skema alat penelitian

Langkah-langkah pengambilan data dalam penelitian ini diawali dengan menyiapkan dan mengatur kondisi peralatan sesuai dengan gambar 1. Selanjutnya, dilakukan penyuntikan minyak sebanyak 1 cc menggunakan jarum suntikan. Campuran bahan bakar, terdiri dari minyak kelapa dan minyak cengkeh yang diletakan pada tempat persimpangan thermokopel. Pada langkah ketiga, kamera dan koil pemanas dihidupkan secara bersamaan. Proses selanjutnya melibatkan dokumentasi dan perekaman keseluruhan rangkaian mulai dari fase pemanasan, penyalaan hingga sampai pada tahap padamnya api. Percobaan ini diulang sebanyak 5 kali untuk memastikan konsistensi hasil. Seluruh data yang terkumpul kemudian diarsipkan pada laptop guna proses

pengolahan dan analisis lebih lanjut. Dengan demikian, langkah-langkah ini dirancang untuk memastikan pengumpulan data yang akurat dan dapat diandalkan dalam penelitian ini.

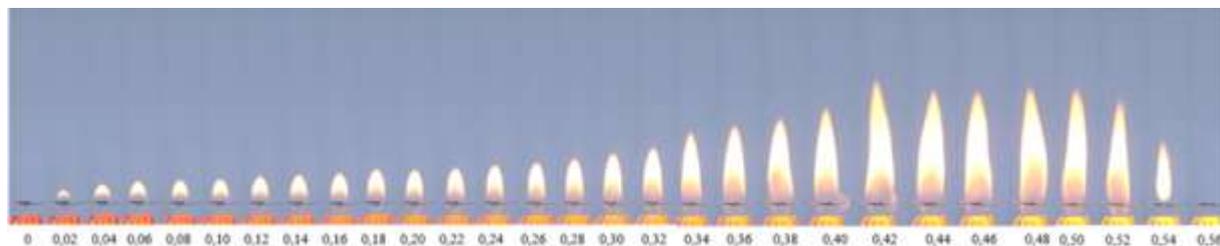
Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak kelapa murni, dengan penambahan bioaditif berupa minyak cengkeh yang terlihat pada gambar 2. Minyak kelapa murni diperoleh dari pasar tradisional dan dicampurkan dengan bioaditif minyak cengkeh dengan variasi campuran antara 1 ppm hingga 5 ppm. Proses pencampuran antara minyak kelapa murni dan bioaditif minyak cengkeh dilakukan secara manual dengan tujuan untuk memotong rantai produksi, sehingga mengoptimalkan proses konversi minyak nabati menjadi bahan bakar.



Gambar.2. Bahan baku (minyak sampel)

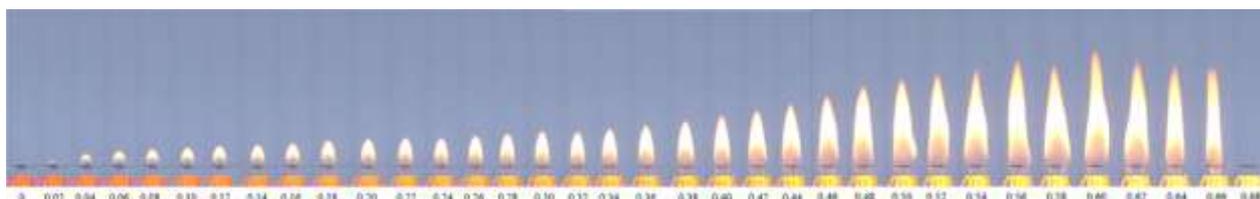
HASIL

Selain itu, sebagai pemanas digunakanlah kawat Ni-Cr dengan diameter 0,9 mm, dan tegangan 12 volt, pencampuran minyak kelapa murni dan minyak cengkeh yang bervariasi dengan perbandingan campuran 1 ppm – 5ppm. Dalam tahap awal pemanasan, energi panas dipindahkan dari kawat Ni-Cr ke permukaan tetesan droplet. Panas yang dihasilkan oleh kawat Ni-Cr selama pembakaran awal droplet menyebabkan temperatur droplet meningkat.



Gambar. 3. Evolusi nyala api minyak kelapa murni tanpa bioaditif

Dalam gambar 3, proses evolusi api minyak kelapa murni terjadi dengan laju pembakaran selama 0,54 detik. Peristiwa ini dimulai ketika api pertama kali menyala pada 0,02 detik. Fenomena yang teramati melibatkan perubahan dimensi lebar dan tinggi api yang bervariasi. Pada awalnya, api memiliki ukuran kecil dan secara bertahap berkembang menjadi api yang lebih besar. Nyala api ini memiliki warna jingga. Pada saat penyalaan awal, lebar api mencapai 39,5 mm dan tinggi api 37,75 mm. Puncak nyala api terjadi pada waktu 0,42 detik, di mana lebar api mencapai 90 mm dan tinggi api mencapai 377,11 mm, sebelum akhirnya padam pada 0,56 detik.



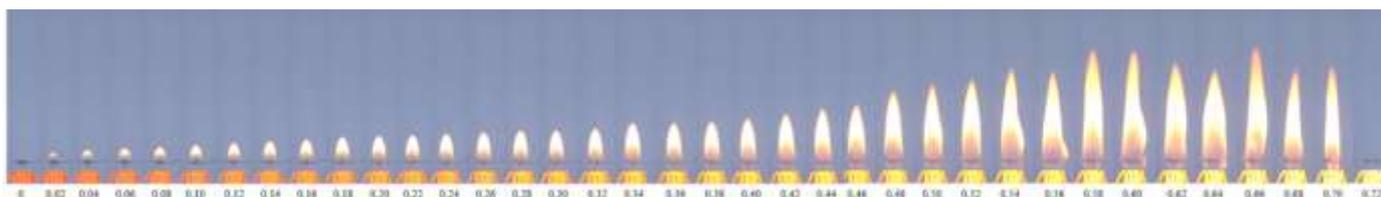
Gambar. 4. Evolusi nyala api minyak kelapa murni dengan bioaditif 1 ppm

Dalam gambar 4, terlihat dengan jelas proses evolusi nyala api pada minyak kelapa murni dengan penambahan bioaditif minyak cengkeh sebanyak 1 ppm. Selama periode 0,66 detik, dimulai dari saat api pertama kali menyala pada 0,02 detik, tampak fenomena menarik di mana nyala api mengalami variasi lebar, tinggi, bentuk dan warna. Pada fase awal penyalaan, lebar api mencapai 32,25 mm dan tinggi api 23,51 mm, dengan nyala api berwarna jingga agak gelap. Puncak nyala api terjadi pada waktu 0,60 detik, di mana lebar api mencapai 86,02 mm dan tinggi api mencapai 433,01 mm. Nyala api pada titik ini menampilkan warna jingga yang mencolok, bersama dengan bentuk api yang agak melengkung, sebelum akhirnya nyala api kembali mengecil dan padam pada 0,68 detik. Peran bioaditif sebanyak 1 ppm meningkatkan intensitas nyala api.



Gambar. 5. Evolusi nyala api minyak kelapa murni dengan bioaditif 2 ppm

Dalam gambar 5, terlihat bahwa proses evolusi api minyak kelapa murni yang ditambahkan dengan bioaditif minyak cengkeh sebanyak 2 ppm menunjukkan laju pembakaran yang lebih cepat dibandingkan dengan minyak tanpa bioaditif dan juga dengan bioaditif 1 ppm, yakni selama 0,52 detik. Proses ini dimulai sejak api pertama kali menyala pada 0,02 detik. Fenomena yang terjadi ialah perubahan pada lebar api, tinggi api, warna dan bentuk api yang bervariasi. Pada tahap awal penyalaan, api oval memiliki warna jingga dan agak gelap, sedangkan lebar api mencapai 36,01 mm, dan tinggi api mencapai 30,02 mm. Puncak nyala api terjadi pada waktu 0,46 detik, dengan nyala api yang berwarna jingga mencolok, bentuk api tampak lancip, lebar api mencapai 76 mm, dan tinggi api mencapai 398,02 mm. Akhirnya, api padam pada waktu 0,54 detik. Hasil ini menggambarkan bahwa penambahan bioaditif minyak cengkeh pada tingkat konsentrasi 2 ppm dapat memengaruhi secara signifikan laju pembakaran dan karakteristik visual dari api minyak kelapa murni. Perubahan tersebut dapat diukur dari segi lebar, tinggi, warna, dan bentuk api selama proses evolusi pembakaran. Peran bioaditif sebanyak 2 ppm meningkatkan laju pembakaran, perubahan bentuk api yang signifikan, serta warna nyala api yang kurang konsisten.



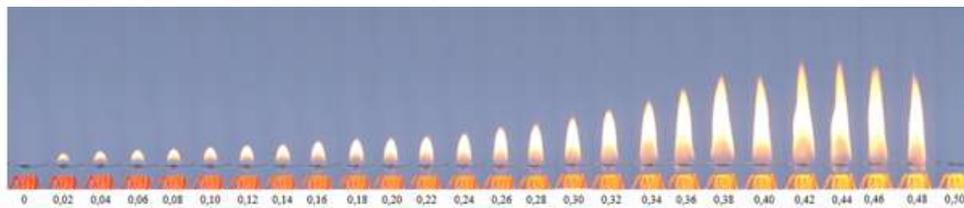
Gambar. 6. Evolusi nyala api minyak kelapa murni dengan bioaditif 3 ppm

Dalam gambar 6, terlihat dengan jelas proses evolusi api minyak kelapa murni dengan penambahan bioaditif minyak cengkeh sebanyak 3 ppm. Proses ini memperlihatkan bahwa penambahan bioaditif sebanyak 3 ppm menghasilkan laju pembakaran yang lebih lambat dibandingkan dengan minyak tanpa bioaditif, maupun dengan penambahan bioaditif 1 ppm dan 2 ppm. Awal perubahan terlihat saat api pertama kali menyala pada 0,02 detik. Fenomena yang teramati mencakup variasi lebar dan tinggi api sepanjang proses pembakaran. Pada fase awal penyalaan, api tampak berwarna jingga agak gelap dengan bentuk melengkung yang melayang, sementara lebar api mencapai 38,33 mm dan tinggi api mencapai 35,33 mm. Puncak nyala api tercapai pada waktu 0,66 detik dengan lebar api mencapai 72,03 mm dan tinggi api mencapai 444 mm. Pada tahap akhir penyalaan, api terlihat memiliki bentuk yang simetris dan akhirnya padam pada waktu 0,72 detik. Hasil ini memberikan gambaran yang jelas mengenai peran bioaditif minyak cengkeh pada tingkat konsentrasi 3 ppm menunjukkan perubahan dalam waktu pembakaran, struktur, dan warna api selama proses evolusi.



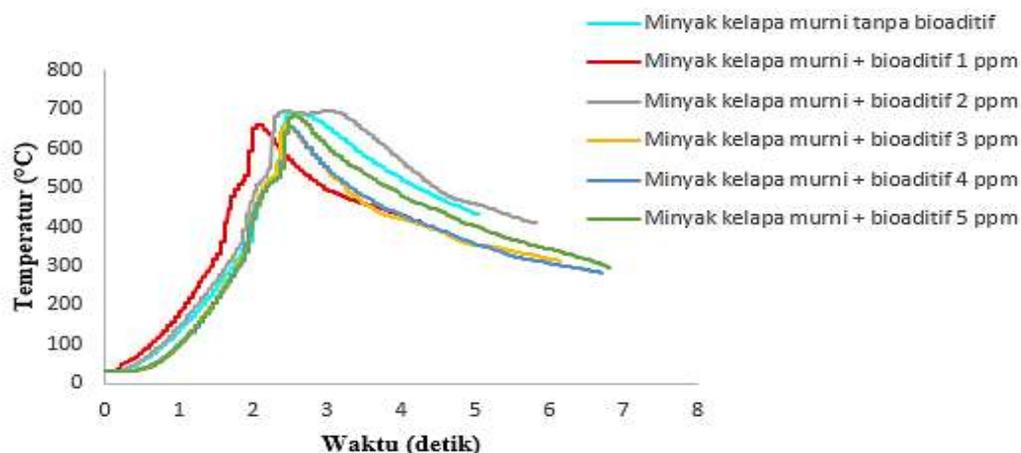
Gambar. 7. Evolusi nyala api minyak kelapa murni dengan bioaditif 4 ppm

Dalam gambar 7, proses evolusi api minyak kelapa murni dengan penambahan bioaditif minyak cengkeh sebanyak 4 ppm menghasilkan laju pembakaran selama 0,52 detik. Perubahan karakteristik nyala api terjadi sejak api pertama kali menyala pada 0,02 detik. Pada fase awal penyalaan, api menampilkan dimensi lebar 44,02 mm dan tinggi 40,67 mm, dengan warna jingga yang mencolok dan bentuk melengkung. Puncak nyala api tercapai pada waktu 0,46 detik, ditandai dengan lebar api mencapai 86,02 mm dan tinggi api mencapai 414,01 mm. Pada titik ini, bentuk api menjadi lancip dan membesar di bagian tengah, disertai warna jingga yang mencolok. Pada tahap akhir penyalaan, api terlihat mengeluarkan asap hitam sebelum akhirnya padam pada 0,54 detik. Peran bioaditif sebanyak 4 ppm meningkatkan laju pembakaran, warna nyala api yang konsisten, serta perubahan bentuk api yang kurang stabil.



Gambar. 8. Evolusi nyala api minyak kelapa murni dengan bioaditif 5 ppm

Dalam gambar kedelapan, terlihat bahwa proses evolusi api pada minyak kelapa murni dengan penambahan bioaditif minyak cengkeh sebanyak 5 ppm menunjukkan laju pembakaran yang paling cepat dibandingkan dengan minyak kelapa murni tanpa bioaditif, maupun dengan penambahan bioaditif sebanyak 1 ppm hingga 4 ppm. Proses ini hanya memerlukan waktu selama 0,48 detik, dimulai dari api pertama kali menyala pada 0,02 detik. Fenomena yang teramati mencakup perubahan pada lebar, tinggi, bentuk, dan warna api yang beragam. Pada fase awal penyalaan, api memiliki lebar 44,01 mm dan tinggi 41,01 mm. Puncak nyala api terjadi pada waktu 0,42 detik, dengan lebar mencapai 70 mm dan tinggi mencapai 400,05 mm. Dari tahap awal hingga akhir penyalaan, Peran bioaditif sebanyak 5 ppm, meningkatkan stabilitas nyala api dimana bentuk nyala api lebih simetris dan stabil pada setiap fase penyalaannya, meningkatkan laju pembakaran, pengurangan emisi gas buang, serta warna api yang konsisten hingga akhir penyalaan.



Gambar. 9. Perbandingan evolusi temperatur nyala nyala api minyak kelapa murni tanpa dan dengan bioaditif

Gambar 9 menunjukkan grafik temperature dan waktu nyala api dari sampel minyak kelapa murni tanpa bioaditif dan dengan bioaditif 1 ppm sampai 5 ppm. Dalam grafik tersebut menampilkan perubahan temperatur seiring berjalannya waktu. Sampel minyak kelapa murni tanpa bioaditif mulai menyala pada waktu 0,02 detik dengan suhu awal 33°C, kemudian mencapai suhu tertinggi yaitu 694,5°C pada waktu 2,58 detik kemudian akhirnya padam dan kembali pada suhu normal. Minyak kelapa murni dengan bioaditif minyak cengkeh 1 ppm mulai menyala pada waktu 0,02 detik dengan suhu awal 33°C, kemudian mencapai suhu tertinggi yaitu 662,66°C pada waktu 2,08 detik, kemudian akhirnya padam dan kembali pada suhu normal. Minyak kelapa murni dengan bioaditif minyak cengkeh 2 ppm mulai menyala pada waktu 0,02 detik dengan suhu awal 33°C, kemudian mencapai suhu tertinggi yaitu 697,92°C pada waktu 3,05 detik, kemudian akhirnya padam dan kembali pada suhu normal. Minyak kelapa murni dengan bioaditif minyak cengkeh 3 ppm mulai menyala pada waktu 0,02 detik dengan suhu awal 33°C, kemudian mencapai suhu tertinggi yaitu 662,75°C pada waktu 2,46 detik, kemudian akhirnya padam dan kembali pada suhu normal. Minyak kelapa murni dengan bioaditif minyak cengkeh 4 ppm mulai menyala pada waktu 0,02 detik dengan suhu awal 33°C, kemudian mencapai suhu tertinggi yaitu 655,76°C pada waktu 2,52 detik, kemudian akhirnya padam dan kembali pada suhu normal. Minyak kelapa murni dengan bioaditif minyak cengkeh 5 ppm mulai menyala pada waktu 0,02 detik dengan suhu awal 33°C, kemudian mencapai suhu tertinggi yaitu 685,68°C pada waktu 2,61 detik, kemudian akhirnya padam dan kembali pada suhu normal. Hasil menunjukkan bahwa pola perubahan suhu dan waktu nyala api dapat dilihat dengan jelas pada grafik, menunjukkan dampak bioaditif pada karakteristik pembakaran minyak kelapa murni.

KESIMPULAN

Penelitian mengenai karakteristik pembakaran difusi campuran bahan bakar minyak kelapa murni dengan penambahan bioaditif minyak cengkeh telah mengungkap temuan ilmiah yang menarik. Sifat aromatik dari senyawa eugenol dalam minyak cengkeh terbukti memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kinerja pembakaran pada bahan bakar minyak kelapa murni. Peran penting senyawa eugenol terbukti dalam peningkatan jarak efektif antar molekul bahan bakar, yang secara khusus memperoleh hasil positif meskipun minyak kelapa murni memiliki sifat yang jenuh dan kaku. Keberhasilan senyawa eugenol dalam melemahkan ikatan van der Waals antar rantai karbon memperkuat perannya dalam meningkatkan reaktivitas molekul bahan bakar. Secara keseluruhan, penambahan bioaditif minyak cengkeh telah terbukti efektif, menghasilkan laju pembakaran dengan kinerja yang lebih unggul dibandingkan dengan minyak kelapa murni tanpa penambahan bio-aditif minyak cengkeh. Temuan ini memberikan kontribusi penting terhadap pemahaman kita tentang potensi peningkatan efisiensi dan performa pembakaran minyak kelapa murni melalui strategi bioaditif menggunakan minyak cengkeh.

SARAN

Hasil ini masih memerlukan penelitian lebih lanjut untuk mengevaluasi dampak lebih lanjut dan memahami apakah hasil ini dapat diterapkan secara luas dalam berbagai situasi. Kesimpulan ini juga menekankan bahwa laju pembakaran yang paling cepat terjadi pada variasi dengan minyak cengkeh 5 ppm, namun harus tetap mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti keamanan, keberlanjutan, dan biaya sebelum mengambil keputusan praktis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Aktar, M. M. Alam, and A. Q. Al-Amin, "Global economic crisis, energy use, CO2 emissions, and policy roadmap amid COVID-19," *Sustain. Prod. Consum.*, vol. 26, pp. 770–781, 2021, doi: 10.1016/j.spc.2020.12.029.
- [2] O. Andreev, O. Lomakina, and A. Aleksandrova, "Diversification of structural and crisis risks in the energy sector of the ASEAN member countries," *Energy Strateg. Rev.*, vol. 35, no. April, p. 100655, 2021, doi: 10.1016/j.esr.2021.100655.

- [3] D. Singh *et al.*, “A comprehensive review of physicochemical properties, production process, performance and emissions characteristics of 2nd generation biodiesel feedstock: *Jatropha curcas*,” *Fuel*, vol. 285, no. April 2020, p. 119110, 2021, doi: 10.1016/j.fuel.2020.119110.
- [4] Wardoyo, A. S. Widodo, W. Wijayanti, and I. N. G. Wardana, “The Role of Areca catechu Extract on Decreasing Viscosity of Vegetable Oils,” *Sci. World J.*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/8827427.
- [5] H. Y. Nanlohy, “Comparative Studies on Combustion Characteristics of Blended Crude *Jatropha* Oil with Magnetic Liquid Catalyst and DEX under Normal Gravity Condition,” *J. Mech. Eng. Sci. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 79–88, 2021, doi: 10.17977/um016v5i22021p079.
- [6] S. Chen, A. Kharrazi, S. Liang, B. D. Fath, M. Lenzen, and J. Yan, “Advanced approaches and applications of energy footprints toward the promotion of global sustainability,” *Appl. Energy*, vol. 261, p. 114415, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.APENERGY.2019.114415.
- [7] H. Y. Nanlohy, H. Riupassa, B. Bao, and S. Marianingsih, “Community empowerment through the utilization of coconut sap into bioethanol in Sabron Sari Village, Jayapura Regency,” *Community Empower.*, vol. 8, no. 7, pp. 1086–1092, 2023, doi: 10.31603/ce.9589.
- [8] H. Riupassa, S. Suyatno, and H. Y. Nanlohy, “Identifying the Effect of Aromatic Compounds on the Combustion Characteristics of Crude Coconut Oil Droplet,” *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 2, no. 6–122, pp. 6–14, 2023, doi: 10.15587/1729-4061.2023.272289.
- [9] T. Biswal and K. P. Shadangi, “Application of Nanotechnology in the Production of Biofuel,” *Liq. Biofuels Fundam. Charact. Appl.*, pp. 487–515, Jan. 2021, doi: 10.1002/9781119793038.CH14.
- [10] M. El-Adawy, “Effects of diesel-biodiesel fuel blends doped with zinc oxide nanoparticles on performance and combustion attributes of a diesel engine,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 80, no. March, pp. 269–281, 2023, doi: 10.1016/j.aej.2023.08.060.
- [11] G. Valeika, J. Matijošius, O. Orynych, A. Rimkus, A. Świć, and K. Tucki, “Smoke Formation during Combustion of Biofuel Blends in the Internal Combustion Compression Ignition Engine,” *Energies*, vol. 16, no. 9, May 2023, doi: 10.3390/EN16093682.
- [12] J. Wang, X. Wang, H. Chen, Z. Jin, and K. Xiang, “Experimental study on puffing and evaporation characteristics of *jatropha* straight vegetable oil (SVO) droplets,” *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 119, pp. 392–399, 2018, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.11.130.
- [13] H. Y. Nanlohy, I. Wardana, N. Hamidi, and L. Yuliati, “Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Jarak Dengan Menggunakan Katalis Pembakaran Homogen,” *Semin. Nas. Inov. Dan Apl. Teknol.*, no. 4 Februari, pp. 13–16, 2017.
- [14] H. Riupassa, “Peran Minyak Kayu Putih Terhadap Karakteristik Pembakaran Minyak Kapuk Sebagai Bahan Bakar Alternatif,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 6, no. 1, pp. 48–53, 2023.
- [15] Suyatno, H. Riupassa, S. Marianingsih, and H. Y. Nanlohy, “Characteristics of SI engine fueled with BE50-Isooctane blends with different ignition timings,” *Heliyon*, vol. 9, no. 1, p. e12922, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.HELİYON.2023.E12922.
- [16] C. Jin *et al.*, “Effect of nanoparticles on diesel engines driven by biodiesel and its blends: A review of 10 years of research,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 291, p. 117276, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2023.117276.
- [17] H. Riupassa, H. Y. Nanlohy, and S. Suyatno, “Effects of Eugenol and Cineol Compound on Diffusion Burning Rate Characteristics of Crude Coconut Oil Droplet,” *Autom. Constr.*, vol. 6, no. 1, pp. 59–67, 2023.
- [18] H. Y. Nanlohy, I. N. G. Wardana, M. Yamaguchi, and T. Ueda, “The role of rhodium sulfate on the bond angles of triglyceride molecules and their effect on the combustion characteristics of crude *jatropha* oil droplets,” *Fuel*, vol. 279, no. June, 2020.
- [19] H. Y. Nanlohy, I. N. G. Wardana, N. Hamidi, L. Yuliati, and T. Ueda, “The effect of Rh³⁺ catalyst on the combustion characteristics of crude vegetable oil droplets,” *Fuel*, vol. 220,

- ◆  pp. 220–232, May 2018, doi: 10.1016/J.FUEL.2018.02.001.
- [20] M. Plank, G. Wachtmeister, K. Thuneke, E. Remmele, and P. Emberger, “Effect of fatty acid composition on ignition behavior of straight vegetable oils measured in a constant volume combustion chamber apparatus,” *Fuel*, vol. 207, pp. 293–301, 2017, doi: 10.1016/j.fuel.2017.06.089.
- [21] H. Y. Nanlohy, H. Riupassa, and M. Yamaguchi, “Performance and Emissions Analysis of BE85-Gasoline Blends on Spark Ignition Engine,” *Automot. Exp.*, vol. 5, no. 1, pp. 40–48, 2022, doi: 10.31603/ae.6116.