

Study Eksperimental Karakteristik Penyalan Minyak Kelapa Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dengan Penambahan Bioaditif Minyak Kayu Putih

Rison Sando Timang^{1*}, Helen Riupassa², Hendry Y. Nanlohy³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin Universitas Sain Dan Teknologi Jayapura

*Email; risontimang11@gmail.com

ABSTRACT

The limited availability of diesel oil encourages efforts to find new energy sources as alternative diesel fuels. Biodiesel can be extracted from various agricultural products, for example, coconut oil. As a tropical country, Indonesia is a very effective and potential country as a coconut producer. Vegetable oil has a higher viscosity than diesel oil. Compose bio-oils with various fuels additive is the way to reduce viscosity values, among others, by combining nanocarbon and metal catalysts. This study goals to know the characteristics of burning coconut oil as an alternative fuel with the addition of eucalyptus oil; and how long the combustion process takes from the starting point to the end. The results showed that adding eucalyptus oil to coconut oil could reduce the weakening of the carbon chain and increase the combustion temperature. The combustion efficiency of this coconut oil mixture varies depending on the amount of eucalyptus oil added, resulting in faster fuel combustion and a more powerful explosion. The color of the fire is an essential factor in ensuring that this mixture can be used safely and efficiently.

Key words: *Alternative fuel, coconut oil droplet, bio-additive, eucalyptus oil, ignition characteristics*

PENDAHULUAN

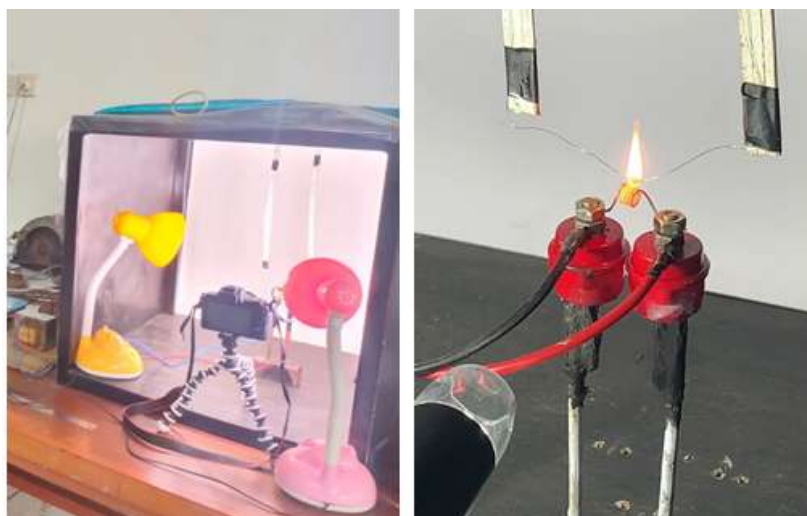
Peningkatan volume konsumsi bahan bakar dan terbatasnya ketersediaan bahan bakar fosil mendorong upaya pencarian sumber energi alternatif seperti minyak kelapa yang mempunyai karakteristik yang hampir sama dengan bensin maupun minyak diesel [1]–[4]. Penggunaan minyak kelapa sebagai bahan bakar telah dipaliekasikan dan digunakan oleh masyarakat, khususnya masyarakat di daerah Papua sebagai pengganti minyak tanah [5], [6]. Di sisi lain, pemakaian minyak nabati secara langsung di mesin terkendala karena viskositasnya yang tinggi [7]. Di sisi lain, reaksi pembakaran minyak kelapa mentah cukup rumit karena memiliki ikatan rantai jenuh, sehingga diperlukan beberapa prediksi yang menggunakan *machine learning method* untuk mengetahui kinerja mesin [8]. Selain itu dilakukan juga penambahan senyawa lain berupa aditif untuk melemahkan rantai karbon dan untuk meningkatkan laju pembakaran [9]. Laju pembakaran minyak kelapa telah diteliti secara eksperimental dengan tambahan minyak cengkeh dan minyak kayu putih [10], [11] ke dalam minyak kelapa berturut-turut adalah 100 ppm dan 300 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa eugenol yang terkandung dalam minyak cengkeh dan senyawa sineol dalam minyak kayu putih bersifat aromatik, dan memiliki struktur geometri rantai karbon yang tidak simetris [12], [13]. Di sisi lain, jika dibandingkan dengan solar, bensin atau biogas [14], maka pembakaran biodiesel menghasilkan emisi karbon monoksida yang rendah, dan sulfur dioksida yang rendah [15], [16]. Salah satu kandidat kuat biodiesel adalah minyak kelapa murni namun viskositasnya yang tinggi tidak dapat diaplikasikan langsung tanpa pengolahan. Dengan penambahan aditif minyak kayu putih diharapkan dapat menurunkan viskositas minyak kelapa [17]. Di sisi lain, pengaruh katalis terhadap pembakaran minyak nabati telah dipelajari secara eksperimental pada suhu ruang [18], [19]. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa katalis membuat pembakaran multi langkah droplet menjadi lebih singkat [20] karena molekul-molekulnya dapat menyerap energi panas dari hasil pemanasan bahan bakar [21]. Penelitian kali ini menggunakan bioaditif minyak kayu putih yang dapat menurunkan viskositas karena senyawa aromatik dalam minyak kayu putih menjadi faktor utama yang membantu mengurangi nilai titik nyala bahan bakar. Dari deskripsi latar belakang di atas terlihat bahwa minyak kelapa merupakan salah satu minyak nabati yang memiliki potensi sebagai bahan alternatif, namun karena viskositasnya yang tinggi, maka perlu adanya rekayasa bahan bakar melalui penambahan

bioaditif minyak kayu putih untuk meningkatkan kinerja bahan bakar minyak kelapa. Penelitian ini menjadi sangat penting dilakukan sehingga potensi minyak kelapa sebagai bahan bakar dapat terungkap dan lebih dari itu dapat diaplikasikan dengan baik dan maksimal.

Penelitian tentang identifikasi efek senyawa aromatik pada karakteristik pembakaran tetesan minyak kelapa mentah [10]. Saat ini, penggunaan bahan bakar fosil masih mendominasi sumber energi, namun ketersediaannya terbatas dan terus menurun. Oleh karena itu, diperlukan sumber energi alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Minyak nabati mentah merupakan salah satu alternatif yang menjanjikan, karena memiliki komposisi yang mirip dengan bahan bakar fosil. Minyak kelapa mentah dianggap sebagai bahan bakar biodiesel yang dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Namun, reaksi pembakaran minyak kelapa mentah memiliki kompleksitas tertentu karena adanya ikatan rantai jenuh, yang mengharuskan penggunaan zat tambahan untuk melemahkan rantai karbon guna meningkatkan laju pembakaran. Penelitian ini melibatkan eksperimen di mana tetesan tunggal minyak kelapa digantung pada termokopel pada tekanan atmosfer dan suhu kamar, kemudian dinyalakan dengan menggunakan kawat panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa eugenol dalam minyak cengkeh dan senyawa sineol dalam minyak kayu putih bersifat aromatik dan memiliki struktur geometri rantai karbon yang tidak simetris. Hal ini dapat mempercepat terjadinya tumbukan efektif antar molekul bahan bakar, sehingga bahan bakar menjadi lebih mudah terbakar, seperti yang terbukti dari peningkatan laju pembakaran.

Selain itu terdapat penelitian juga tentang pengaruh senyawa eugenol dan cineol terhadap karakteristik laju pembakaran tetesan minyak kelapa mentah [12]. Penelitian ini menggunakan metode pembakaran tetesan untuk meningkatkan reaktivitas molekul bahan bakar dengan udara. Penambahan bioaditif minyak cengkeh dan minyak kayu putih dilakukan pada minyak kelapa dengan konsentrasi 100 ppm dan 300 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa eugenol dalam minyak cengkeh dan senyawa cineol dalam minyak kayu putih bersifat aromatik dan memiliki struktur rantai karbon yang tidak simetris. Hal ini berpotensi mempercepat tumbukan efektif antara molekul bahan bakar dan udara. Laju pembakaran tetesan minyak kelapa mentah tanpa bioaditif adalah sekitar 0,7 detik, sedangkan dengan penambahan bioaditif, laju pembakaran lebih cepat, berkisar antara 0,55 hingga 0,6 detik. Laju pembakaran tertinggi tercapai dengan konsentrasi bioaditif 300 ppm. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan bioaditif seperti eugenol dan cineol dapat meningkatkan laju pembakaran minyak kelapa mentah, berpotensi sebagai solusi untuk meningkatkan efisiensi pembakaran.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Peralatan uji (kiri) dan proses pengambilan data pembakaran droplet (kanan).

Gambar 1 menunjukkan peralatan pengujian dan proses pengambilan datanya. Trafo 5A untuk memanaskan kawat Ni-Cr dan Kawat Ni-Cr alat untuk memanaskan sampel uji coba. Selain itu, data

logger untuk mendapatkan temperatur dan waktu lamanya nyala api. Termokopel untuk mendeteksi atau mengukur suhu bahan tetesan bahan bakar (minyak kelapa dan minyak kayu putih). Kamera berkecepatan tinggi untuk merekam gambar api, sedangkan kamera mikroskop untuk melihat sampel tetesan bahan bakar saat terbakar pada persimpangan thermocouple, laptop untuk menampilkan grafik dari data logger, dan jarum suntik 1cc untuk membuat tetesan bahan bakar.

Untuk mendapatkan data dari penelitian ini maka dilakukannya proses pengambilan data sebagai berikut; 1) Menyiapkan alat, 2) Menyiapkan bahan baku, 3) Selanjutnya minyak kelapa dicampurkan dengan variasi minyak kayu putih, kemudian dilakukannya pengujian karakteristik nyala api dari bahan baku yang sudah dicampurkan, 4). Setelah itu, teteskan bahan bakar yang sudah dicampurkan tadi ke persimpangan thermocouple, 5) Secara bersamaan hidupkan kamera dan trafo, 6) Dokumentasikan semua proses nyala api dari awal sampai api padam, 7) Ulangi percobaan sampai 5 kali, 8) Semua data tadi direkam di laptop.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 2 ini, gambar sampel minyak kelapa murni yang belum ada campuran apapun atau tanpa bioaditif. Pada gambar ini, memperlihatkan fenomena nyala api pada saat awal nyala api warna kuning dari api yang belum mengalami pembakaran dengan baik. Terlihat bahwa nyala api mulai dari waktu 0,02 detik hingga berlangsung sampai 0,96 detik menggambarkan proses awal pembakaran yang ditandai oleh warna kuning yang masih dominan dalam nyala api tersebut.



Gambar 2. Evolusi nyala api minyak kelapa tanpa bioaditif



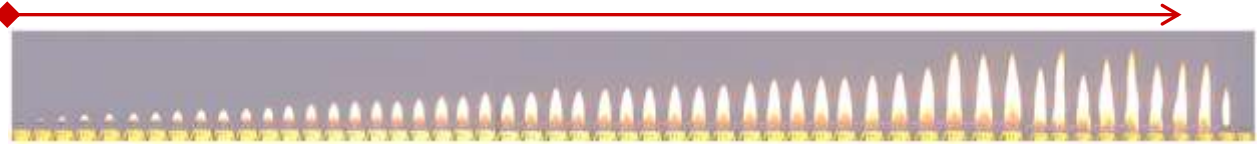
Gambar 3. Evolusi nyala api minyak kelapa dengan bioaditif 1 ppm

Dalam gambar 3 terlihat evolusi api pada sampel minyak kelapa dengan penambahan minyak kayu putih sebanyak 1 ppm. Perbandingan dengan gambar 2 menunjukkan bahwa dalam kasus ini, nyala api pada waktu 0,02 detik tetap berlangsung lebih lama, yaitu hingga waktu 0,102 detik jika dibandingkan dengan gambar 4.1. Hal ini mungkin menunjukkan pengaruh penambahan minyak kayu putih terhadap sifat pembakaran minyak kelapa, yang menghasilkan waktu nyala api yang lebih panjang dalam situasi tertentu.



Gambar 4. Evolusi nyala api minyak kelapa dengan bioaditif 2 ppm

Gambar 4 menunjukkan evolusi api pada sampel minyak kelapa dengan penambahan minyak kayu putih sebanyak 2 ppm. Pada sampel ini, fenomena yang teramati adalah sebagai berikut Dari saat awal penyalaan, yaitu pada 0.02 detik, api tampak berwarna kuning dengan lengkungan ke atas. Hingga mencapai waktu 0.82 detik, lebar api adalah sekitar 3 mm dan tingginya mencapai 10.734 mm. Pada saat 0.102 detik, struktur api tampak melayang dengan tinggi sekitar 5.961 mm dan lebar sekitar 1.175 mm. Perlu diperhatikan bahwa pada gambar ini, waktu nyala api pada sampel dengan penambahan 1 dan 2 ppm tampak serupa.



Gambar 5. Evolusi nyala api minyak kelapa dengan bioaditif 3 ppm

Gambar 5 menggambarkan evolusi api pada sampel minyak kelapa dengan penambahan minyak kayu putih sebanyak 3 ppm. Berikut adalah deskripsi fenomena yang teramati dalam gambar tersebut. Pada awal pemantikan, yang terjadi pada 0,02 detik, api memiliki lebar sekitar 0,673 mm dengan tinggi mencapai 6,17 mm. Api tampak berwarna kuning dan memiliki struktur yang melengkung. Hingga mencapai waktu 0,84 detik, lebar api meningkat menjadi sekitar 1,461 mm dengan tinggi mencapai 6,841 mm. Pada saat ini, api masih berwarna kuning dengan struktur yang melengkung, tetapi ada tanda-tanda bahwa api mulai menjadi lebih lancip. Hasil ini sesuai dengan penelitian kami sebelumnya yang menggunakan bioaditif minyak cengkeh [22].

Pada 0,9 detik, tinggi api mencapai 12,868 mm dengan lebar sekitar 1,639 mm. Fenomena ini menunjukkan bahwa api telah mulai menjadi lancip dan lebih tinggi. Temperatur tertinggi yang tercatat pada sampel dengan penambahan 3 ppm adalah 700°C, sedangkan suhu normalnya adalah 300°C. Api pada sampel ini padam pada waktu 0,108 detik. Gambar ini memberikan gambaran evolusi api pada sampel minyak kelapa dengan penambahan 3 ppm minyak kayu putih dengan detail yang jelas.



Gambar 6. Evolusi nyala api minyak kelapa dengan bioaditif 4 ppm

Gambar 6 menggambarkan evolusi api pada sampel minyak kelapa dengan penambahan minyak kayu putih sebanyak 4 ppm. Berikut adalah deskripsi fenomena yang teramati dalam gambar tersebut. Pada saat awal pemantikan, yaitu pada 0,02 detik, api memiliki lebar sekitar 0,678 mm dan tinggi sekitar 0,527 mm. Struktur api pada saat ini terlihat melengkung. Hingga mencapai waktu 0,74 detik, lebar api menjadi sekitar 1,282 mm dan tinggi mencapai 4,453 mm. Pada titik ini, api masih memiliki struktur melengkung. Pada waktu 0,76 detik, api mulai menjadi lebih lancip dengan lebar sekitar 1,284 mm dan tinggi nyala api mencapai 4,453 mm. Temperatur tertinggi yang tercatat pada sampel ini adalah 700°C, namun kemudian turun ke suhu normal sekitar 300°C. Gambar ini memberikan gambaran yang jelas tentang evolusi api pada sampel minyak kelapa dengan penambahan 4 ppm minyak kayu putih.



Gambar 7. Evolusi nyala api minyak kelapa dengan bioaditif 5 ppm

Gambar 7 menggambarkan evolusi api pada sampel minyak kelapa dengan penambahan minyak kayu putih sebanyak 5 ppm. Dalam gambar ini, terdapat variasi tinggi dan lebar api dibandingkan dengan variasi sebelumnya. Selain itu, gambar ini menunjukkan bahwa lebar api lebih besar, dan daerah temperatur tinggi yang dihasilkan oleh pembakaran lebih luas dibandingkan dengan variasi sebelumnya (a) dan (b). Hal ini dapat dijelaskan oleh fakta bahwa penambahan minyak kayu putih sebanyak 5 ppm meningkatkan efisiensi pembakaran. Oksigen yang terkandung dalam gas berperan sebagai oksidator, sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna dan menghasilkan produk yang lebih banyak. Perlu dicatat bahwa tinggi dan lebar api yang bervariasi dalam gambar ini disebabkan oleh faktor-faktor seperti komposisi dan kualitas bahan baku, suhu udara, proses ekstraksi dan pemrosesan minyak kelapa serta minyak kayu putih. Selain itu, perbandingan campuran minyak kelapa dan minyak kayu putih yang digunakan dalam penelitian juga memengaruhi ukuran api. Semakin tinggi persentase minyak kayu putih dalam campuran, tinggi dan lebar api cenderung

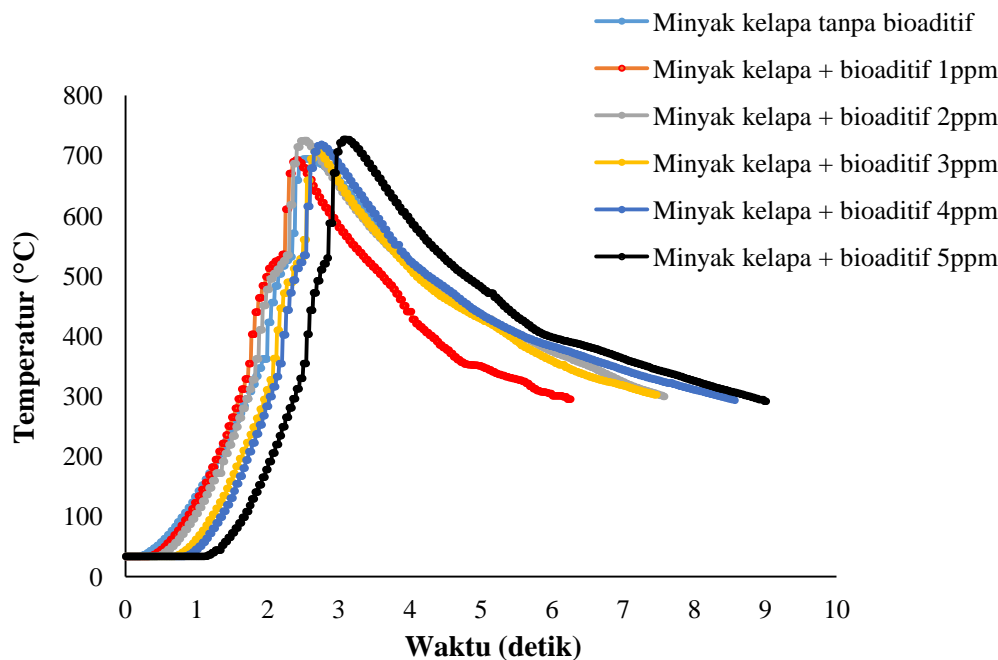
menjadi lebih kecil. Faktor seperti suhu, tekanan, dan kelembaban dalam ruang eksperimen dapat bervariasi dari satu sampel ke sampel lainnya, dan aliran udara yang berbeda dalam proses pembakaran juga memainkan peran penting dalam fenomena yang diamati. Tabel 1 menunjukkan data temperature nyala api pada berbagai komposisi campuran bahan bakar, sedangkan Gambar 8 memberikan pandangan yang lebih lengkap tentang evolusi api pada sampel minyak kelapa dengan penambahan 5-ppm minyak kayu putih dan dampak dari variasi faktor-faktor tersebut.

Tabel 1. Evolusi temperatur nyala api minyak kelapa tanpa dan dengan bioaditif

Waktu (detik)	Temperatur Penyalaan Bahan Bakar Minyak Kelapa (°C)					
	Bioaditif 0 ppm	Bioaditif 1 ppm	Bioaditif 2 ppm	Bioaditif 3 ppm	Bioaditif 4 ppm	Bioaditif 5 ppm
0	33.14	33.27	33.3	33.41	33.43	33.43
0.1	33.14	33.27	33.3	33.41	33.43	33.43
0.5	57.4	44.81	36.6	33.41	33.43	33.43
1	132.85	122.83	104.82	61.82	45.33	33.43
1.5	237.38	264.82	233.66	158.3	130.43	72.68
2	422.46	498.17	477.24	310.34	282.99	177.85
2.5	693.85	679.46	723.94	559.96	533.97	354.08
3	659.07	579.99	646.57	655.5	681.99	705.94
3.5	583.43	514.62	574.68	578.9	603.31	670.30
4	525.72	440.43	515.19	509.87	523.28	591.34
4.5	475.19	380.57	471.02	462.37	479.49	528.87
5	435.42	350.3	434.62	427.21	437.64	479.49
5.5		327.65	402.79	391.55	404.31	434.15
6		300.44	374.24	357.56	382.84	397.30
6.5			350.39	334.07	362.70	381.47
7			323.16	316.98	343.55	362.36
7.5			302.91		326.19	342.47
8					310.49	325.17
8.5					295.69	307.45
9						291.32

Dinamika dan evolusi temperatur dan waktu nyala api dari sampel murni hingga sampel ke-5 ppm dari Gambar 8 menampilkan perubahan temperatur api seiring berjalannya waktu dari sampel murni hingga sampel ke-5. Pada sampel murni, api muncul pada 0,2 detik dengan suhu awal 25°C, kemudian mencapai suhu tertinggi pada 700°C pada 0,86 detik, sebelum akhirnya turun kembali ke suhu normal sekitar 550°C pada 1,06 detik. Sampel ke-1, pada 0,2 detik, memiliki suhu awal 25°C dan mencapai suhu tertinggi pada 700°C pada 1 detik, sebelum kemudian kembali ke suhu normal sekitar 300°C pada 1,06 detik.

Selain itu, terlihat bahwa sampel ke-2 memiliki suhu awal 25°C pada 0,02 detik dan mencapai suhu tertinggi sekitar 730°C pada 0,88 detik. Suhu turun kembali ke suhu normal sekitar 300°C pada 1,04 detik. Sampel ke-3, pada 0,02 detik, memiliki suhu awal 25°C dan mencapai suhu tertinggi sekitar 710°C pada 0,88 detik, sebelum akhirnya kembali ke suhu normal sekitar 300°C pada 1,04 detik. Sampel ke-4, pada 0,02 detik, mencapai suhu tertinggi sekitar 710°C pada 1 detik, sebelum kembali ke suhu normal sekitar 300°C pada 1,1 detik. Sampel ke-5, dengan suhu awal 0°C pada 0,2 detik, mencapai suhu tertinggi sekitar 740°C pada 0,78 detik, sebelum akhirnya turun kembali ke suhu normal yaitu sekitar 300°C yang terjadi pada 0,94 detik. Demikianlah, grafik ini memperlihatkan perubahan suhu api dari sampel murni hingga sampel ke-5 seiring berjalannya waktu.



Gambar 8. Perbandingan evolusi temperatur nyala api minyak kelapa tanpa dan dengan bioaditif

Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan volume massa bioaditif sangat berpengaruh terhadap burning life time bahan bakar. Analisis ini sesuai dengan Penelitian sebelumnya yang menggunakan minyak jarak dengan katalis logam cair rhodium trisulfate [23].

KESIMPULAN

Berdasarkan temuan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa minyak kelapa, yang merupakan jenis minyak jenuh dan kaku, dapat dibuat lebih efisien dengan menambahkan bio-aditif minyak kayu putih. Kombinasi ini terbukti meningkatkan masa pembakaran bahan bakar secara signifikan. Studi ini menunjukkan bahwa menambahkan bio-aditif minyak kayu putih dapat menjadi pilihan yang tepat untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar secara keseluruhan. Selain itu, bio-aditif yang berasal dari sumber alami berpotensi mengurangi dampak emisi pembakaran terhadap lingkungan, menjadikannya pilihan yang menarik bagi individu dan industri yang sadar lingkungan. Selain itu, temuan penting dari Penelitian ini menyoroti potensi bioaditif minyak kayu putih sebagai solusi berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar.

SARAN

Penelitian tambahan diperlukan untuk memahami sepenuhnya dan memberikan informasi ilmiah rinci mengenai dampak penggunaan minyak kelapa dan minyak kayu putih. Secara khusus, penelitian ini akan fokus pada dampak minyak ini terhadap emisi gas rumah kaca, termasuk jumlah dan jenis gas yang dikeluarkan, serta potensi dampak lingkungan jangka panjang dari penggunaannya. Dengan memperoleh informasi ini akan memberikan wawasan berharga mengenai keberlanjutan penggunaan minyak kelapa sebagai sumber energi alternatif dan dapat membantu menginformasikan kebijakan dan praktik masa depan terkait energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. D. Shelare *et al.*, "Biofuels for a sustainable future: Examining the role of nano-additives, economics, policy, internet of things, artificial intelligence and machine learning technology in biodiesel production," *Energy*, vol. 282, p. 128874, Nov. 2023, doi: 10.1016/J.ENERGY.2023.128874.

- [2] 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.
- [3] Suyatno, H. Riupassa, S. Marianingsih, and H. Y. Nanlohy, "Characteristics of SI engine fueled with BE50-Isocetane blends with different ignition timings," *Heliyon*, vol. 9, no. 1, p. e12922, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.HELIYON.2023.E12922.
- [4] 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.
- [5] H. Y. Nanlohy, H. Riupassa, and S. Marianingsih, "Utilization of wood waste into briquettes as an alternative fuel substitute for kerosene in Skouw Yambe Village, Jayapura City," *Community Empower.*, vol. 7, no. 10, pp. 1677–1683, 2022.
- [6] H. Y. Nanlohy, H. Riupassa, T. Trismawati, and M. S. Panithasan, "Gasohol Engine Performance with Various Ignition Timing," *J. Mech. Eng. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 1, p. 48, 2022, doi: 10.17977/um016v6i12022p048.
- [7] H. Y. Nanlohy, I. N. G. Wardana, N. Hamidi, and L. Yuliati, "Combustion characteristics of crude jatropha oil droplets using rhodium liquid as a homogeneous combustion catalyst," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 299, no. 1, pp. 0–7, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/299/1/012090.
- [8] S. Marianingsih, F. Mar'i, and H. Y. Nanlohy, "Artificial Neural Network-Based Modeling of Performance Spark Ignition Engine Fuelled with Bioethanol and Gasoline," *J. Mech. Eng. Sci. Technol.*, vol. 7, no. 2, p. 190, 2023, doi: 10.17977/um016v7i22023p190.
- [9] 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, no. December 2017, pp. 220–232, 2018, doi: 10.1016/j.fuel.2018.02.001.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] P. Sakthivel, K. A. Subramanian, and R. Mathai, "Experimental study on unregulated emission characteristics of a two-wheeler with ethanol-gasoline blends (E0 to E50)," *Fuel*, vol. 262, no. August 2019, p. 116504, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2019.116504.
- [14] A. Sanata, I. Sholahuddin, and H. Y. Nanlohy, "Characterization of Biogas as an Alternative Fuel in Micro-Scale Combustion Technology," *Int. J. Integr. Eng.*, vol. 15, no. 4, pp. 64–76, 2023, doi: 10.30880/ijie.2023.15.04.006.
- [15] J. Du, L. Su, D. Zhang, C. Jia, and Y. Yuan, "Experimental investigation into the pore structure and oxidation activity of biodiesel soot," *Fuel*, vol. 310, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.fuel.2021.122316.
- [16] S. M. Safieddin Ardebili, H. Solmaz, D. İpci, A. Calam, and M. Mostafaei, "A review on higher alcohol of fusel oil as a renewable fuel for internal combustion engines: Applications, challenges, and global potential," *Fuel*, vol. 279, no. April, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2020.118516.
- [17] 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, p. 118373, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.FUEL.2020.118373.
- [18] 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.

- [19] M. S. Gad *et al.*, “A comprehensive review on the usage of the nano-sized particles along with diesel/biofuel blends and their impacts on engine behaviors,” *Fuel*, vol. 339, May 2023, doi: 10.1016/j.fuel.2022.127364.
- [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] Y. Feng *et al.*, “The mechanism of ethanol blending on the variation of chemical heat sink in n-decane thermal cracking process,” *Fuel*, vol. 353, p. 129204, Dec. 2023, doi: 10.1016/J.FUEL.2023.129204.
- [22] F. Fairuddin, H. Riupassa, and H. Y. Nanlohy, “Karakteristik Pembakaran Difusi Campuran Bahan Bakar Minyak Kelapa Murni Dengan Bioaditif Minyak Cengkeh,” *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2024, [Online]. Available: <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME/article/view/17499>
- [23] 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.