

Karakteristik Penyalaan Droplet Minyak Biji Bunga Matahari Dengan Penambahan Karbon Aktif Kulit Pinang

Abdullah N. Ulwan^{1*}, Helen Riupassa¹, Marthina Mini¹, Suyatno¹

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

*Email; ulwenn788@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to reveal the role of biocatalysts based on activated biocarbon from areca nut shell waste in improving the ignition performance of sunflower seed oil droplets as an alternative fuel. Sunflower seed oil, which is rich in unsaturated fatty acids, has strong intermolecular binding forces that slow down its ignition. To overcome this, biocatalysts from activated areca nut shells were used. FTIR analysis showed an increase in the ability of fuel molecules to absorb heat, while TEM studies revealed that biocarbons have high porosity and uniform particle distribution, which supports combustion efficiency. Observations of temperature and droplet evolution using thermocouples and high-speed microscope cameras showed a significant increase in the ignition rate. The results indicate that this biocatalyst not only improves ignition efficiency but also utilizes organic waste, making it an environmentally friendly and sustainable fuel solution.

Keywords: Activated biochar, Areca husk, Alternative fuel, Droplet ignition, Sunflower seed.

PENDAHULUAN

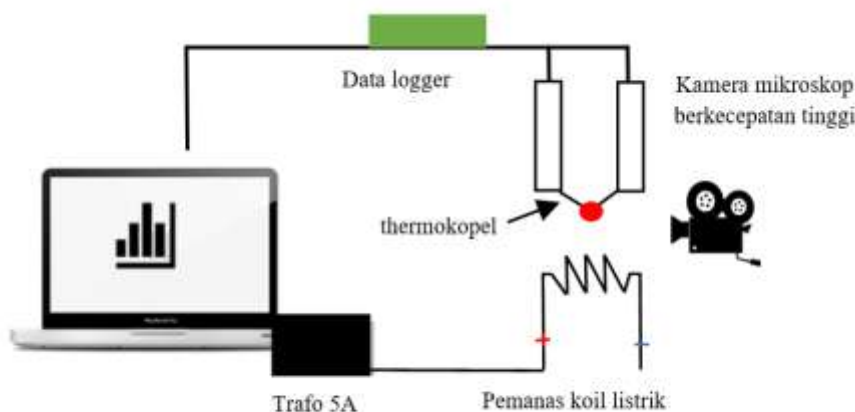
Sumber daya minyak bumi yang tidak dapat diperbaharui akan habis jika terus dimanfaatkan; oleh karena itu pemanfaatan minyak nabati sebagai bahan bakar alternatif sangat dibutuhkan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil [1] [2]. Bahan bakar alternatif dibuat melalui proses konversi minyak nabati atau minyak hewani dengan senyawa alkohol dan bantuan katalis [3]. Minyak biji bunga matahari adalah salah satu pilihan yang baik untuk lingkungan karena mereka mengurangi emisi partikel berbahaya seperti karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), dan sulfur dioksida (SO₂), yang meningkatkan kualitas udara[4].

Bunga matahari awalnya dianggap sebagai bunga hias di Indonesia, namun sejak 1970 mulai diteliti dan dimanfaatkan terutama sebagai penghasil minyak. Selain itu, minyak biji bunga matahari dapat digunakan sebagai bahan baku industri untuk membuat biodiesel, dan sebagai antioksidan yang baik [5], [6], [7]. Minyak biji bunga matahari mengandung asam lemak tak jenuh seperti asam linoleat, asam oleat, asam palmitat, dan asam stearat yang sangat cocok untuk proses pembakaran karena mampu menciptakan panas yang konsisten dan meninggalkan residu minim [8], [9]. Minyak biji bunga matahari tidak cocok digunakan langsung pada mesin karena viskositas yang tinggi dan berpotensi merusak mesin apabila digunakan dalam jangka waktu yang lama [10]. Untuk mengatasi masalah tersebut maka perlu perlakuan khusus dengan penambahan katalis seperti karbon aktif untuk meningkatkan efisiensi reaksi, dimana karbon aktif berperan sebagai bahan penyerap yang mempercepat laju reaksi [11]. Dengan adanya penambahan katalis, bahan bakar menjadi lebih mudah terbakar sekaligus mampu mengurangi emisi gas, sehingga lebih ramah lingkungan [12], [13].

Penelitian ini sebagai respons terhadap semakin berkurangnya cadangan minyak bumi, yang mendorong eksplorasi bahan bakar alternatif sebagai sumber energi terbarukan, secara khusus untuk menginvestigasi efek penambahan karbon aktif dari kulit pinang terhadap penyalaan minyak biji matahari.

METODE

Penelitian dilakukan dengan cara eksperimental yang difokuskan pada karakteristik pembakaran bahan bakar melalui fenomena nyala api droplet dikarenakan pengerjaannya yang mudah dan ekonomis [14], [15], [16]. Skema pengujian ditunjukkan pada gambar 1.



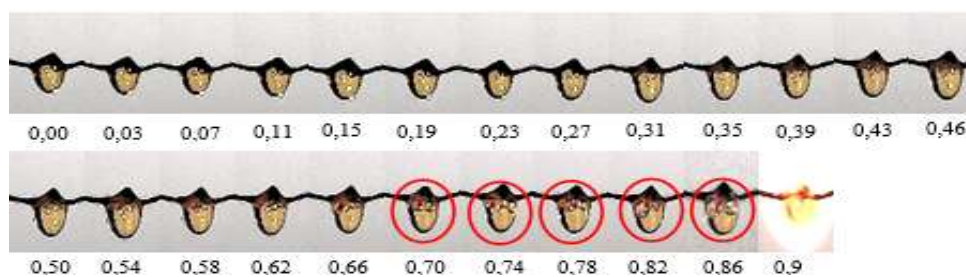
Gambar. 1. Skema alat penelitian

Transformator dengan arus maksimum 5A dan tegangan 12 Volt digunakan untuk memanaskan kawat Ni-Cr berdiameter 0,9 mm. Bahan bakar droplet ditetaskan menggunakan jarum suntik 1cc pada persimpangan thermokopel. Bersamaan dengan itu, kamera *high speed*, kamera mikroskop, data logger dan koil pemanas dinyalakan [17]. Selanjutnya, proses dokumentasi serta perekaman seluruh rangkaian dilakukan sejak fase pemanasan, penyalaan, hingga pemadaman api. Percobaan akan diulang hingga lima kali untuk memastikan konsistensi hasil yang memuaskan. Untuk penelitian ini, minyak biji bunga matahari digunakan bersama dengan katalis karbon aktif dari kulit pinang dengan antara 1 dan 3 ppm (Lihat Gambar 2).



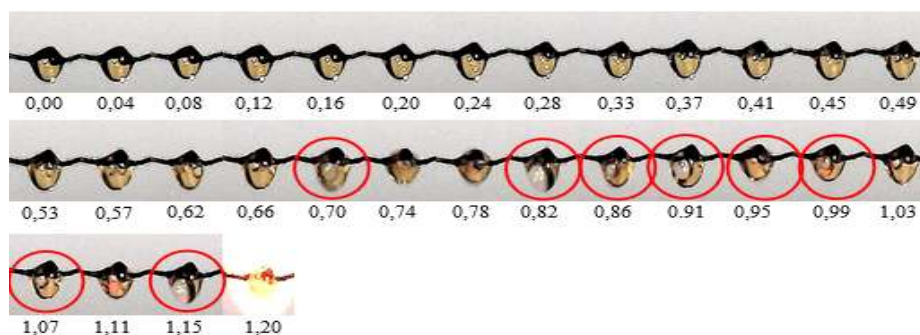
Gambar.2. Bahan baku

HASIL



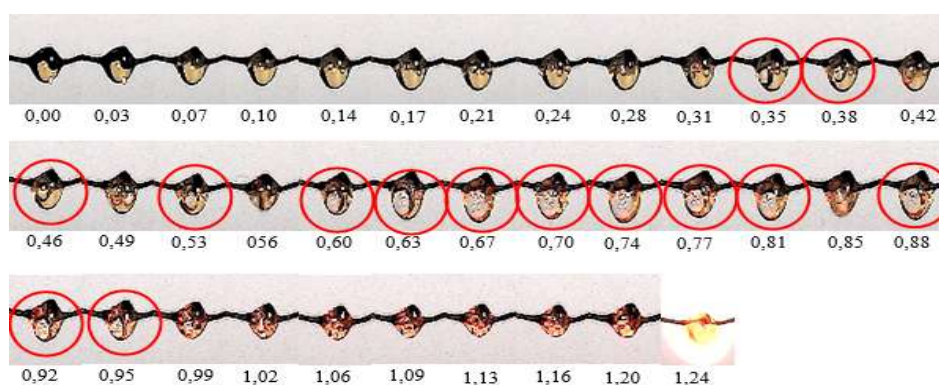
Gambar. 3. Evolusi penyalan droplet dengan biokatalis 1ppm

Gambar 3 menjelaskan evolusi penyalan dengan penambahan karbon aktif kulit pinang sebanyak 1ppm. Lamanya penyalan ini adalah 0,9 detik, dimana prosesnya dimulai dari tetesan pertama minyak biji bunga matahari. Fenomena yang teramati melibatkan perubahan diameter ukuran droplet dan adanya gelembung-gelembung dalam droplet. Meskipun, perubahan kurang nampak, akan tetapi tetesan pertama berdiameter 3.350 mm dan berkembang secara bertahap hingga mengecil dengan diameter 3.050 mm kemudian menjadi awal titik mula menyalanya api.



Gambar. 4. Evolusi penyalan droplet dengan biokatalis 2 ppm

Dari gambar 4 terlihat evolusi penyalan dengan penambahan karbon aktif kulit pinang sebanyak 2 ppm menunjukkan laju penyalan lebih lambat dibandingkan dengan 1 ppm. Fenomena yang dapat dilihat adalah adanya gelembung-gelembung dalam droplet, letupan terjadi karena minyak biji bunga matahari dicampur dengan katalis yang mempercepat penguapan. Gelembung-gelembung dalam droplet muncul akibat pemanasan yang dilakukan oleh kawat Ni-Cr, yang mentransfer energi panas ke droplet. Panas tersebut menyebabkan komponen minyak dan katalis di dalam droplet menguap, menghasilkan gas yang terperangkap. Gas ini membentuk gelembung di dalam cairan, dan ukurannya bertambah seiring meningkatnya tekanan dan temperatur. Katalis berperan dalam mempercepat proses penguapan dan mengurangi tegangan permukaan cairan, sehingga gelembung-gelembung terbentuk dan pecah lebih cepat. Letupan terjadi saat tekanan dalam gelembung melebihi batas daya tahan permukaan droplet, menciptakan efek letupan kecil yang terlihat. Pada awalnya droplet berdiameter 3,050 mm berubah secara bertahap hingga mencapai diameter paling besar 3,211 mm dan kemudian droplet mengecil. Waktu yang diperlukan juga lebih lama dibandingkan dengan konsentrasi 1 ppm, yaitu membutuhkan waktu sebesar 1,2 detik. Peran biokatalis 2 ppm juga bertindak sebagai bahan katalitik yang dapat meningkatkan laju reaksi penyalan. Karbon aktif ini memiliki struktur pori-pori yang tinggi, memberikan luas permukaan yang besar, sehingga memungkinkan kontak lebih luas dengan oksigen dan bahan bakar.



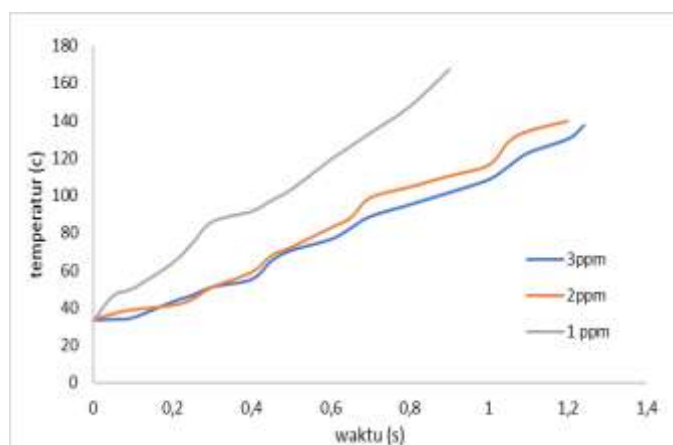
Gambar. 5. Evolusi penyalan droplet dengan biokatalis 3 ppm

Dalam gambar 5 terlihat bahwa biokatalis karbon aktif kulit pinang sebanyak 3 ppm menunjukkan laju penyalan paling lambat dibandingkan dengan minyak biji bunga matahari dengan penambahan biokatalis karbon aktif kulit pinang 1 ppm dan 2 ppm dalam proses penyalannya. Dimulai dari tetesan pertama, fenomena teramati yaitu terdapat perubahan diameter yang sangat bervariasi, gelembung-gelembung dalam droplet dan perubahan waktu yang sangat lama. Pada fase awalnya tetesan memiliki diameter 3,056 dan pada titik puncak penguapannya

dengan diameter 3.278 menyisakan hasil penguapan dengan diameter 2.611 dan kemudian titik awal api menyala. Waktu yang diperlukan dari penambahan biokatalis 3 ppm adalah 1,24 detik jika dibandingkan dengan 1 ppm dan 2 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa peran biokatalis 3 ppm ini memberikan pengaruh yang sangat lama dalam penguapan dan penyalaan api. Fenomena ini disebabkan karena pada massa 3 ppm, biokatalis karbon aktif dari kulit pinang berperan sebagai bahan katalitik dengan massa yang besar sehingga dapat memperlambat laju penyerapan panas dan reaksi penyalaan.

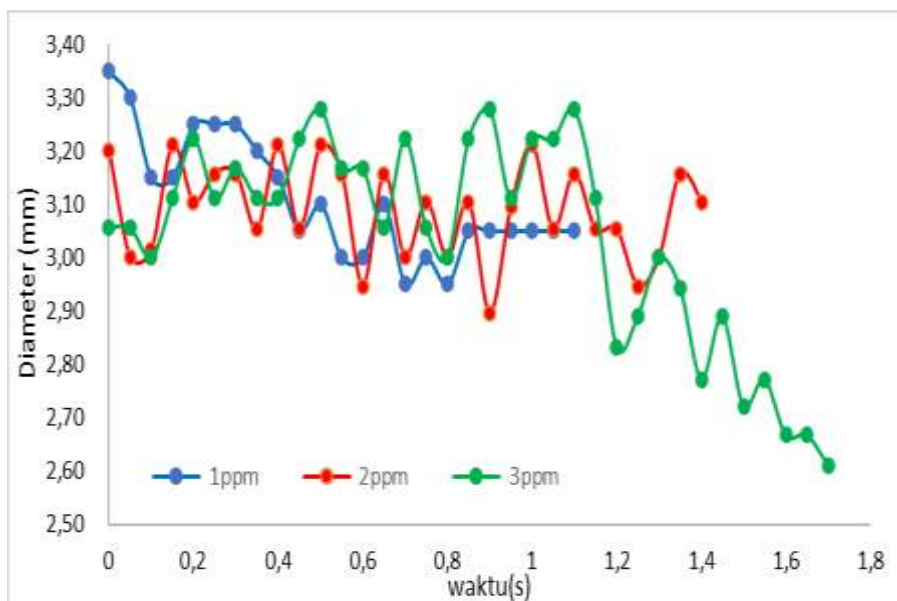
Karbon aktif memiliki struktur pori-pori yang tinggi, memberikannya luas permukaan yang besar, sehingga memungkinkan terjadinya kontak yang lebih luas dengan oksigen dan bahan bakar. Selain itu dapat membantu memecah rantai molekul kompleks dalam minyak, mengurangi suhu nyala awal yang dibutuhkan untuk memulai penyalaan. Sebagai biokatalis, karbon aktif dari kulit pinang juga cenderung mengandung elemen yang bisa berperan dalam reaksi penyalaan, seperti residu mineral atau senyawa karbon aktif, yang dapat berfungsi sebagai sumber katalis oksidasi. Ini mempermudah reaksi oksidasi pada permukaan minyak biji bunga matahari, yang pada akhirnya mempercepat penyalaan api dan memungkinkan pembakaran lebih efisien.

Karena hasil pengujian droplet menunjukkan kecenderungan yang serupa dari konsentrasi 1 ppm hingga 3 ppm, dipilihlah hasil terbaik pada setiap tetesan, yaitu tetesan pada konsentrasi 1 ppm, yang hanya memerlukan waktu 0,9 detik.



Gambar. 6. Temperatur vs Waktu

Gambar 6 menunjukkan grafik temperatur dan waktu dari penyalaan droplet yang ditambahkan dengan katalis karbon aktif dengan konsentrasi 1 ppm, 2 ppm dan 3 ppm. Dari hasil pengamatan ditemukan bahwa terjadi perubahan temperatur seiring berjalannya waktu. Terlihat bahwa untuk biokatalis karbon aktif 1ppm, awal penguapan adalah 0,01 detik dengan suhu awal 33°C hingga sebelum titik nyala api pada waktu 0,9 detik. Selanjutnya untuk biokatalis karbon aktif 2ppm, awal penguapan 0,01 detik dan suhu awal 33°C hingga sebelum nyala titik awal api pada waktu 1,2 detik. Sedangkan untuk biokatalis karbon aktif sebanyak 3ppm, awal penguapan pada waktu 0,01 detik dan suhu awal 32°C hingga awal api nyala pada waktu 1,24 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa biokatalis meningkatkan kinerja penyalaan bahan bakar dimana laju penyalaan meningkat, suhu penyalaan yang lebih tinggi, dan waktu penyalaan lebih pendek [14], [18], [19]. Biokatalis dari karbon aktif menyediakan permukaan reaksi yang besar dan berpori, tempat molekul minyak dan oksigen dapat berkumpul dan berinteraksi. Di permukaan biokatalis ini, molekul minyak mengalami reaksi oksidasi dengan lebih efisien tanpa harus terganggu oleh gesekan atau benturan fisik yang bisa merusak struktur molekul tersebut. Biokatalis bekerja dengan cara melemahkan ikatan dalam molekul minyak, sehingga proses oksidasi bisa berlangsung lebih cepat.

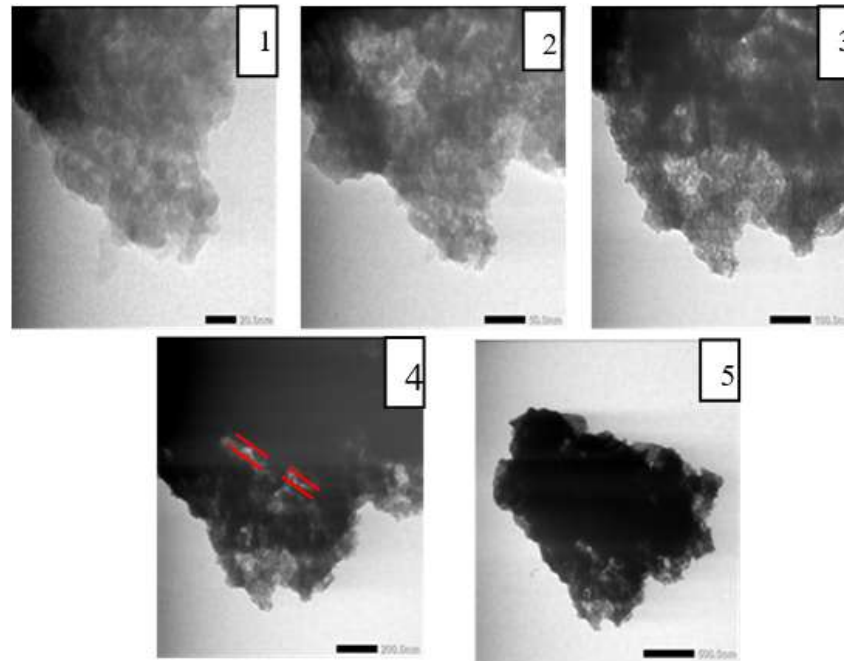


Gambar. 7. Waktu vs Diameter

Gambar 7 merupakan grafik waktu dan diameter droplet dengan konsentrasi 1ppm, 2ppm, dan 3ppm. Grafik tersebut menunjukkan perubahan diameter tetesan seiring berjalannya waktu. Untuk minyak biji bunga matahari yang ditambahkan katalis karbon aktif 1 ppm, tetesan awal memiliki diameter 3,350 mm, kemudian mengalami penguapan sehingga diameter droplet berubah menjadi 3,050 mm. Pada penambahan katalis karbon aktif 2 ppm, tetesan awal memiliki diameter 3,200 mm, kemudian berkembang menjadi 3,211 mm, lalu mengecil menjadi 2,895 mm, dan akhirnya mencapai titik awal penyalaan api pada diameter 3,105 mm. Sedangkan untuk minyak biji bunga matahari yang ditambahkan katalis karbon aktif 3 ppm, tetesan awal memiliki diameter 3,056 mm, kemudian berkembang menjadi 3,278 mm, mengecil hingga 2,833 mm, membesar kembali hingga 3 mm, dan akhirnya mencapai titik awal penyalaan api pada diameter 2,611 mm.

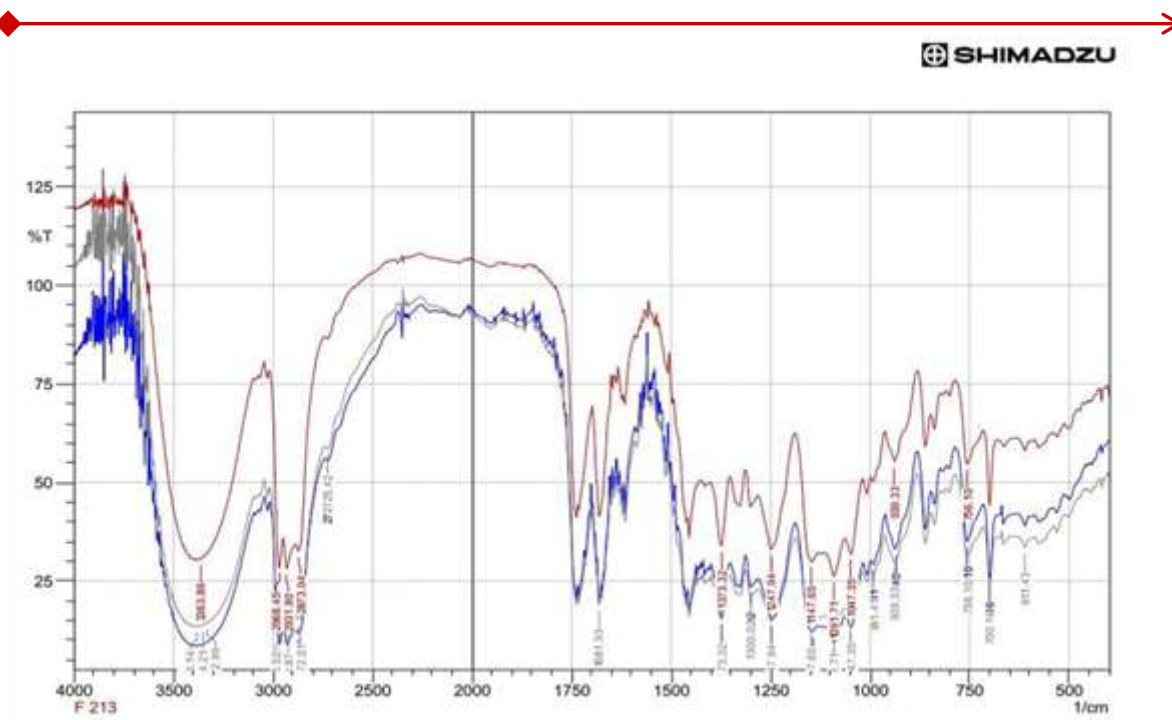
Perubahan diameter droplet pada berbagai konsentrasi katalis karbon aktif terjadi akibat interaksi antara penguapan, reaksi kimia, dan gaya kapilaritas. Panas dari kawat Ni-Cr memicu penguapan cairan dalam droplet, sehingga diameternya menyusut. Kehadiran katalis karbon aktif mempercepat reaksi kimia dalam minyak biji bunga matahari, menghasilkan gas yang terperangkap di dalam droplet. Gas ini meningkatkan tekanan di dalamnya, menyebabkan droplet membesar. Ketika gas dilepaskan, diameternya kembali mengecil. Tegangan permukaan droplet juga menyesuaikan diri terhadap perubahan tekanan dan distribusi cairan, sehingga memicu fluktuasi diameter. Pada konsentrasi katalis yang lebih tinggi, perubahan ini menjadi lebih kompleks karena intensitas reaksi dan pelepasan gas yang meningkat. Proses ini terus berlangsung hingga droplet mencapai titik penyalaan atau stabilitas.

Selanjutnya, untuk mengkaji morfologi dan distribusi ukuran nanopartikel karbon aktif, maka dilakukan karakterisasi menggunakan uji Transmission Electron Microscopy (TEM). Hasil uji TEM ditunjukkan pada gambar 8.



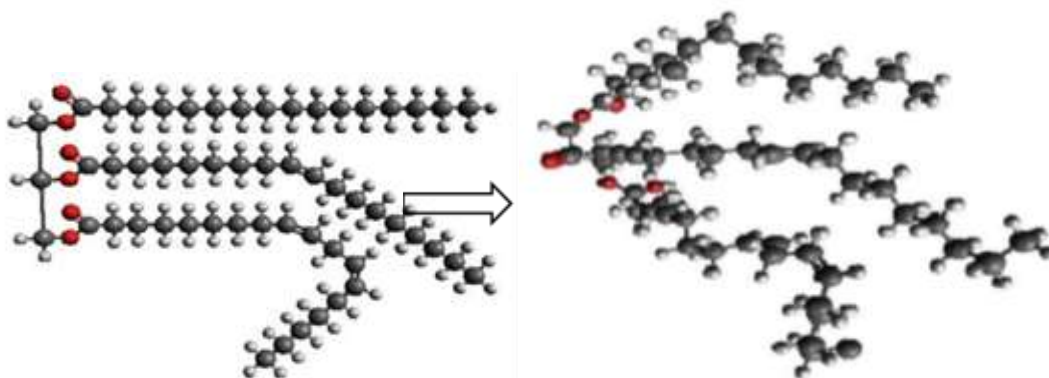
Gambar. 8. TEM nanopartikel karbon aktif

Gambar 8 menunjukkan nanopartikel karbon aktif dengan TEM dengan skala bar 20 nm-500 nm. Gambar tersebut menunjukkan agregat karbon aktif yang terdiri dari partikel-partikel karbon yang berbentuk sferik dengan ukuran yang seragam [20], [21]. Dari permukaan material, yang menunjukkan susunan atom atau nanopartikel yang memperlihatkan pola atomik dan struktur kristal di mana daerah gelap dan terang menunjukkan interaksi elektron [22], [23]. Daerah gelap menunjukkan area di mana lebih banyak elektron dihamburkan atau diserap oleh atom dalam sampel, atau area dengan densitas atom lebih tinggi merupakan wilayah di mana atom-atom tersusun lebih rapat, dan hal ini dapat mempengaruhi sifat fisik, mekanik, atau kimia material tersebut. Sedangkan daerah terang menunjukkan area yang lebih sedikit menghamburkan elektron atau daerah terang mencerminkan area dengan hamburan elektron yang lebih sedikit, menunjukkan struktur material yang lebih homogen atau lebih sedikit hamburan, 4 garis merah menunjukkan bagian yang lebih tipis atau daerah dengan kerapatan atom lebih rendah. Saat ditransmisikan, sebagian elektron berinteraksi dengan atom karbon (C) dalam sampel melalui hamburan elastis dan inelastis. Daerah terang menunjukkan area dengan dominasi hamburan elastis, di mana elektron mempertahankan energi kinetiknya dan lebih sedikit terhambat, sementara daerah gelap menunjukkan dominasi hamburan inelastis, di mana elektron kehilangan sebagian energi dan arahnya lebih banyak berubah. Berbagai sumber biomassa telah menunjukkan pola Selected Area Electron Diffraction (SAED) (difraksi elektron yang dihasilkan oleh material biomassa saat dianalisis dengan mikroskop elektron) yang serupa ketika digunakan untuk sintesis biodiesel, yang menunjukkan sifat polikrystalinya. Sifat polikristalin pada material berarti bahwa material tersebut terbentuk dari banyak kristal-kristal kecil, atau disebut juga butir (grain), yang memiliki orientasi acak [21], [23]. Sumber biomassa yang digunakan untuk sintesis biodiesel, seperti minyak nabati, lemak hewani, alga, lignoselulosa, dan minyak bekas, umumnya menunjukkan pola difraksi elektron yang serupa dengan sifat polikristalin, yaitu terbentuk dari banyak kristal kecil yang memiliki orientasi acak. Selain itu, berdasarkan analisis TEM, katalis yang disintesis menunjukkan porositas dan kristalinitas yang signifikan. Karakteristik ini merupakan faktor kunci efektivitas katalisi sebagai bahan bakar.



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

Terlihat pada gambar 9, grafik warna biru paling bawah menunjukkan variasi karbon aktif 1 ppm, kemudian grafik warna abu-abu yang di tengah menunjukkan variasi karbon aktif 2 ppm, sedangkan grafik warna merah menunjukkan variasi karbon aktif 3 ppm. Pada grafik warna biru, abu-abu, merah secara berurutan mengalami serapan kuat pada 3414 cm⁻¹, 3383,14 cm⁻¹, 3363,83 cm⁻¹. Jumlah kalor %T inframerah (IR) yang diserap oleh karbon minyak biji bunga matahari dengan variasi katalis 1ppm 83%T, 2ppm 105%T, dan 3ppm 120%T [24], [25], [26]. Hasil ini menunjukkan bahwa katalis membuat ikatan molekul semakin lemah sehingga molekul-molekul tersebut lebih cepat reaktif ketika menyerap energi kalor infrared (IR)[27]. Hal ini dapat dibuktikan dengan waktu penyalaan yang lebih singkat. Spectra FTIR menunjukkan perbedaan dari variasi karbon aktif nanopartikel yang ditambahkan pada minyak.



Gambar 10. Pengaruh katalis terhadap perubahan geometri struktur rantai trigliserida

Molekul minyak dibantu oleh karbon aktif menjadi bermuatan sehingga lebih mudah berinteraksi dengan oksigen saat menguap. Penyebabnya adalah karena karbon aktif memiliki jumlah proton yang lebih sedikit dari pada oksigen, sehingga karbon aktif cenderung memberikan elektronnya ke oksigen. [28], [29], [30]. Proses pemberian elektron dari karbon aktif kepada oksigen mengakibatkan oksigen menjadi bermuatan negatif sementara karbon aktif menjadi

bermuatan positif [31]. Hasil tersebut menunjukkan bahwa karbon aktif dapat memperlemah gaya ikatan antar rantai karbon dan meningkatkan rantai reaktivitas molekul bahan bakar sehingga bahan bakar dapat menyerap panas dan menyala.

KESIMPULAN

Studi tentang kinerja pengapian campuran minyak biji bunga matahari yang dikombinasikan dengan karbon aktif dari limbah kulit pinang menunjukkan peningkatan signifikan pada sifat dan karakteristik penyalan bahan bakar. Penambahan karbon aktif dari kulit pinang terbukti efektif meningkatkan suhu dan laju penyalan yang menunjukkan potensinya dalam meningkatkan efisiensi dan kinerja bahan bakar secara keseluruhan.


Selain itu, penggunaan karbon aktif dari sumber alami seperti kulit pinang menawarkan pendekatan yang ramah lingkungan. Metode ini tidak hanya meningkatkan efisiensi bahan bakar tetapi juga mengurangi dampak lingkungan dari emisi pembakaran, sehingga mendukung solusi alternatif yang berkelanjutan dan lebih ramah lingkungan.

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan proses aktivasi karbon dari kulit pinang, memahami mekanisme reaksi yang lebih mendalam, dan mengevaluasi performa bahan bakar ini dalam skala yang lebih besar. Studi lanjutan juga dapat fokus pada analisis dampak lingkungan secara kuantitatif serta eksplorasi potensi kombinasi bahan bakar serupa dengan sumber karbon alami lainnya untuk mendukung inovasi dalam teknologi energi berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Kayode and A. Hart, "An overview of transesterification methods for producing biodiesel from waste vegetable oils," *Biofuels*, vol. 10, no. 3, pp. 419–437, May 2019, doi: 10.1080/17597269.2017.1306683.
- [2] M. Jazuli and A. A. Wibowo, "BIODIESEL SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN: PROSES DAN TEKNOLOGI TERKINI," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 6, no. 2, pp. 445–450, May 2023, doi: 10.33795/distilat.v6i2.154.
- [3] S. Sumari, A. Santoso, and M. R. Asrori, "A Review: Synthesis of Biodiesel from Low/Off Grade Crude Palm Oil on Pretreatment, Transesterification, and Characteristics," *Orbital Electron. J. Chem.*, vol. 13, no. 4, pp. 385–391, Oct. 2021, doi: 10.17807/orbital.v13i4.1632.
- [4] A. Santoso, S. Sumari, and M. Roy Asrori, "Methyl Ester Type Produced by Catalytic Transesterification: From Various Oil Feedstock to Biodiesel Products," *Energy Eng.*, vol. 119, no. 6, pp. 2255–2276, 2022, doi: 10.32604/ee.2022.021596.
- [5] I. O. Otemuyiwa, A. S. Adekunle, J. F. Adegbite, and O. S. Falade, "Comparative study of physicochemical properties of *Tithonia diversifolia* and Sunflower seed oils," *Malays. J. Appl. Sci.*, vol. 5, no. 2, pp. 69–77, Oct. 2020, doi: 10.37231/myjas.2020.5.2.236.
- [6] M. Vergel-Ortega, G. Valencia-Ochoa, and J. Duarte-Forero, "Experimental study of emissions in single-cylinder diesel engine operating with diesel-biodiesel blends of palm oil-sunflower oil and ethanol," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 26, p. 101190, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101190.
- [7] E. Khan, K. Ozaltin, D. Spagnuolo, A. Bernal-Ballen, M. V. Piskunov, and A. Di Martino, "Biodiesel from Rapeseed and Sunflower Oil: Effect of the Transesterification Conditions and Oxidation Stability," *Energies*, vol. 16, no. 2, p. 657, Jan. 2023, doi: 10.3390/en16020657.
- [8] A. Santoso, M. R. Asrori, S. Sumari, and A. M. Pradana, "Karakterisasi Metil Ester Dari Minyak Biji Bunga Matahari dan Minyak Zaitun di Bawah Katalis KOH," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 24–31, Jan. 2023, doi: 10.47134/jesty.v1i1.5.

- [9] O. D. Samuel et al., "Performance comparison of empirical model and Particle Swarm Optimization & its boiling point prediction models for waste sunflower oil biodiesel," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 33, p. 101947, May 2022, doi: 10.1016/j.csite.2022.101947.
- [10] M. H. Rohman, "Pengaruh Penambahan Terpentin terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Bunga Matahari sebagai Biodiesel," *RING Mech. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 60–70, 2022.
- [11] A. Nabillah, M. Zamhari, and E. Dewi, "SINTESIS KATALIS KARBON AKTIF TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT TERIMPREGNASI NAOH PADA REAKSI TRANESTERIFIKASI BIODIESEL," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 12, no. 2, p. 165, Nov. 2023, doi: 10.29103/jtku.v12i2.12917.
- [12] H. Riupassa, S. Marianingsih, and H. Y. Nanlohy, "Characteristics of SI engine fueled with BE50-Isocotane blends with different ignition timings," *Heliyon*, vol. 9, no. 1, 2023.
- [13] B. Musthafa, B. Saravanan, M. A. Asokan, S. Devendiran, and K. Venkatesan, "Effect of ethanol, propanol and butanol on karanja biodiesel with vegetable oil fuelled in a single cylinder diesel engine," *Egypt. J. Pet.*, vol. 32, no. 2, pp. 35–40, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.ejpe.2023.05.001.
- [14] 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.
- [15] H. Riupassa et al., "Effects of Eugenol and Cineol Compound on Diffusion Burning Rate Characteristics of Crude Coconut Oil Droplet," *Automot. Exp.*, vol. 6, no. 1, pp. 59–67, Jan. 2023, doi: 10.31603/ae.8150.
- [16] H. Riupassa, S. Suyatno, and H. Y. Nanlohy, "Identifying the effect of aromatic compounds on the combustion characteristics of crude coconut oil droplet," *East-Eur. J. Enterp. Technol.*, vol. 2, no. 6 (122), pp. 6–14, Apr. 2023, doi: 10.15587/1729-4061.2023.272289.
- [17] 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, 2024.
- [18] H. Riupassa et al., "The effect of graphene oxide nanoparticles as a metal based catalyst on the ignition characteristics of waste plastic oil," presented at the THE 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS ENGINEERING AND NANOTECHNOLOGY (ICMEN 2021), Kuala Lumpur, Malaysia, 2022, p. 030001. doi: 10.1063/5.0075009.
- [19] H. Y. Nanlohy, S. Arief, H. Riupassa, M. Mini, T. Trismawati, and M. S. Panithasan, "Gasohol Engine Performance with Various Ignition Timing," *J. Mech. Eng. Sci. Technol. JMEST*, vol. 6, no. 1, p. 48, Jul. 2022, doi: 10.17977/um016v6i12022p048.
- [20] R. Y. Nurcahyo and P. J. Wibawa, "Fabrikasi Ramah Lingkungan Komposit Nano Karbon Aktif-Partikel Perak dan Uji Aktifitas Antibakterinya," *Greensphere J. Environ. Chem.*, vol. 2, no. 1, pp. 31–37, May 2022, doi: 10.14710/gjec.2022.14827.
- [21] C. A. Riyanto, E. Prabalaras, and Y. Martono, "KARAKTERISASI NANOPARTIKEL KARBON AKTIF DARI DAUN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) BERDASARKAN VARIASI SUHU DAN WAKTU AKTIVASI," *J. Kim. Dan Kemasan*, vol. 42, no. 2, p. 85, Sep. 2020, doi: 10.24817/jkk.v42i2.5633.
- [22] S. Boro, B. Das, S. Brahma, B. Basumatary, S. F. Basumatary, and S. Basumatary, "Biodiesel production using areca nut (*Areca catechu* L.) leaf ash-K₂CO₃ catalyst via transesterification from an oil blend of three different feedstocks," *Sustain. Chem. Environ.*, vol. 8, p. 100164, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.scenv.2024.100164.

- ◆ 
- [23] J.-H. Kwon, J. Lee, J. I. Lee, B.-G. Cho, and S. Lee, “Exploring TEM Coherence Properties via Speckle Contrast Analysis in Coherent Electron Scattering of Amorphous Material,” *Nanomaterials*, vol. 13, no. 23, p. 3016, Nov. 2023, doi: 10.3390/nano13233016.
- [24] K. Jaroszewska et al., “Selected acid and basic functionalized ordered mesoporous materials as solid catalysts for transesterification of canola oil: A comparative study,” *Fuel*, vol. 325, p. 124902, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.fuel.2022.124902.
- [25] D. L. Pavia, G. M. Lampman, G. S. Kriz, and J. R. Vyvyan, “Introduction to spectroscopy,” 2015.
- [26] S. M. Alshuiael and M. A. Al-Ghouti, “Multivariate analysis for FTIR in understanding treatment of used cooking oil using activated carbon prepared from olive stone,” *Plos One*, vol. 15, no. 5, p. e0232997, 2020.
- [27] M. A. Raehan, H. Riupassa, and H. Y. Nanlohy, “Captivating Combustion Traits of Bio-Oil Droplets Enriched with Bio-Additives from the Areca Shell Waste,” vol. 8, no. 2, 2024.
- [28] S. Suyatno, “IMPACT OF NANOPARTICLES AS A HOMOGENEOUS CATALYST IN IGNITION CHARACTERISTICS OF WASTE PLASTIC OIL,” *ROTOR*, vol. 16, no. 1, p. 21, Jun. 2023, doi: 10.19184/rotor.v16i1.41121.
- [29] H. Y. Nanlohy, H. Riupassa, and M. Setiyo, “Characterizing of Nano Activated Bio-Carbon of Sago Waste as a Homogeneous Combustion Catalyst,” *Automot. Exp.*, vol. 7, no. 1, pp. 77–85, Apr. 2024, doi: 10.31603/ae.10619.
- [30] H. Y. Nanlohy, H. Riupassa, I. M. Rasta, and M. Yamaguchi, “An Experimental Study on the Ignition Behavior of Blended Fuels Droplets with Crude Coconut Oil and Liquid Metal Catalyst,” *Automot. Exp.*, vol. 3, no. 2, May 2020, doi: 10.31603/ae.v3i2.3481.
- [31] 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.