

PENGARUH PENAMBAHAN FULLERENE PADA MINYAK HASIL PIROLISIS POLYPROPYLENE TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN SINGLE DROPLET

Alex Bagus Giantoro^[1], Ena Marlina^[2], Artono Raharjo^[3]

¹Universitas Islam Malang

Email: albagus011020@gmail.com

²Universitas Islam Malang

Email: ena.marlina@unisma.ac.id

³Universitas Islam Malang

Email: artonor@unisma.ac.id

ABSTRAK

Bahan bakar cair yang memanfaatkan sampah plastic jenis polypropylene yang berpotensi mengurangi penumpukan sampah terus dikembangkan. Salah satunya yaitu minyak hasil metode pirolisis jenis polypropylene sebagai bahan bakar cair terbarukan yang memiliki perbandingan dengan solar. Metode pencampuran dengan fullerene nanokarbon adalah salah satu cara agar memperbaiki karakteristik pada minyak untuk menghasilkan laju pembakaran yang cepat dan baik. Minyak polypropylene berwarna kuning gelap memiliki kandungan hampir mirip dengan bahan bakar konvensional sehingga dapat mudah terbakar. Dalam penelitian ini menggunakan metode secara eksperimental. Single droplet digunakan sebagai analogi untuk menggambarkan partikel yang disemprotkan ke dalam mesin pembakaran melalui alat semprot dalam ruang bakar dengan menggunakan minyak polypropylene murni yang dicampurkan fullerene nanokarbon dengan prosentase PP 0 PPM, 1 PPM, 5 PPM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase campuran fullerene nanokarbon, laju pembakaran menjadi lebih cepat dan suhu nyala meningkat, visualisasi api pada tinggi dan lebar semakin meningkat dan tidak memiliki perbandingan yang terlalu signifikan pada 1 PPM dan 5 PPM yang disebabkan fenomena microexplosion yang terjadi pada awal pembakaran. Berbeda dengan 0 PPM yang disebabkan viskositas pada minyak yang tinggi hingga mempengaruhi titik didih pada proses pembakarannya. Dari tiga variasi pengujian, hasil terbaik ditemukan pada variasi campuran 1 PPM karena laju pembakaran semakin cepat dengan prosentase kenaikan 42% dan jelaga hitam semakin berkurang, sehingga apabila diaplikasikan pada mesin akan memberikan tenaga yang besar.

Kata kunci: Bahan bakar cair, Polypropylene, Fullerene, Pembakaran droplet, Karakteristik pembakaran

ABSTRACT

Liquid fuel that utilizes polypropylene type plastic waste which has the potential to reduce waste accumulation continues to be developed. One of them is oil produced by the pyrolysis method of polypropylene type as a renewable liquid fuel which has a comparison with diesel. The mixing method with nanocarbon fullerene is one way to improve the characteristics of the oil to produce a fast and good combustion rate. Dark yellow polypropylene oil contains almost the same content as conventional fuels so it can be easily burned. In this study using the experimental method. A single droplet is used as an analogy to describe particles sprayed into a combustion engine through a sprayer in the combustion chamber using pure polypropylene oil mixed with fullerene nanocarbon with a PP percentage of 0 PPM, 1 PPM, 5 PPM. The results showed that the higher the percentage of the nanocarbon fullerene mixture, the faster the combustion rate and the flame temperature increased, the visualization of the flame at height and width increased and did not have a very significant comparison at 1 PPM and 5 PPM due to the microexplosion phenomenon that occurred at the beginning burning. It is different from 0 PPM which is due to the high viscosity of the oil which affects the boiling point of the combustion process. Of the three test variations, the best results were found in the 1 PPM mixture

variation because the combustion rate was faster with a percentage increase of 42% and the black soot was decreasing, so that when applied to the engine it will provide great power.

Keywords: Liquid fuel; Polypropylene; Fullerene; Droplet combustion; Combustion characteristics

PENDAHULUAN

Krisis energi dan perubahan iklim menjadi tantangan seiring perkembangan zaman, serta ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbarui. Untuk menghadapi tantangan itu, masyarakat perlu mulai mencari alternatif baru dalam memenuhi kebutuhan energi, salah satu solusi adalah pemanfaatan sampah plastik sebagai bahan bakar terbarukan [1]. Secara umum penggunaan sampah plastik dengan metode pirolisis merupakan alternatif yang memungkinkan sebagai material penghasil energi bahan bakar cair terbarukan [2].

Plastik merupakan limbah *non-biodegradable* tidak dapat terurai secara alami yang dibentuk dari proses polimerisasi dengan unsur penyusunya ialah karbon dan hydrogen, *naphtha* salah satu bahan baku pembuatan plastik yaitu bahan dari hasil penyulingan minyak bumi atau gas alam [3]. Minyak yang dihasilkan dari pirolisis *polypropylene* memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan bakar cair yang mendekati jenis solar. Proses pirolisis merupakan metode penguraian termal suatu material pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen dengan suhu antara 200-350°C. Minyak *polypropylene* mengandung berbagai unsur kimia, seperti *aromatic*, *alkena*, dan *naftena*. Kandungan ini memberikan sifat-sifat yang mirip dengan bahan bakar cair jenis solar [4]. Penggunaan pada campuran bahan bakar dengan nanokarbon sangat baik karena efek menghantarkan panas dan menyimpan panas yang lebih besar pada proses pembakaran [5] [6].

Material karbon memiliki beberapa jenis allotrop dengan bentuk dan struktur ikatan kimia yang berbeda, seperti grafit, graphene, *fullerene*, dan carbon nano tube (CNT) [7]. Penggunaan nanopartikel yang terbuat dari sumber daya biomassa seperti tempurung kelapa dimanfaatkan sebagai kandidat bio-adiktif. Nanopartikel dari tempering kelapa sebagai karbon berukuran nano yang memiliki sifat semikonduktor penghantar panas sangat baik. Nanopartikel ini memiliki struktur geometri seperti *fullerene* (C₆₀) dengan bentuk bola yang simetris terdiri dari atom karbon [8] [9].

Penelitian ini didasari satu cara yang digunakan untuk memperbaiki karakteristik dan laju pembakaran pada minyak hasil pirolisis sebagai bahan bakar terbarukan. Penelitian ini mengkaji efek penambahan *fullerene* pada minyak yang dihasilkan dari pirolisis jenis *polypropylene* terhadap sifat-sifat pembakaran tetesan tunggal. Parameter yang diamati mencakup suhu tetesan, tinggi nyala, lebar nyala, dan laju pembakaran (*burning rate*). Tujuan utama penelitian ini adalah mengidentifikasi pengaruh

penambahan *fullerene* terhadap karakteristik pembakaran *single droplet* dalam minyak hasil pirolisis *polypropylene*, sekaligus menciptakan variasi campuran bahan bakar cair terbarukan yang ramah lingkungan dan mampu mengurangi emisi gas buang.

METODE

Bahan yang digunakan adalah minyak hasil pirolisis *polypropylene*, yang memiliki molekul hidrokarbon rendah. Minyak *polypropylene* memiliki persamaan dengan bahan bakar cair, mengandung senyawa hidrokarbon seperti alkena atau aromatic. Senyawa ini merupakan komponen dalam minyak bumi. Kelompok alkena terbanyak adalah n-oktan, sedangkan kelompok *sikloalkena* didominasi oleh *sikloheksana*, dan kelompok *aromatic* terbanyak adalah *benzene*.

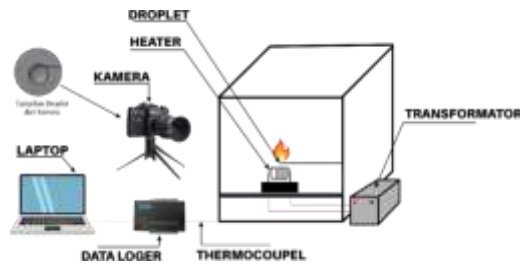
Parameter	Experimental value	Standard value	
	<i>Polypropylene</i>	<i>Gasoline</i>	<i>Diesel</i>
Kinematic viscosity pada 40 ^o C (mm ² /s)	4.09	1.17	1.9-4.1
Flash point (° C)	30	42	52
API gravity pada 60 ^o C	33.03	55	38
Densitas pada 15 ^o C (g/cm ³)	0.86	0.780	0.807
Cetane number (min)	49.3	-	<40
Octane number (MON) (min)	97.8	91-95	-
Pour point (° C)	-9	-	6
Ash (% wt)	0.00	-	0.01
Aniline point (° C)	40	71	77.5

Tabel 1. Perbandingan parameter fisik minyak *polypropylene* dengan bahan bakar komersial standard.

Sumber. [10]

Penelitian ini melibatkan pengamatan langsung pada objek penelitian dengan membandingkan pengujian yang melibatkan perlakuan dengan yang tanpa perlakuan. Penelitian ini menguji variasi campuran minyak, yaitu 0 PPM, 1 PPM, dan 5 PPM, pada 20 ml minyak *polypropylene*. Diameter tetes

ditetapkan sebesar 1,5 mm, jarak antara *thermocouple* dan pemanas adalah 3 mm. Proses pembakaran dimulai pada suhu awal ruangan sekitar 25⁰ C - 30⁰ C dan tekanan atmosfer 1 atm. Seluruh proses diabadikan menggunakan kamera Nikon D3300 untuk mendokumentasikan setiap detail objek. Penelitian ini menggunakan tetes tunggal (*single droplet*) sebagai fokus utama untuk memahami karakteristik hasil pembakaran. Instalasi peralatan pengujian dijelaskan dalam gambar yang disediakan.



Gambar 1. Sekema eksperimen

HASIL DAN PEMBAHASAN

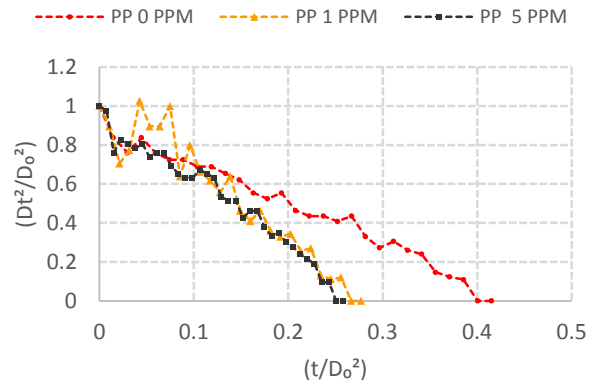
Data penelitian mencakup video nyala api dan data suhu selama pembakaran *droplet*. Video api dipecah menjadi beberapa frame menggunakan software Free Studio untuk menghasilkan data dari 3 variasi dan masing-masing diulang 5 kali. Data ini melibatkan laju pembakaran (*burning rate*), yaitu kecepatan pembakaran dari awal nyala hingga padam, serta rentang suhu mulai dari awal pembakaran hingga suhu tinggi. Data juga mencakup visualisasi tinggi dan lebar api, yang menggambarkan dimensi api tertinggi dan terlebar selama pembakaran *droplet*.

Variasi	Burning rate (mm ² /s)	Suhu nyala (° C)	Suhu Max (° C)	Tinggi api (mm)	Lebar api (mm)
0 PPM PP	0,61	368	768	20,18	6,21
1 PPM PP	1.87	409	787,8	33,91	12,52
5 PPM PP	2.20	457	787	29,73	11,58

Tabel 2. Hasil pengujian karakteristik *single droplet* minyak hasil pirolisis *polypropylene* yang dicampurkan *fullerene* dengan berbagai variasi.

Tabel hasil pengujian mencatat setiap variasi dalam proses pengujian. Data kemudian dijadikan grafik untuk menganalisis dampak dan perbedaan antar variasi campuran.

1. Pengaruh penambahan *fullerene* terhadap *burning rate*

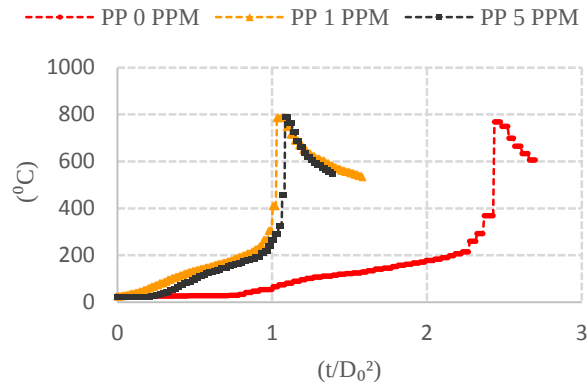


Gambar 2. Grafik *burning rate*

Grafik di atas menunjukkan hasil perhitungan laju pembakaran untuk berbagai variasi campuran menunjukkan penurunan linier seiring waktu dengan kemiringan konstan. Gambar di atas untuk variasi 0 PPM 1,9 mm²/s, variasi 1 PPM 3,39 mm²/s, dan 5 PPM 3,35 mm²/s. 1 PPM dan 5 PPM menunjukkan perilaku kurva berbeda dengan adanya nanokarbon yang mempengaruhi evolusi ukuran tetesan. *Fullerene* membantu dalam menyerap lebih banyak energi pancaran dari nyala api, yang secara efektif mengurangi laju penguapan campuran bahan bakar dan menimbulkan fenomena *microexplosion* [11][12]. Selanjutnya, *hot spot* lokal (gelembung) muncul, mengakibatkan ledakan mikro yang mempengaruhi diameter *droplet*, menjadikannya tidak teratur untuk waktu tertentu [13] [14].

Kecenderungan meningkat untuk nilai *burning rate* dari perubahan variasi campuran, untuk 1 PPM memiliki persentase peningkatan sebesar 42%, tidak berbeda pada 5 PPM yang memiliki kenaikan hampir sama yaitu 41% dibandingkan dengan 0 PPM. Sehingga penambahan *fullerene* mempengaruhi laju percepatan pengapian dan laju pembakaran dalam pengukuran pengapian *droplet*. Nilai konduktivitas termal yang mempengaruhi penguapan *droplet* yang lebih cepat, yang dapat menghasilkan energi yang besar untuk meningkatkan pembakarannya[15].

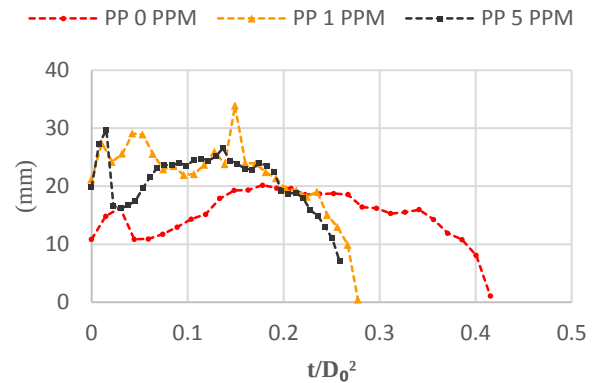
2. Pengaruh penambahan *fullerene* terhadap temperatur



Gambar 3. Grafik temperatur *droplet*

Gambar 2 dari hasil pengujian menghasilkan suhu $768,7^{\circ}\text{C}$ untuk campuran 0 PPM, $787,8^{\circ}\text{C}$ untuk 1 PPM, dan $787,2^{\circ}\text{C}$ untuk 5 PPM. Grafik menunjukkan bahwa perubahan 1 PPM memiliki suhu tertinggi, tidak ada perbedaan yang signifikan pada 5 PPM, bahkan sedikit penambahan 1 PPM memberikan suhu *droplet* pada kurva untuk mencapai suhu tinggi dan kenaikan suhu yang cepat, dibandingkan dengan 0 PPM. Waktu 1 PPM untuk mencapai titik temperature tertinggi sangat singkat yaitu 1,03 detik, dan hampir sama dengan 5 PPM yaitu membutuhkan waktu 1,10 detik yaitu *fullerene* memindahkan panas ke pusat dari *droplet* yang disebabkan panas heater sehingga meningkatkan energi panas dan membuat penguapan bahan bakar lebih cepat [16] [17].

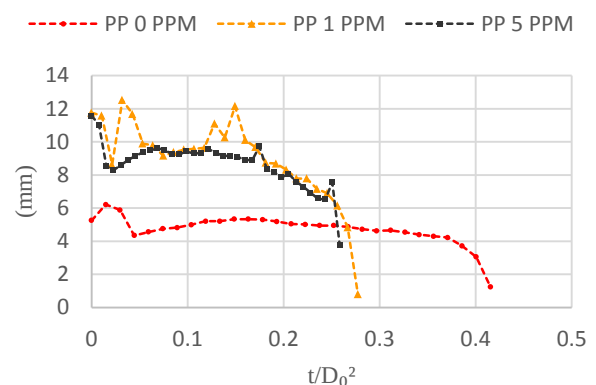
3. Pengaruh penambahan *fullerene* terhadap tinggi api



Gambar 4. Grafik tinggi api *droplet*

Gambar 3 menunjukkan visualisasi api, ketinggian api dihitung dari saat api mulai menyala dalam tetesan hingga api padam, dan pengaruh konsentrasi penguapan tetesan mengubah fase dari cair menjadi gas, membentuk nyala api pada suhu tinggi. Terlihat dari gambar bahwa tinggi api maksimum 1 PPM 33,911 mm dan tinggi api minimum 0 PPM 20,186 mm. Ketinggian nyala api diukur dari titik terdekat dengan visualisasi nyala api, sehingga penambahan *fullerene* nano karbon sangat berpengaruh terhadap tinggi nyala api, karena *fullerene* memberikan tambahan keseimbangan energi, membuat nyala api yang dihasilkan lebih tinggi dan laju penguapan tetesan cair meningkat lebih cepat [18]. *Microexplosion* yang terjadi menyebabkan reaksi pada laju pembakaran secara tidak beraturan dimana dipengaruhi oleh perbedaan titik didih dan laju penguapan lebih cepat menghasilkan diameter api yang tinggi [19] [20].

4. Pengaruh penambahan *fullerene* terhadap lebar api



Gambar 5. Grafik lebar api *droplet*

Grafik menunjukkan plot lebar nyala api yang dihitung dari nyala api hingga padamnya api dalam pembakaran *droplet*. Hasil menunjukkan lebar nyala api 1 PPM memiliki lebar nyala api yang tinggi, tidak jauh beda dengan 5 PPM diukur dari titik terluar nyala apinya, seperti tinggi nyala api. Grafik menunjukkan bahwa

penambahan *fullerene* nanokarbon sangat mempengaruhi visualisasi lebar nyala api, karena terjadinya ledakan mikro mengarah pada dampak lebar nyala api ketika proses pembakaran *droplet* terjadi. Beberapa frame awal menunjukkan adanya *microexplosion* pada varian campuran 1 PPM.

KESIMPULAN

Kesimpulan utama dari penelitian ini dirangkum sebagai berikut:

1. Burning rate yang diperoleh bahwa 1 PPM memiliki laju pembakaran lebih cepat dan baik sebesar 42% dibandingkan 0 PPM, karena *fullerene* mempengaruhi percepatan laju pembakaran burning rate yang mana nilai konduktifitas termal yang terjadi pada *droplet* untuk bisa menguap lebih cepat dan dapat menghasilkan energi yang besar.
2. Prosentase variasi campuran yang rendah menunjukkan peningkatan temperature suhu yang dihasilkan. Sehingga dengan prosentase rendah dapat mudah menghantarkan panas ke titik pusat *droplet* dan menambahkan energi panas kedalam penguapan bahan bakar yang menjadikan penguapannya semakin besar.
3. Bentuk tinggi dan lebar api pada 1 PPM memiliki hasil tertinggi pada proses pembakaran *droplet*. Fenomena *microexplosion* yang menyebabkan kesetabilan tinggi dan lebar api tidak merata sehingga memuai dari panas yang diberikan pada tetesan dan bereaksi dengan udara yang akhirnya muncul nyala api lebih besar dan tinggi.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Glen Stewart Timu, Nurida Finahari, & Gatot Subiyakto. (2012). Analisa penggunaan minyak jarak pagar sebagai campuran bahan bakar biodisel (Penting). Analisa Penggunaan Minyak Jarak Pagar Sebagai Campuran Bahan Bakar Biodisel (Penting), Vol. 4 No 2, 16–22.
- [2] Sarker, M., Rashid, M. M., & Molla, M. (2012). Waste *polypropylene* plastic conversion into liquid hydrocarbon fuel for producing electricity and energies. *Environmental Technology* (United Kingdom), 33(24), 2709–2721.
- [3] Kumar, S., Panda, A. K., & Singh, R. K. (2011). A review on tertiary recycling of high-density polyethylene to fuel. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 55, Issue 11, pp. 893–910).
- [4] Erti Praputri, M ulyazmi, Ellyta Sari, & Munas Martynis. (2016). Pengolahan Limbah Plastik *Polypropylene*.
- [5] Thunugunta, T., Reddy, A. C., & Lakshmana Reddy, D. C. (2015). Green synthesis of nanoparticles: Current prospectus. In *Nanotechnology Reviews* (Vol. 4, Issue 4, pp. 303–323). Walter de Gruyter GmbH.
- [6] Andriyan, E., & Marlina Ena. (2020). *Pengaruh Pencampuran Karbon Nano Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Sun Flower*.
- [7] Cui, R., & Zhu, J. J. (2010). Fabrication of a novel electrochemical immunosensor based on the gold nanoparticles/colloidal carbon nanosphere hybrid material. *Electrochimica Acta*, 55(27), 7814–7817.
- [8] Marlina, E., Alhikami, A. F., Waluyo, B., Rahima Sahwahita, S., & Wardana, I. (2023). A study of blending carbon nanoparticles made of coconut shell (*fullerene* C60) in vegetable oils on the *droplet* evaporation characteristics. *Fuel*, 346, 128319.
- [9] Marlina, E., Wijayanti, W., Yuliati, L., & Wardana, I. N. G. (2022). The role of 1,8-cineole addition on the change in triglyceride geometry and combustion characteristics of vegetable oils *droplets*. *Fuel*, 314, 122721.
- [10] Ahmad, I., Ismail Khan, M., Khan, H., Ishaq, M., Tariq, R., Gul, K., & Ahmad, W. (2015). Pyrolysis study of *polypropylene* and polyethylene into premium oil products. *International Journal of Green Energy*, 12(7), 663–671.
- [11] Marlina, E., Nanlohy, H. Y., Puja, I. G. K., & Riupassa, H. (2021). *Droplet* combustion behavior of crude palm oil-carbon nanoparticles blends. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1034(1), 012039.
- [12] Inês, I. A., Silva, A. R. R., Moita, A. S. O. H., Mendes, M. A. A., & Costa, M. M. G. (2021). Combustion characteristics of a single *droplet* of hydroprocessed vegetable oil blended with aluminum nanoparticles in a drop tube furnace. *Fuel*, 302.
- [13] E. Marlina, H. Y. Nanlohy, I. Gusti Ketut Puja, And H. Riupassa, “Droplet Combustion Behavior of Crude Palm Oil-Carbon Nanoparticles Blends,” *Iop Conf Ser Mater Sci Eng*, Vol. 1034, No. 1, P. 012039, Feb. 2021.
- [14] Linda Silvia, Ena Marlina, Nur Robbi. (2022). *Pengaruh Penambahan Minyak Terpentin terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Kelapa sebagai Bahan Bakar Biodisel*. 1(2), 93–100.

- [15] Mehrizi, A. A., Karimi-maleh, H., Naddafi, M., Karaman, O., Karimi, F., Karaman, C., & Cheng, C. K. (2022). Evaporation characteristics of nanofuel *droplets*: A review. *Fuel*, 319.
- [16] Marlina, E., Wijayanti, W., Yuliati, L., & Wardana, I. N. G. (2020). The role of pole and molecular geometry of fatty acids in vegetable oils *droplet* on ignition and boiling characteristics. *Renewable Energy*, 145, 596–603.
- [17] Marlina, E., Wijayanti, W., Yuliati, L., & Wardana, I. N. G. (2020). The role of pole and molecular geometry of fatty acids in vegetable oils *droplet* on ignition and boiling characteristics. *RenewableEnergy*,145,596–603.
- [18] Marlina, E., Basjir, M., & Purwati, R. D. (2022). The Response of Adding Nanocarbon to the Combustion Characteristic of Crude Coconut Oil (CCO) *Droplets*. *Automotive Experiences*, 5(1), 68–74.
- [19] E. Marlina, W. Wijayanti, L. Yuliati, and I. N. G. Wardana, “The role of 1.8-cineole addition on the change in triglyceride geometry and combustion characteristics of vegetable oils *droplets*,” *Fuel*, vol. 314, Apr. 2022.
- [20] F. Hariyadi, E. Marlina, And N. Robbi, “Pengaruh Penambahan Karbon Nano Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Kelapa Sebagai Bahan Bakar Biodiesel,” *Jurnal Teknik Mesin Ring*, 2020.