

PENGARUH PENAMBAHAN GRAPHENE NANOKARBON PADA MINYAK HASIL PIROLISIS LOW DENSITY POLYETHYLENE TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN SINGLE DROPLET

Mursit Siyamudin¹, Ena Marlina², Artono Raharjo³

^{1*)} Universitas Islam Malang

email: mursitsiyamudin.id@gmail.com

²⁾ Universitas Islam Malang

email: ena.marlina@unisma.ac.id

³⁾ Universitas Islam Malang

email: artonor@unisma.ac.id

ABSTRACT

Pyrolysis oil is an alternative energy source that has been widely developed as a conventional fuel substitute, their characteristics approached conventional fuel replacement. Graphene nanocarbon is a material that can be used as a catalyst for fuel, it has high thermal conductivity properties so that it can help fuel reach the point of flame quickly. This research added the graphene nanocarbon into the LDPE (Low-Density Polyethylene) pyrolysis oil to find out the characteristics of burning. The method used is experimental by using the burning of a single droplet. This study uses three samples that are LDPE 0 PPM, LDPE 1 PPM (20 mL oil + 0.02 mg graphene), and LDPE 5 PPM (20 mL oil + 0.1 mg graphene). This research obtains the highest temperature results on LDPE 5 PPM of 783.5 °C. The biggest burning rate of value on LDPE 5 PPM is 4.4 mm²/s with a droplet time of 6.06 s. The highest fire on LDPE 5 PPM with value 37.06 mm and the widest fire on LDPE 5 PPM with a value 15.8 mm. The research proves that the addition of graphene nanocarbon can affect the characteristic of burning droplet oil pyrolysis of LDPE.

Keywords: Pyrolysis oil; Nanocarbon; Graphene; Droplets; Combustion

ABSTRAK

Minyak pirolisis merupakan sumber energi alternatif yang telah dikembangkan sebagai pengganti bahan bakar konvensional, dimana karakteristiknya mendekati bahan bakar konvensional. Penambahan katalis pada minyak pirolisis mampu memperbaiki karakteristik sehingga menjadi lebih baik lagi. Nanokarbon *graphene* merupakan salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai katalis pada bahan bakar, *graphene* mempunyai sifat konduktivitas termal yang tinggi sehingga dapat membantu bahan bakar mencapai titik nyala api dengan cepat. Penelitian ini menambahkan nanokarbon *graphene* kedalam minyak pirolisis LDPE (Low Density Polyethylene) untuk mengetahui karakteristik pembakaran. Metode yang digunakan yaitu eksperimental nyata dengan menggunakan pembakaran *single droplet*. Penelitian ini menggunakan tiga sampel yaitu LDPE 0 PPM, LDPE 1 PPM (20 mL minyak + 0,02 mg *graphene*), dan LDPE 5 PPM (20 mL minyak + 0,1 mg *graphene*). Penelitian ini memperoleh hasil temperatur tertinggi pada LDPE 5 PPM sebesar 783,5°C. Nilai *burning rate* terbesar pada LDPE 5 PPM yaitu 4,4 mm²/s dengan waktu pakai *droplet* selama 6,06 s. Api tertinggi pada LDPE 5 PPM dengan nilai 37,06 mm dan api terlebar pada LDPE 5 PPM dengan nilai 15,8 mm. Penelitian membuktikan bahwa penambahan nanokarbon *graphene* dapat mempengaruhi karakteristik pembakaran *droplet* minyak pirolisis LDPE.

Kata Kunci: Minyak Pirolisis; Nanokarbon; Graphene; Droplets; Pembakaran

PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil dalam membantu kelancaran perkembangan dunia transportasi dan industri memiliki peranan yang sangat penting [1]–[3], namun penggunaan yang terus naik menyebabkan ketersediaan bahan bakar menurun dan menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan seperti perubahan iklim yang saat ini kita rasakan [4]. Perlu adanya pembaruan serta pengembangan energi agar ketergantungan pada bahan bakar fosil dapat diubah, salah satu sumber energi alternatif yang dapat difungsikan sebagai penukar bahan bakar fosil yaitu bahan bakar cair yang diperoleh dari metode pirolisis, dimana bahan bakar ini terbuat dari reaksi dekomposisi kimia limbah organik maupun limbah non-organik [5]–[7].

Bahan bakar cair dari metode pirolisis memiliki ciri khas dan karakteristik yang mendekati bahan bakar fosil, hal tersebut dikarenakan sebagian limbah non-organik dibuat dari naphtha yang merupakan hasil proses penyulingan bahan bakar cair bumi atau gas alam [8]–[10]. Salah satu limbah non-organik yang dapat di proses dengan metode pirolisis yaitu plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*), hasil penelitian [11] memperoleh bahan bakar cair hasil dari metode pirolisis yang ciri-cirinya hampir serupa dengan kerosin atau minyak tanah, agar karakteristik dan sifatnya meningkat bahan bakar cair hasil pirolisis dapat ditambahkan katalis [12]. Jenis katalis yang paling banyak diterapkan adalah nanokarbon *graphene*, hal ini disebabkan nanokarbon *graphene* sering dikembangkan dalam dunia industri bahan bakar cair dikarenakan mempunyai sifat konduktivitas termal yang tinggi [13], sehingga mampu mempercepat panas menyebar ke seluruh bagian minyak. Penggunaan partikel nano lebih baik apabila dibandingkan dengan partikel mikro ataupun makro karena efek mekanika kuantum yang menghantar rasio luas permukaan lebih besar [14].

Pengujian tetesan atau lebih populer dengan istilah *droplet* banyak dikembangkan oleh ilmuwan dikarenakan mampu mengetahui karakteristik dari pembakaran bahan bakar berdasarkan propertiesnya [15]. *Droplet* diasumsikan sebagai contoh penerapan dari pembakaran pada motor bakar, bahan bakar yang di semprotkan dari *nozzel* berbentuk *spray* atau butiran kecil sehingga

mengakibatkan penguapan semakin meningkat dan proses difusi bahan bakar dengan udara menjadi lebih baik [16].

Mengacu pada penjelasan diatas, pencampuran minyak hasil metode pirolisis LDPE dengan nanokarbon *graphene* diarahkan untuk meningkatkan karakteristik pembakaran sehingga menjadi bahan bakar yang sesuai, namun penelitian yang berkenaan dengan penambahan nanokarbon *graphene* pada minyak hasil pirolisis LDPE menggunakan metode *single droplet* belum pernah diteliti. Peneliti ingin melakukan eksperimen dengan judul “Pengaruh Penambahan Nanokarbon *Graphene* pada Minyak Hasil Pirolisis LDPE terhadap Karakteristik Pembakaran *Single Droplet*”.

METODE

Metode penelitian yang kami gunakan adalah eksperimental nyata (*true experimental research*) dengan mengamati secara langsung objek yang diteliti serta membandingkan karakteristik semua variasi campuran bahan bakar menggunakan metode *single droplet*. Minyak yang kami gunakan dalam penelitian ini adalah minyak hasil pirolisis LDPE (*Low Density Polyethylene*) dengan penambahan katalis nanokarbon yang berjenis *graphene*, nanokarbon ini memiliki bentuk seperti sarang lebah dengan dimensi lembaran tipis, masing-masing bahan tersebut memiliki karakteristik sebagai berikut.

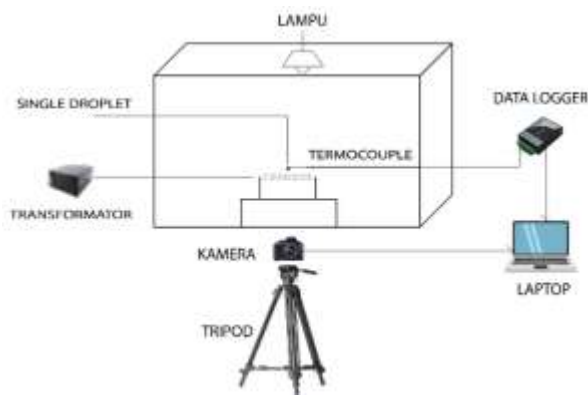
Parameter Analisa	Satuan	Standar Kerosen	Standar Solar	LDPE
Flash Point	°C	38	52	28,1
Caloric Value	Mj/kg	46,5	43-55	26,92
Sulfur	Ppm	2500	500	102
Viskositas	mm ² /s	-	2-4,5	0,42
Densitas Pada 5°C	Kg/m ³	836	815-860	788

Tabel 1. Karakteristik Minyak Hasil Pirolisis LDPE
Sumber: [12]

Karakteristik Graphene	
Kandungan karbon (%)	>95
Massa jenis (g/cm ³)	0,33
Ukuran lapisan	>10
Serpihan (μm)	<20
Konduktivitas termal (W/m*k)	7.36
Difusivitas termal (mm ² /s)	22.23

Tabel 2. Karakteristik Nanokarbon Graphene
Sumber: [13]

Sebelum pengambilan data, proses pertama yang dilakukan adalah pencampuran antara kedua bahan dengan alat *magnetic stirrer* selama 1 jam dengan kecepatan putaran 250 rpm, minyak yang digunakan sejumlah 20ml dengan variasi penambahan katalis nanokarbon *graphene* 0 PPM, 1 PPM, dan 5 PPM. Bahan yang telah dicampurkan lalu didiamkan selama satu bulan supaya katalis nanokarbon yang tidak larut dalam pencampuran dapat mengendap, proses setelahnya adalah melakukan pengambilan data dengan instalasi alat sebagai berikut.



Gambar 1. Instalasi penelitian

Proses pengambilan data penelitian disesuaikan dengan prosedur, jarak antara *heater* dengan *termocouple* adalah 3mm, ujung *termocouple* bersih dari kotoran yang menempel agar tidak terjadi kesalahan dalam pengambilan data temperatur, kemudian bentuk *droplet* menggunakan suntikan dengan diameter $\pm 1,5\text{mm}$ dan letakan pada ujung *termocouple*. Penyalaan *heater*, *data logger* dan

kamera harus berbarengan agar data yang didapatkan juga selaras. Pengaturan untuk *data logger* menggunakan frekuensi 60 Hz dan kamera 60 Fps. Proses ini akan menghasilkan karakteristik pembakaran yang meliputi visualisasi api (lebar dan tinggi api), *burning rate*, temperatur *droplet*, *microexplosion*, dan *droplet life time*[14], [17]–[21].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini memperoleh hasil yang dilampirkan pada tabel berikut.

Variasi	Burning Rate (mm ² /s)	Suhu Nyala (°C)	Suhu Max (°C)	Tinggi Api (mm)	Lebar Api (mm)
LDPE 0 PPM	1.81	548	746	18,1	5,9
LDPE 1 PPM	2.95	488	763	23,3	10,4
LDPE 5 PPM	4.4	357	783	37	15,8

Tabel 3. hasil pengujian karakteristik *droplet* minyak pirolisis yang ditambahkan nanokarbon *graphene* dengan variasi campuran.

Keterangan:

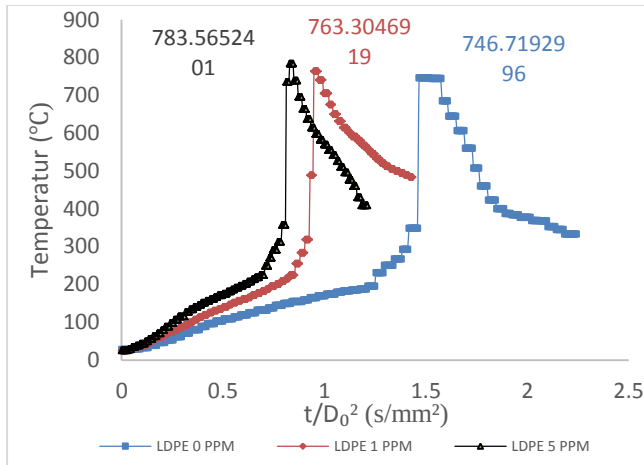
LDPE 0 PPM = 20 ml minyak pirolisis LDPE

LDPE 1 PPM = 20 ml minyak + 0,02 mg nanokarbon *graphene*

LDPE 5 PPM = 20 ml minyak + 0,1 mg nanokarbon *graphene*

Burning rate = Laju pembakaran *droplet*

1. Pengaruh Penambahan Nanokarbon Graphene Dengan Minyak Hasil Pirolisis LDPE Terhadap Temperatur



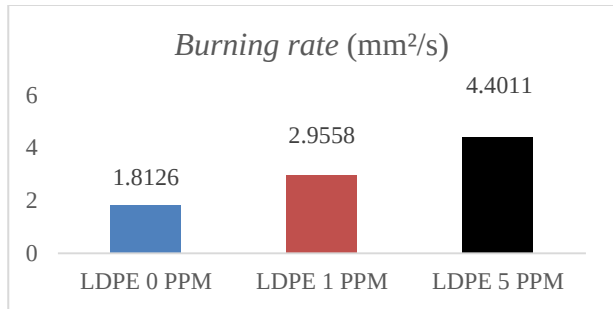
Gambar 2. Grafik temperatur pembakaran *droplet*

Gambar 2 menunjukkan bahwa dengan penambahan nanokarbon *graphene* kedalam minyak hasil pirolisis LDPE berpengaruh terhadap temperatur maksimal dan *ignition delay time* dari masing-masing variasi campuran. LDPE 0 PPM tidak terdapat campuran nanokarbon, akibatnya minyak sukar untuk menguap dan butuh waktu yang lama untuk bisa terbakar.

Temperatur tertinggi dihasilkan oleh variasi campuran LDPE 5 PPM yaitu 783,5°C, hal ini dikarenakan adanya penambahan nanokarbon *graphene* mempercepat laju reaksi penguapan *droplet* dan terjadi *microexplosion* pada saat pembakaran, sehingga temperatur nyala api meningkat [22].

Ignition delay time dari masing-masing variasi campuran juga semakin cepat seiring meningkatnya jumlah nanokarbon *graphene*, hal ini disebabkan karena tingginya nilai konduktivitas termal dari *graphene* yang mempercepat penyebaran panas pada *droplet*, sehingga *droplet* dapat menguap dan terbakar pada waktu yang lebih singkat [23].

2. Pengaruh Penambahan Nanokarbon *Graphene* Dengan Minyak Hasil Pirolisis LDPE Terhadap *Burning Rate Droplet*.

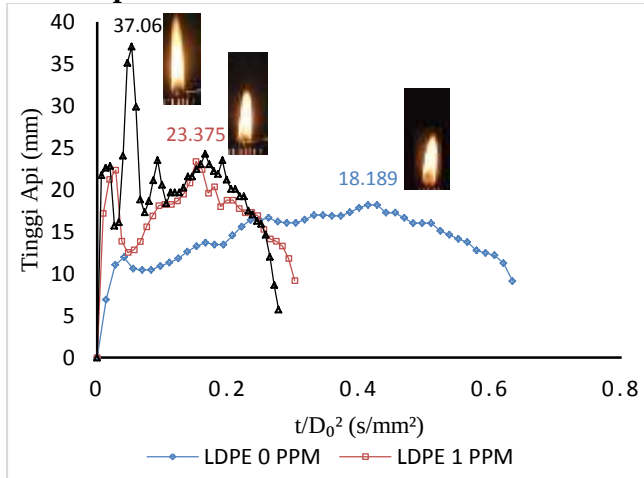


Gambar 3. Grafik *burning rate droplet*

Gambar 3 menunjukkan fase *burning rate* dan nilai *burning rate* dari pembakaran *droplet* masing-masing variasi campuran minyak, pada grafik fase *burning rate* menunjukkan adanya fluktuasi diameter *droplet* yang signifikan pada LDPE 5 PPM dengan nilai dua kali lipat dari diameter awal, hal ini terjadi akibat adanya *microexplosion* pada saat proses pembakaran berlangsung, *microexplosion* terjadi akibat perbedaan titik didih antara minyak LDPE dengan nanokarbon *graphene* sehingga terjadi reaksi pada *droplet* [24]. Adanya *microexplosion* memberikan keuntungan pada pembakaran dikarenakan *droplet* terpecah menjadi lebih kecil, sehingga daerah difusi antara bahan bakar dan udara menjadi lebih luas serta pembakaran berlangsung lebih cepat dengan hasil energi yang lebih besar [25].

Grafik nilai *burning rate* menunjukkan pada campuran LDPE 5 PPM menghasilkan nilai yang paling besar yaitu 4,4 mm²/s. Pertambahan nilai *burning rate* untuk variasi campuran LDPE 0 PPM dan LDPE 5 PPM sebesar 59%, sedangkan dengan LDPE 1 PPM sebesar 39%. Hal ini tidak terlepas dari nilai konduktivitas termal pada nanokarbon *graphene* yang tinggi sehingga mampu memperpendek waktu pembakaran dan menghasilkan nilai *burning rate* yang lebih besar, selain itu gelembung udara yang muncul pada *droplet* juga mempengaruhi ukuran diameter *droplet* pada waktu tertentu [26], [27]. [28] penelitiannya mengungkapkan bahwa *burning rate* dengan nilai yang semakin besar menandakan pembakaran semakin baik, karena nilai *burning rate* berbanding lurus dengan kuadrat diameter *droplet*.

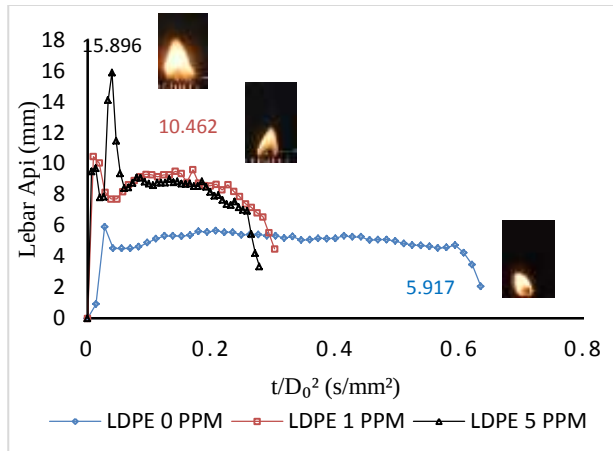
3. Pengaruh Penambahan Nanokarbon *Graphene* Dengan Minyak Hasil Pirolisis LDPE Terhadap Tinggi Api *Droplet*.



Gambar 4. Grafik tinggi api *droplet* terhadap waktu

Gambar 4 menunjukkan tinggi api *droplet* yang dihitung mulai awal nyala api sampai padam, didapatkan tinggi api maksimal pada LDPE 5 PPM dengan nilai 37,06 mm, LDPE 1 PPM 23,37 mm dan LDPE 0 PPM 18,18 mm. Pertambahan nilai tinggi api LDPE 5 PPM mencapai dua kali lipat dari pada LDPE 0 PPM, hal ini membuktikan bahwa penambahan nanokarbon *graphene* terbukti berpengaruh terhadap perubahan tinggi api pada *droplet*. Tinggi api dipengaruhi oleh penguapan pada *droplet*, semakin cepat *droplet* menguap maka api yang dihasilkan akan semakin tinggi [29], [30].

4. Pengaruh Penambahan Nanokarbon *Graphene* Dengan Minyak Hasil Pirolisis LDPE Terhadap Lebar Api *Droplet*.



Gambar 5. Grafik lebar api *droplet* terhadap waktu

Gambar 5 menunjukkan lebar api pada *droplet*, terlihat adanya penambahan lebar api yang dihasilkan seiring dengan adanya penambahan nanokarbon *graphene* pada minyak hasil pirolisis LDPE. Lebar api maksimal yang dihasilkan dari LDPE 5 PPM sebesar 15,89 mm, LDPE 1 PPM 10,46 mm dan LDPE 0 PPM sebesar 5,9 mm. Pertambahan nilai lebar api LDPE 5 PPM mencapai tiga kali lipat dibandingkan dengan LDPE 0 PPM dan dua kali lipat dibandingkan LDPE 1 PPM. *Microexplosion* yang terjadi pada LDPE 5 PPM menyebabkan api semakin lebar dengan bentuk yang tidak beraturan, selain itu penambahan nanokarbon *graphene* dapat mempercepat laju pembakaran pada *droplet* sehingga api yang dihasilkan lebih lebar dibandingkan pada LDPE 0 PPM.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Burning rate* dengan nilai paling besar dihasilkan oleh LDPE 5 PPM dengan kenaikan laju pembakaran sebesar 59% dibandingkan LDPE 0 PPM, hal ini membuktikan bahwa penambahan nanokarbon *graphene* memberikan nilai konduktivitas thermal yang tinggi pada *droplet*. Nilai *burning rate* yang semakin

- besar menandakan bahwa minyak semakin bagus.
2. Penambahan nanokarbon *graphene* terbukti dapat meningkatkan nyala api yang lebih tinggi dan lebar. Semakin tinggi dan lebar api yang dihasilkan menandakan pembakaran *droplet* semakin baik.
 3. Karakteristik pembakaran pada LDPE 5 PPM menunjukkan hasil terbaik, hal ini dikarenakan memiliki *microexplosion* yang lebih besar sehingga mempengaruhi karakteristik yang lainnya, selain itu laju pembakaran yang diperoleh juga lebih besar dengan waktu yang lebih singkat, maka energi yang dihasilkan juga lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Dr. Ena Marlina, S.T., M.T., Bapak Akhmad Faruq Al-Hikami, S.T., M.Sc., Bapak Artono Raharjo, S.T., M.T. dan tim *droplet* yang telah membantu serta berkontribusi besar dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] C. Zou *Et Al.*, "The Role of New Energy in Carbon Neutral," *Petroleum Exploration and Development*, Vol. 48, No. 2, Pp. 480–491, Apr. 2021, Doi: 10.1016/S1876-3804(21)60039-3.
- [2] E. Tvinnereim and E. Ivarsflaten, "Fossil Fuels, Employment, And Support for Climate Policies," *Energy Policy*, Vol. 96, Pp. 364–371, Sep. 2016, Doi: 10.1016/J.Enpol.2016.05.052.
- [3] I. Hanif, "Impact of Fossil Fuels Energy Consumption, Energy Policies, And Urban Sprawl on Carbon Emissions in East Asia And The Pacific: a Panel Investigation," *Energy Strategy Reviews*, Vol. 21, Pp. 16–24, Aug. 2018, Doi: 10.1016/J.esr.2018.04.006.
- [4] M. D.' Amato, L. Cecchi, I. Annesi-Maesano, And G. D'amato, "News on Climate Change, Air Pollution, And Allergic Triggers of Asthma," *J Investig Allergol Clin Immunol*, Vol. 28, No. 2, 2018, Doi: 10.18176/Jiaci.0228i.
- [5] H. Hassan, B. H. Hameed, and J. K. Lim, "Co-Pyrolysis of Sugarcane Bagasse and Waste High-Density Polyethylene: Synergistic Effect and Product Distributions," *Energy*, Vol. 191, Jan. 2020, Doi: 10.1016/J.Energy.2019.116545.
- [6] M. Tripathi, J. N. Sahu, and P. Ganesan, "Effect of Process Parameters on Production of Biochar from Biomass Waste Through Pyrolysis: A Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 55. Elsevier Ltd, Pp. 467–481, Mar. 01, 2016. Doi: 10.1016/J.Rser.2015.10.122.
- [7] C. A. Sevillano, A. A. Pesantes, E. Peña Carpio, E. J. Martínez, And X. Gómez, "Anaerobic Digestion for Producing Renewable Energy-The Evolution of This Technology an a New Uncertain Scenario," *Entropy*, Vol. 23, No. 2. Mdpi Ag, Pp. 1–23, Feb. 01, 2021. Doi: 10.3390/E23020145.
- [8] Y. Nofendri and A. Haryanto, "Perancangan Alat Pirolisis Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar," 2021. [Online]. Available: [Http://Journal.Uta45jakarta.Ac.Id/Index.Php/Jktm/Index](http://Journal.Uta45jakarta.Ac.Id/Index.Php/Jktm/Index)
- [9] C. W. Forsberg, B. E. Dale, D. S. Jones, T. Hossain, A. R. C. Morais, And L. M. Wendt, "Replacing Liquid Fossil Fuels and Hydrocarbon Chemical Feedstocks With Liquid Biofuels From Large-Scale Nuclear Biorefineries," *Appl Energy*, Vol. 298, Sep. 2021, Doi: 10.1016/J.Apenergy.2021.117225.
- [10] R. K. Das and S. K. Sharma, "Fuel Characterization and Performance Parameters Analysis of Diesel Engine Using Blends of Palm Biodiesel and Tyre Pyrolysis Oil," *Journal Of The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol.

- 39, No. 5, Pp. 1491–1497, May 2017, Doi: 10.1007/S40430-016-0696-2.
- [11] R. P. Liestiono, M. Sigit Cahyono, W. Widyawidura, A. Prasetya, and M. Syamsiro, “Karakteristik Minyak dan Gas Hasil Proses Dekomposisi Termal Plastik Jenis Low Density Polyethylene (Ldpe),” 2017.
- [12] N. Novarini, S. Kurniawan, R. Rusdianasari, And Y. Bow, “Kajian Karakteristik dan Energi pada Pirolisis Limbah Plastik Low Density Polyethylene (Ldpe),” *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, Vol. 5, No. 1, P. 61, Apr. 2021, Doi: 10.33795/Jtkl.V5i1.190.
- [13] V. Sharma, A. Kalam Hossain, A. Ahmed, And A. Rezk, “Study on Using Graphene and Graphite Nanoparticles as Fuel Additives in Waste Cooking Oil Biodiesel,” *Fuel*, Vol. 328, Nov. 2022, Doi: 10.1016/J.Fuel.2022.125270.
- [14] L. Syiyamuddin, E. Marlina, and N. Robbi, “Pengaruh Pencampuran Karbon Nano Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Sawit Sebagai Bahan Bakar Biodiesel.”
- [15] A. Hoxie, R. Schoo, And J. Braden, “Microexplosive Combustion Behavior of Blended Soybean Oil and Butanol Droplets,” *Fuel*, Vol. 120, Pp. 22–29, Mar. 2014, Doi: 10.1016/J.Fuel.2013.11.036.
- [16] I. Awasthi, G. Gogos, And T. Sundararajan, “Effects of Size on Combustion of Isolated Methanol Droplets,” *Combust Flame*, Vol. 160, No. 9, Pp. 1789–1802, Sep. 2013, Doi: 10.1016/J.Combustflame.2013.03.023.
- [17] E. R. Firdaus, E. Marlina, And Margianto, “Pengaruh Penambahan Terpentin Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Jarak Sebagai Bahan Bakar Biodiesel,” *Jurnal Teknik Mesin Ring*, Vol. 1, No. 2, Pp. 71–81, 2022.
- [18] M. N. Khalim, E. Marlina, And N. Robbi, “Pengaruh Pencampuran Terpentin Dengan Cpo (Crude Palm Oil) Terhadap Pembakaran Double Droplet,” *Jurnal Teknik Mesin Ring*, Vol. 1, No. 2, Pp. 82–92, 2022.
- [19] 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.
- [20] M. Hidayatur Rohman and E. Marlina, “Pengaruh Penambahan Terpentin Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Bunga Matahari Sebagai Biodiesel”.
- [21] L. Silvia, E. Marlina, And N. Robbi, “Pengaruh Penambahan Minyak Terpentin Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Kelapa Sebagai Bahan Bakar Biodiesel,” Vol. 1, No. 2, Pp. 93–100.
- [22] A. Adib, “Pengaruh Microexplosion Terhadap Karakteristik Pembakaran Bahan Bakar Minyak Jarak Pagar (*Jathropa Curcas L.*) Pada Berbagai Diameter Droplet,” 2013.
- [23] N. K. Mantha and A. R. Abramson, *Thermal Conductivity of Graphene and Graphene Oxide Nanoplatelets*. 2012.
- [24] X. Wang, M. Dai, J. Yan, C. Chen, G. Jiang, And J. Zhang, “Experimental Investigation on The Evaporation and Micro-Explosion Mechanism of *Jatropha* Vegetable Oil (Jvo) Droplets,” *Fuel*, Vol. 258, Dec. 2019, Doi: 10.1016/J.Fuel.2019.115941.
- [25] E. Marlina, W. Wijayanti, L. Yuliaty, And I. N. G. Wardana, “The Role of Pole and Molecular Geometry of Fatty Acids in Vegetable Oils Droplet on Ignition and Boiling Characteristics,” *Renew Energy*, Vol. 145, Pp. 596–603, Jan. 2020, Doi: 10.1016/J.Renene.2019.06.064.
- [26] E. Marlina, M. Basjir, And R. D. Purwati, “The Response of Adding Nanocarbon to The Combustion Characteristic of Crude Coconut Oil (Cco) Droplets,” *Automotive Experiences*, Vol. 5, No. 1, Pp. 68–74, 2022, Doi: 10.31603/Ae.4954.
- [27] 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, Doi: 10.1088/1757-899x/1034/1/012039.
- [28] R. Dewi, I. Wardana, N. Hamidi, J. T. Mesin, And D. Doktor, "Pengaruh Daya Penyinaran Gelombang Mikro Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Jarak Pagar," 2012.
- [29] 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, Doi: 10.1016/J.Fuel.2021.122721.
- [30] E. Marlina, I. N. G. Wardana, L. Yuliati, And W. Wijayanti, "The Effect of Fatty Acid Polarity on The Combustion Characteristics of Vegetable Oils Droplets," In *Iop Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Mar. 2019. Doi: 10.1088/1757-899x/494/1/012036.