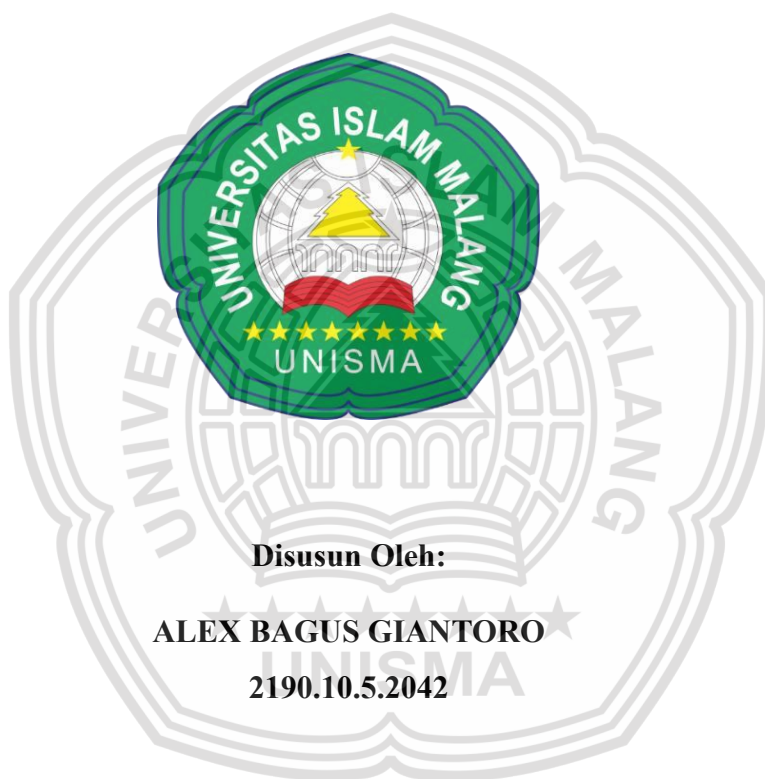




**PENGARUH PENAMBAHAN *FULLERENE* pada MINYAK HASIL
PIROLISIS *POLYPROPYLENE* terhadap KARAKTERISTIK
PEMBAKARAN *SINGLE DROPLET***

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar strata satu (S-1) Jurusan
Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Malang*



Disusun Oleh:

ALEX BAGUS GIANTORO

2190.10.5.2042

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM MALANG
2023**

ABSTRAK

ALEX BAGUS GIANTORO 2023. Pengaruh Penambahan *Fullerene* pada Minyak Hasil Pirolisis *Polypropylene* terhadap Karakteristik Pembakaran *Single Droplet*. Skripsi, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Malang. Dosen Pembimbing: Dr. Ena Marlina, S.T., M.T. dan Artono Raharjo, S.T., M.T.

Bahan bakar cair yang memanfaatkan sampah plastik 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 prosentase 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*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berjalanya waktu perkembangan kehidupan manusia terhadap alat transportasi semakin tinggi. Peningkatan ini terus terjadi diakibatkan semakin meningkatnya kebutuhan primer dengan perubahan zaman yang sangat beragam (Glen Stewart Timu *et al.*, 2012). Sumber energi adalah keperluan yang sangat populer, bahan bakar minyak (BBM) ialah pemegang posisi yang sangat dominan dalam pemenuhan kebutuhan energi dalam segala bidang. Secara garis besar pemakaian konsumsi energi masih ketergantungan pada bahan bakar fosil (Kholiq Imam, 2015). Penelitian mengenai penggunaan sampah plastik menjadi bahan bakar cair dengan berbagai metode pirolisis masih terus dikembangkan sebagai bahan bakar cair terbarukan untuk masa depan (Sarker *et al.*, 2012).

Plastik memiliki berat molekul tinggi yang dibentuk dari proses polimerisasi. Polimerisasi adalah sebuah proses penggabungan sejumlah molekul sederhana (*monomer*) dengan proses kimia akan menghasilkan molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik adalah senyawa polimer dengan unsur penyusun utamanya ialah karbon dan hidrogen. Salah satu bahan baku pembuatan plastik yang digunakan adalah *Naphta*, yaitu bahan dari hasil penyulingan minyak bumi atau gas alam (Kumar *et al.*, 2011).

Polypropylene merupakan hasil dari proses polimerisasi gas propilena yang berbentuk polimer kristalin. Karakteristik propilena memiliki *specific gravity* yang rendah dibandingkan jenis plastik lainnya. *Polypropylene* memiliki titik leleh yang tinggi (190 - 200 °C). Kelebihan *Polypropylene* ialah memiliki ketahanan terhadap bahan kimia (*hemical resistance*) cukup tinggi sedangkan kekurangannya rendah akan ketahanan pukul (*impact strength*) (Iman Mujiarto, 2005).

Table 1.1 Perbandingan formula dan *molecular weight* minyak *polypropylene* dan Jet-A1 (Alhikami & Wang, 2021; Nur Rahmadan Abdilah & Marlina, 2022)

Karakteristik	<i>Polypropylene</i> (PP)	Jet-A1(Aftur)
Formula	$C_{10.5} H_{19.58}$	$C_{10.89} H_{20.74}$
<i>Molecular weight</i> (g/mole)	141,74	154,61

Erti Praputri *et al.*, 2016 dalam publikasi penelitiannya pada jurnal Pengolahan Limbah Plastik *Polypropylene* Sebagai Bahan Bakar Minyak (BBM) Dengan Proses *Pyrolysis*. Pada penelitian tersebut, dalam proses konversi plastik *polypropylene* dengan metode pembakaran dengan suhu 200°C. Minyak polipropilena mengandung senyawa yang dominan untuk penyusun bahan bakar jenis solar yaitu ikatan karbon C₈ hingga C₁₁. Minyak hasil pirolisis dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar tunggal atau bahan substitusi. Minyak yang dihasilkan terdapat kandungan parafin, isoparafin, olefin, *naphthene* dan aromatik sehingga dapat dimanfaatkan untuk bahan bakar (Gina Lova Sari, 2017).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Ketut Puja *et al.*, 2018 tentang pembentukan serat karbon nano dari tempurung kelapa. Penelitian ini menyatakan karbon nano terdapat sifat semikonduktor, penghantar panas yang baik dan perlakuan karbon berukuran nano lebih baik dibandingkan material berukuran makro atau mikro. Material ini memiliki gaya tarik menarik dan kemampuan menyeleksi tingkat tinggi dalam sifat kimia, fisika, dan biologi. Material karbon terdapat beberapa jenis allotrop yaitu memiliki bentuk material yang berbeda struktur ikatan kimianya, di antaranya grafit, intan, *black carbon*, *fullerene*, dan *carbon nano tube* (CNT) (Cui & Zhu, 2010).

Fullerene bisa disebut sebagai molekul yang memiliki sifat fisik yang stabil, kuat dan bebentuk sangkar yang simetris terdiri dari atom karbon (W. Kratschmer *et al.*, 1990). Terdapat didalamnya unsur karbon murni dengan jumlah 60 atom atau lebih, dimana antara satu dengan lainnya dapat terhubung sehingga memiliki jenis orbital *sp³* Material ini memiliki jenis *fullerene* seperti C₆₀, C₇₀, C₁₂₀, dan lain-lain. Sampai sekarang C₆₀ menjadi penemuan material yang populer diantara jenisnya (Giacalone & Martín, 2006).

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan diatas salah satu cara yang digunakan untuk memperbaiki karakteristik serta meningkatkan laju pembakaran dari minyak pirolisis apabila dengan pencampuran nanokarbon pada variasi tertentu, akan tetapi penelitian mengenai penambahan campuran nanokarbon pada minyak hasil pirolisis dengan metode singgel *droplet* belum pernah diteliti. Oleh karena itu peneliti ingin melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh penambahan *Fullerene* Pada Minyak Hasil Pirolisis *Polypropylene* Terhadap Karakteristik

Pembakaran *Singel Droplet*”. Karena penambahan *fullerene* nanokarbon membuat ikatan pada molekul bahan bakar lebih reaktif dan mudah terurai sehingga mengakibatkan lebih cepat bereaksi pembakarannya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penambahan *fullerene* pada minyak hasil pirolisis *polypropylene* terhadap karakteristik pembakaran *single droplet* yang meliputi temperatur *droplet*, tinggi api, lebar api, dan *burning rate*?

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan penelitian ini perlu di beri batasan supaya pembahasannya lebih terarah dan tidak meluas, yaitu sebagai berikut:

1. Produksi *fullerene* nanokarbon tidak dibahas dalam skripsi maupun penelitian.
2. Produksi minyak hasil pirolisis *polypropylene* tidak dibahas.
3. Uji laboratorium pada bahan yang digunakan tidak dibahas.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan *fullerene* nanokarbon pada minyak hasil pirolisis *Polypropylene* terhadap karakteristik pembakaran *single droplet*, serta menciptakan campuran bahan bakar cair terbarukan yang ramah lingkungan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah wawasan mengenai karakteristik pembakaran *single droplet*.
2. Bahan referensi pengembangan sumber energi atau bahan bakar terbarukan.

Terciptanya campuran bahan bakar cair minyak hasil pirolisis sebagai energi terbarukan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Droplet* life time untuk PP 5 PPM dengan kenaikan 6% bila dibandingkan PP 0 PPM. Sehingga penambahan *fullerene* mengakibatkan fenomena *microexplosion* dan relevansi peningkatan laju penguapan dengan cepat.
2. Visualisasi pada nyala api menunjukkan peningkatan temperatur suhu maksimal yang dihasilkan, sehingga penambahan *fullerene* dengan prosentase rendah memiliki konduktifitas termal untuk menghantarkan panas ke titik pusat *droplet* dan menambahkan energi panas kedalam penguapan bahan bakar yang menjadikan penguapannya semakin besar, selain itu munculnya fenomena *microexplosion* yang dapat mempengaruhi laju pembakarannya.
3. *Burning rate* yang diperoleh menunjukkan bahwa PP 1 PPM memiliki laju pembakaran lebih cepat dan baik sekitar 42 % dan pada PP 5 PPM 41 % membandingkan dengan PP 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 serta tidak meninggalkan residu karbon pada fase akhir api menyala (*dry out phase*).
4. Bentuk tinggi dan lebar api pada PP 1 PPM lebih ideal dan tidak berbeda jauh dengan PP 5 PPM secara signifikan. 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.
5. Karakteristik bahan bakar yang menunjukkan hasil terbaik adalah PP 1 PPM, karena dari laju penguapan dan laju pembakaran tidak berbeda jauh secara peningkatan. Ditinjau dari dimensi tinggi api dan lebar api yang tidak memberikan perbedaan yang jauh, disebabkan daya ledak *microexplosion* pada bahan bakar cukup tinggi. Sehingga apabila diaplikasikan ke dalam mesin akan memberikan tenaga yang besar dan mengurangi emisi gas buangnya.

5.2 Saran

Saran pada penelitian ini antara lain adalah:

1. Penggunaan katalis nanokarbon berbagai jenis bisa divariasikan agar mendapatkan hasil yang lebih sempurna, misalnya nanokarbon metal dan sebagainya.
2. Menambahkan variasi campuran dengan komposisi seragam, lebih dari 1 PPM namun kurang dari 5 PPM.
3. Pengujian yang beragam pada variabel penelitian seperti uji viskositas, *flash point*, dan uji kinerja pada mesin agar hasil penelitian lebih maksimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Abbas-Abadi, M. S., Haghghi, M. N., Yeganeh, H., & McDonald, A. G. (2014). Evaluation of pyrolysis process parameters on *polypropylene* degradation products. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *109*, 272–277. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.05.023>
- Aboalhamayie, A., Festa, L., & Ghamari, M. (2019). Evaporation rate of colloidal droplets of jet fuel and carbon-based nanoparticles: Effect of thermal conductivity. *Nanomaterials*, *9*(9). <https://doi.org/10.3390/nano9091297>
- 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. <https://doi.org/10.1080/15435075.2014.880146>
- Aisien, E. T., Otuya, I. C., & Aisien, F. A. (2021). Thermal and catalytic pyrolysis of waste *polypropylene* plastic using spent FCC catalyst. *Environmental Technology and Innovation*, *22*. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101455>
- Ari Komang Darmapatni, Gunapria, Basori, A., Ni, D., & Suaniti, M. (2016). PENGEMBANGAN METODE GC-MS UNTUK PENETAPAN KADAR ACETAMINOPHEN PADA SPESIMEN RAMBUT MANUSIA. In *Jurnal Biosains Pascasarjana* (Vol. 18, Issue 3).
- Bayu Hindro Prasetyo, Gatut Rubiono, & Untung Suryadhianto. (2020). Pengaruh Jumlah Sudu Pengaduk Terhadap FIX_bagian mixing. *Journal V-Mac*, *Vol.5No1: 12*.
- Bidir, M. G., Millerjothi, N. K., Adaramola, M. S., & Hagos, F. Y. (2021). The role of nanoparticles on biofuel production and as an additive in ternary blend fuelled diesel engine: A review. In *Energy Reports* (Vol. 7, pp. 3614–3627). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.05.084>
- Bridgwater, A. V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, *38*, 68–94. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.048>
- Burra, K. G., & Gupta, A. K. (2018). Synergistic effects in steam gasification of combined biomass and plastic waste mixtures. *Applied Energy*, *211*, 230–236. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.130>
- 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.
- Erti Praputri, M ulyazmi, Ellyta Sari, & Munas Martynis. (2016). *Pengolahan Limbah Plastik Polypropylene (Teori Pendukung Baru) GCMS Fix*.

- Ghamari, M., & Ratner, A. (2017). Combustion characteristics of colloidal *droplets* of jet fuel and carbonbased nanoparticles. *Fuel*, *188*, 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.10.040>
- Giacalone, F., & Martín, N. (2006). *Fullerene* polymers: Synthesis and properties. In *Chemical Reviews* (Vol. 106, Issue 12, pp. 5136–5190). <https://doi.org/10.1021/cr068389h>
- Gina Lova Sari. (2017). *KAJIAN POTENSI PEMANFAATAN SAMPAH PLASTIK MENJADI BAHAN BAKAR CAIR*. 3(1), 6–13. www.al-ard.uinsby.ac.id
- 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.
- Iman Mujiarto. (2005). *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Adiktif*.
- 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*. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121160>
- Islami, A., Sutrisno, S., & Heriyanti, H. (2019). Pirolisis sampah plastik jenis polipropilena (PP) menjadi bahan bakar cair-premium-like. *JC-T (Journal Cis-Trans): Jurnal Kimia Dan Terapannya*, *3*(2), 1–6.
- Kalargaris, I., Tian, G., & Gu, S. (2018). Experimental characterisation of a diesel engine running on *polypropylene* oils produced at different pyrolysis temperatures. *Fuel*, *211*, 797–803. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.09.101>
- Ketut Puja, I. G., Wardana, I. N. G., Irawan, Y. S., & Choiron, M. A. (2018a). The role of Carica papaya latex and aluminum oxide on the formation of carbon nanofibre made of coconut shell. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, *9*(3). <https://doi.org/10.1088/2043-6254/aad1a9>
- Ketut Puja, I. G., Wardana, I. N. G., Irawan, Y. S., & Choiron, M. A. (2018b). The role of Carica papaya latex and aluminum oxide on the formation of carbon nanofibre made of coconut shell. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, *9*(3). <https://doi.org/10.1088/2043-6254/aad1a9>
- Kholiq Imam. (2015). *Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM*.
- Kroto, H. W., Heath, J. R., O'Brien, S. C., Curl, R. F., & Smalley, R. E. (1985). *C60: Buckminsterfullerene*. *318*(6042), 162–163.
- 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).

- Liu, J. Z., Chen, B. H., Wu, T. T., Yang, W. J., & Zhou, J. H. (2019). Ignition and combustion characteristics and agglomerate evolution mechanism of aluminum in nAl/JP-10 nanofluid fuel. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, *137*, 1369–1379.
- Ma, C., Yu, J., Wang, B., Song, Z., Xiang, J., Hu, S., Su, S., & Sun, L. (2017). Catalytic pyrolysis of flame retarded high impact polystyrene over various solid acid catalysts. *Fuel Processing Technology*, *155*, 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.01.018>
- Ma, H., Shieh, K.-J., & Qiao, T. X. (2006). Study of Transmission Electron Microscopy (TEM) and Scanning Electron Microscopy (SEM). In *Nature and Science* (Vol. 4, Issue 3).
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128319>
- Moh Hidayatur Rohman. (2022). *Pengaruh Penambahan Terpentin terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Bunga Matahari sebagai Biodisel.*
- Mosadegh, S., Ghaffarkhah, A., van der Kuur, C., Arjmand, M., & Kheirkhah, S. (2022). Graphene oxide doped ethanol *droplet* combustion: Ignition delay and contribution of atomization to burning rate. *Combustion and Flame*, *238*. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2021.111748>
- Moussa, O., Tarlet, D., Massoli, P., & Bellettre, J. (2018). Parametric study of the micro-explosion occurrence of W/O emulsions. *International Journal of Thermal Sciences*, *133*, 90–97.
- Muntaha, T. (2015). *Pengaruh Penambahan Bioadiktif Minyak Terpentin Sebagai Campuran Premium terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas Buang pada Sepeda Motor.*
- Nagaraja, S. S., Kukkadapu, G., Panigrahy, S., Liang, J., Lu, H., Pitz, W. J., & Curran, H. J. (2020). A pyrolysis study of allylic hydrocarbon fuels. *International Journal of Chemical Kinetics*, *52*(12), 964–978. <https://doi.org/10.1002/kin.21414>
- Nagaraja, S. S., Power, J., Kukkadapu, G., Dong, S., Wagnon, S. W., Pitz, W. J., & Curran, H. J. (2021). A *single* pulse shock tube study of pentene isomer pyrolysis. *Proceedings of the Combustion Institute*, *38*(1), 881–889. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2020.06.069>
- Pal, S., Kumar, A., Sharma, A. K., Ghodke, P. K., Pandey, S., & Patel, A. (2022). Recent Advances in Catalytic Pyrolysis of Municipal Plastic Waste for the Production of Hydrocarbon Fuels. In *Processes* (Vol. 10, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/pr10081497>

- Pari, G., Santoso, A., Hendra, D., Maddu, A., Rachmat, M., Harsini, M., Heryanto, T., Darmawan, S., & Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan, P. (2013). KARAKTERISASI STRUKTUR NANO KARBON DARI LIGNOSELLULOSA (Characterization on the Structures of Ligno-cellulose Nano Carbon) 1) 1) 2) 2) 3) 3) 4) 5) 6). *Maret*, 31(1), 75–91.
- Rajendran, K., Lin, R., Wall, D. M., & Murphy, J. D. (2019). Influential aspects in waste management practices. In *Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches* (pp. 65–78). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64200-4.00005-0>
- Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(1), 69–78.
- 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. <https://doi.org/10.1080/09593330.2012.676075>
- Sikarwar, V. S., Zhao, M., Clough, P., Yao, J., Zhong, X., Memon, M. Z., Shah, N., Anthony, E. J., & Fennell, P. S. (2016). An overview of advances in biomass gasification. In *Energy and Environmental Science* (Vol. 9, Issue 10, pp. 2939–2977). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c6ee00935b>
- Singh, G., Esmailpour, M., & Ratner, A. (2020). Effect of carbon-based nanoparticles on the ignition, combustion and flame characteristics of crude oil *droplets*. *Energy*, 197. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117227>
- Taer, E., Oktaviani, T., Taslim, R., & Farma, R. (2015). *Karakteristik Sifat Fisik Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan Variasi Kosentrasi Aktivator sebagai Kontrol Kelembaban. Volume IV*. <http://snf-unj.ac.id/kumpulan-prosiding/snf2015/>
- W. Kratschmer, Lowell D. Lamb, K. Fostiropoulos, & Donald R. Huffman. (1990). *Solid C60 _ a new Form of carbon (Penting)*. Vol.347, 354.
- Wang, J., Qiao, X., Ju, D., Wang, L., & Sun, C. (2019). Experimental study on the evaporation and micro-explosion characteristics of nanofuel *droplet* at dilute concentrations. *Energy*, 183, 149–159.
- Wang, S., Xia, P., Zhang, L., Yu, L., Liu, H., Meng, Q., Liu, S., Li, J., Song, Q., Wu, J., Wang, W., Yang, L., Xiao, Y., & Xu, C. (2019). Systematical identification of breast cancer-related circular rna modules for deciphering circrna functions based on the non-negative matrix factorization algorithm. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(4). <https://doi.org/10.3390/ijms20040919>
- Wang, Z., Yuan, B., Huang, Y., Cao, J., Wang, Y., & Cheng, X. (2022). Progress in experimental investigations on evaporation characteristics of a fuel *droplet*. In *Fuel*

Processing Technology (Vol. 231). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107243>

Yi, P., Jia, M., Long, W., Qiao, L., Yang, T., & Feng, L. (2017). Evaporation of pure and blended *droplets* of diesel and alcohols (C2–C9) under diesel engine conditions. *Numerical Heat Transfer; Part A: Applications*, 71(3), 311–326.
<https://doi.org/10.1080/10407782.2016.1264749>

Zhang, Y., Ji, G., Chen, C., Wang, Y., Wang, W., & Li, A. (2020). Liquid oils produced from pyrolysis of plastic wastes with heat carrier in rotary kiln. *Fuel Processing Technology*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106455>

