

**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN *SINGLE DROPLET*
BIODIESEL MINYAK KEDELAI YANG DIPRODUKSI
MENGUNAKAN KATALIS DAUN PEPAYA**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu prasyarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik**



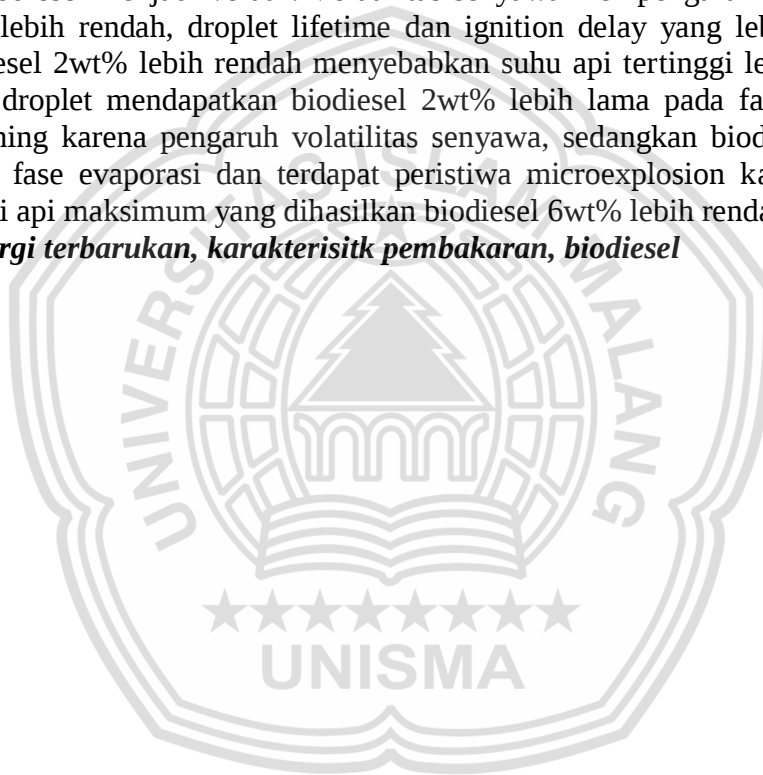
**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM MALANG**

2025

RINGKASAN

Penggunaan bahan bakar fosil menyebabkan kenaikan pencemaran lingkungan, sehingga diperlukan energi alternatif. Biodiesel merupakan energi alternatif yang berasal dari minyak nabati seperti minyak kedelai yang sudah melalui proses transesterifikasi untuk mengubah trigliserida menjadi FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*). Penambahan katalis heterogen seperti daun pepaya dilakukan untuk mempercepat proses reaksi kimia. Penelitian ini menggunakan biodiesel yang diproduksi dengan penambahan katalis daun pepaya sebanyak 2% (biodiesel 2wt%) dan 6% (biodiesel 6wt%), Biodiesel diuji GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*), uji viskositas dan metode *single droplet* untuk mengetahui pengaruh penambahan katalis pada proses produksi terhadap karakteristik pembakaran. Hasil GC-MS biodiesel 6wt% memiliki kandungan FAME yang lebih tinggi dengan kandungan paling dominan adalah methyl linoleate yang merupakan senyawa non-polar, sehingga memiliki gaya Van der Waals yang lemah menyebabkan biodiesel menjadi volatil. Volatilitas senyawa mempengaruhi temperatur penyalaan yang lebih rendah, droplet lifetime dan ignition delay yang lebih singkat. Viskositas biodiesel 2wt% lebih rendah menyebabkan suhu api tertinggi lebih rendah. Hasil uji *single droplet* mendapatkan biodiesel 2wt% lebih lama pada fase transient heating dan burning karena pengaruh volatilitas senyawa, sedangkan biodiesel 6wt% lebih lama pada fase evaporasi dan terdapat peristiwa microexplosion karena tinggi viskositas. Tinggi api maksimum yang dihasilkan biodiesel 6wt% lebih rendah.

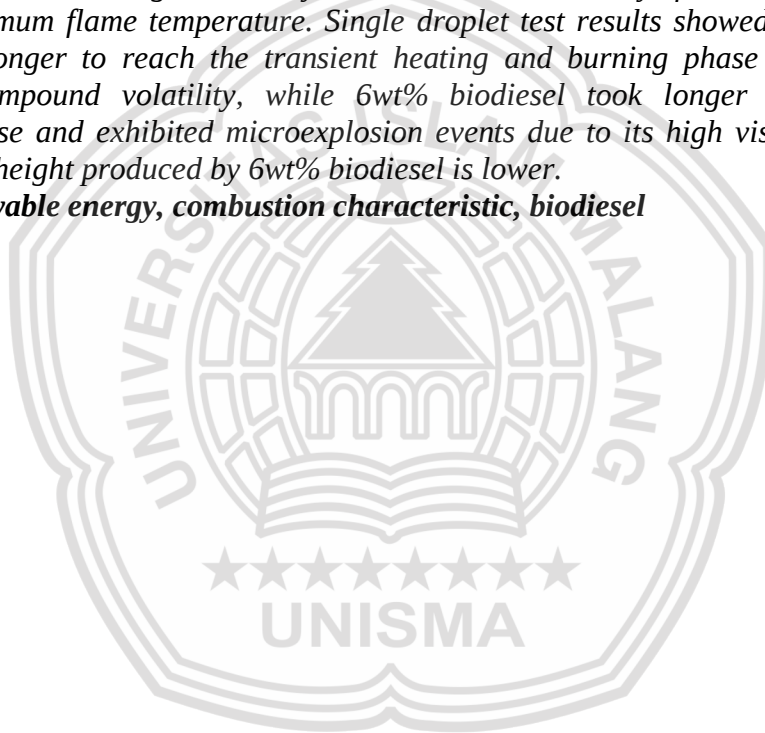
Kata kunci: Energi terbarukan, karakteristik pembakaran, biodiesel



SUMMARY

The use of fossil fuels causes an increase in environmental pollution, making alternative energy sources necessary. Biodiesel is an alternative energy source derived from vegetable oils such as soybean oil that has undergone a transesterification process to convert triglycerides into FAME (Fatty Acid Methyl Ester). The addition of heterogeneous catalysts such as papaya leaves is done to accelerate the chemical reaction process. This study uses biodiesel produced with the addition of 2% (biodiesel 2wt%) and 6% (biodiesel 6wt%) papaya leaf catalyst. Biodiesel was tested using GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry), viscosity tests, and the single droplet method to determine the effect of catalyst addition on the production process and its impact on combustion characteristics. The GC-MS results for 6wt% biodiesel show a higher FAME content, with methyl linoleate being the most dominant compound. Methyl linoleate is a non-polar compound, resulting in weak Van der Waals forces that make the biodiesel volatile. The volatility of a compound affects the lower ignition temperature, shorter droplet lifetime, and shorter ignition delay. The 2wt% lower viscosity of biodiesel resulted in a lower maximum flame temperature. Single droplet test results showed that 2wt% biodiesel took longer to reach the transient heating and burning phase due to the influence of compound volatility, while 6wt% biodiesel took longer during the evaporation phase and exhibited microexplosion events due to its high viscosity. The maximum flame height produced by 6wt% biodiesel is lower.

Keyword: Renewable energy, combustion characteristic, biodiesel



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan emisi gas buang yang menyebabkan terbentuknya efek gas rumah kaca sebagai salah satu faktor globalisasi (Ke Jiang *et al.*, 2024). Berdasarkan data dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) tahun 2023, emisi gas buang (CO₂) yang dihasilkan di seluruh dunia mencapai 40 Gt/tahun yang berasal dari sektor industri, sektor transportasi, dan sektor pertanian. Pencemaran udara di Indonesia sebesar 85% disebabkan oleh emisi gas buang dari kendaraan bermotor (Marlita D. *et al.*, 2014), sehingga diperlukan pengganti bahan bakar fosil yang rendah emisi gas buang.

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang dapat diperbarui dan berkelanjutan yang berasal dari limbah pertanian, peternakan, dan limbah sampah plastik. Emisi gas buang yang dihasilkan dari campuran biodiesel dengan bahan bakar solar lebih sedikit menghasilkan CO, CO₂, NO_x, dan HC dibandingkan dengan bahan bakar solar murni (Elkelawy M. *et al.*, 2019). Pembakaran biodiesel menghasilkan nyala api yang tinggi dan tidak meninggalkan sisa pembakaran (Niraj *et al.*, 2021). Menurut (Amit *et al.*, 2023) biodiesel merupakan energi alternatif yang dapat digunakan tanpa harus mengganti mesin diesel, sehingga biodiesel dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar solar. Bahan bakar biodiesel dapat diproduksi melalui beberapa proses seperti pirolisis, gasifikasi, dan lain-lain.

Penelitian (Hartanto *et al.*, 2023) menggunakan minyak kedelai dengan katalis daun pepaya menggunakan metode transesterifikasi untuk memproduksi bahan bakar biodiesel. Proses ini dipilih agar lebih banyak *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) yang terbentuk, sehingga pembakaran pada biodiesel akan terpengaruh. Pembakaran merupakan mekanisme perubahan ikatan (energi kimia) menjadi energi panas dan energi mekanik dengan syarat adanya bahan bakar, udara (O₂ dan N₂), dan sumber panas (Winterbone E., 1997). Sitorus *et al.*, (2018) melakukan penelitian mengenai karakteristik pembakaran biodiesel campuran solar menghasilkan kesimpulan semakin tinggi campuran biodiesel pada solar maka emisi gas buang yang dihasilkan semakin sedikit. Penelitian (Pratama *et al.*, 2023) menggunakan minyak nabati (kacang tanah, kedelai, kayu putih, kemiri) untuk mengetahui nyala api pada proses pembakaran mendapatkan hasil minyak kedelai memiliki tinggi api kedua

terbesar dan titik nyala terendah pada percobaan. Ansyah *et al.*, (2022) melakukan penelitian mengenai pencampuran biodiesel minyak kedelai dengan solar menggunakan metode droplet yang memiliki hasil semakin tinggi pencampuran maka semakin meningkat *burning rate*, *ignition delay*, dan *flash point temperature* pada bahan bakar. Penelitian menggunakan metode *single droplet* umum dilakukan untuk mengetahui karakteristik pembakaran bahan bakar, karena metode ini dapat mengimplementasikan proses pembakaran yang terjadi pada pembakaran difusi.

Single droplet adalah suatu metode analisa yang sederhana, murah untuk mengetahui karakteristik bahan bakar berdasar properties yang dimiliki bahan bakar (Hoxie *et al.*, 2014). Metode *droplet* dilakukan untuk memvisualisasikan pembakaran yang terjadi pada ruang bakar dengan sampel berupa tetesan bahan bakar. Reaksi pembakaran *droplet* terdapat peristiwa *droplet fluctuation* yang disebabkan oleh kondisi jenuh pada bahan bakar yang diakibatkan oleh rasio kejenuhan (*saturated ratio*) (Kulmala M. *et al.*, 1997). Peristiwa *droplet fluctuation* dapat terjadi karena perbedaan temperatur dari proses kristalisasi hingga menuju terbakar (Reiner J. *et al.*, 2023). Pengujian *droplet* umum dilakukan pada bahan bakar alternatif seperti biodiesel minyak kedelai dengan katalis daun pepaya karena metode *single droplet* lebih sederhana dan dalam pengujiannya merepresentasikan pembakaran pada mesin.

Penelitian sebelumnya (Subagyo *et al.*, 2022) semakin tinggi pencampuran biodiesel minyak kedelai dengan solar maka akan semakin kecil api yang dihasilkan dan semakin lama untuk mencapai titik nyala. Hal ini disebabkan oleh rantai trigliserida yang ada pada minyak kedelai menghambat atau memperlama nyala api. Penelitian sebelumnya (Muelas A. *et al.*, 2019) melakukan percobaan menggunakan *Used Cooking Oil* (UCO) yang berbahan dasar minyak kedelai untuk mengetahui karakteristik pembakaran dengan metode *single droplet* mendapatkan hasil semakin tinggi pencampuran UCO semakin kecil api yang dihasilkan dan *droplet* lebih stabil. Pengujian metode *single droplet* pada biodiesel minyak kedelai hasil transesterifikasi dengan penambahan katalis daun pepaya dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan katalis pada proses produksi terhadap karakteristik pembakaran produk, yang masih sedikit pembahasannya pada literatur.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana karakteristik pembakaran yang meliputi laju evaporasi, *droplet lifetime*, *droplet* dan *flame* temperatur, *ignition delay*, *combustion rate*, dan *flame evolution* dari biodiesel minyak kedelai yang diproduksi dengan katalis daun pepaya menggunakan metode *single droplet*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Tidak melakukan uji kualitas biodiesel, seperti kadar air.
2. Tidak melakukan uji FTIR pada biodiesel minyak kedelai.
3. Tidak menghitung besar energi panas dan energi mekanik yang dihasilkan..

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan katalis pada proses produksi biodiesel minyak kedelai pada karakteristik pembakaran biodiesel minyak kedelai yang diproduksi dengan katalis daun pepaya.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat riset adalah sebagai salah satu pertimbangan terkait perkembangan pemanfaat biodiesel minyak kedelai sebagai energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (solar). Hasil penelitian mengenai karakterisitk pembakaran menggunakan metode *droplet* dapat menjadi sumber referensi untuk penelitian mendatang terutama pada penelitian mengenai bahan bakar dan pembakaran, serta sebagai bentuk berbagi ilmu pengetahuan terhadap sesama peneliti. Penelitian ini juga didedikasikan sebagai salah satu kontribusi dalam keberlanjutan energi untuk masa depan yang lebih cerah (SDGs Category 7).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukannya percobaan tentang pengaruh penambahan katalis pada proses produksi biodiesel terhadap karakteristik pembakaran yang diuji dengan menggunakan metode *droplet* dapat disimpulkan bahwa:

- A. Kandungan biodiesel 2wt% dan biodiesel 6wt% diuji GC-MS dan memberikan hasil biodiesel 2wt% memiliki kandungan FAME sebesar 72,85% dan biodiesel 6wt% memiliki kandungan FAME sebesar 95,08%. Kandungan yang mendominasi pada kedua biodiesel sama, yaitu *methyl linoleate*, *methyl palmitate*, *methyl stearate*, dan *methyl elaidate*. Keempat senyawa tersebut merupakan senyawa non-polar yang mudah menguap (*volatile*).
- B. Biodiesel 2wt% memiliki rata-rata suhu penyalan sebesar 483,048°C sedangkan biodiesel 6wt% memiliki rata-rata suhu penyalan sebesar 444,2076°C. Penambahan katalis dalam proses produksi biodiesel mempengaruhi rendah tingginya suhu penyalan bahan bakar biodiesel.
- C. Biodiesel 2wt% memiliki rata-rata temperatur api sebesar 889,25°C dan rata-rata masa hidup *droplet* 10,13s, sedangkan biodiesel 6wt% memiliki rata-rata temperatur api sebesar 937,94°C dengan rata-rata masa hidup *droplet* 7,393s.
- D. *Ignition delay* yang terjadi pada biodiesel 2wt% memiliki rata-rata 9,239s/mm² dibandingkan dengan biodiesel 6wt% yang memiliki rata-rata 7,297s/mm². Pengaruh penambahan katalis dalam proses produksi biodiesel pada karakteristik pembakaran adalah dapat mempersingkat waktu tunda penyalan.
- E. Biodiesel 2wt% memiliki *droplet lifetime* yang lebih lama dibandingkan dengan biodiesel 6wt%. Pengaruh kandungan senyawa volatil dapat mempengaruhi cepat dan tidaknya biodiesel menguap dan terbakar hingga habis.
- F. *Evaporation-rate* dari biodiesel 2wt% didapatkan sebesar 0,07297±0,0104s/mm² selama 2,097s/mm² dan biodiesel 6wt% memiliki laju evaporasi sebesar 0,16645±0,0187s/mm² selama 2,5108s/mm².
- G. *Burning-rate* dari biodiesel 2wt% didapatkan sebesar 1,47895±0,08483s/mm² selama 0,746s/mm² dan *burning-rate* dari biodiesel 6wt% sebesar 1,06693±0,07957s/mm² selama 0,4955s/mm². Pengaruh penambahan katalis

dalam proses produksi pada karakteristik pembakaran adalah mempersingkat *burning rate* biodiesel.

- H. Api yang dihasilkan biodiesel 2wt% tertinggi sebesar 37,599mm, sedangkan pada biodiesel 6wt% memiliki api tertinggi sebesar 31,722mm. Pengaruh penambahan katalis dalam proses produksi pada karakteristik pembakaran adalah mengurangi tinggi api maksimum pada bahan bakar biodiesel.
- I. Fenomena yang terjadi pada pengujian *droplet* biodiesel 2wt% adalah terjadinya banyak *microexplosion* saat proses *burning* (terbakar), sedangkan pada biodiesel 6wt% terjadi peristiwa *microexplosion* dua kali saat proses *steady-state* dan satu kali saat proses *burning*. Peristiwa *microexplosion* dikaitkan dengan adanya percampuran antara bahan bakar (biodiesel) dengan beberapa katalis yang tidak tercampur secara sempurna sehingga terjadinya senyawa *impurity* (tidak murni) yang menyebabkan senyawa menjadi volatil yang tidak diinginkan.

5.2 Saran

Kepada peneliti selanjutnya saya sarankan penggunaan alat ukur dikalibrasikan sesuai dengan alat perekam yang digunakan. Pengujian *droplet* dilakukan sebanyak mungkin untuk menghindari terjadinya *error* pada saat pengolahan data. Perkembangan energi hijau dilingkungan untuk mengurangi penggunaan energi fosil sangat penting sehingga percobaan pemanfaatan bahan bakar yang berasal dari organik perlu ditingkatkan. Penggunaan metode *droplet* dilakukan untuk mengetahui dan mengamati secara langsung proses pembakaran bahan bakar biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Hoxie, R. Schoo, J. Braden, Microexplosive combustion behavior of blended soybean oil and butanol droplets, *Fuel*, Volume 120, 2014, Pages 22-29, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.11.036>.
- Álvaro Muelas, Pilar Remacha, Javier Ballester, Droplet combustion and sooting characteristics of UCO biodiesel, heating oil and their mixtures under realistic conditions, *Combustion and Flame*, Volume 203, 2019, Pages 190-203, ISSN 0010-2180, <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2019.02.014>.
- Amit Kumar Paswan., Sujeet Kesharvani., Kavita Gidwani Suneja., Gaurav Dwivedi., 2023. Performance and Emissions Characteristics of CI Engine Fueled with Blends of Diesel and Polanga Biodiesel, *Materials Today: Proceedings*, Volume 78, Part 3, Pages 647-655. ISSN 2214-7853. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.12.069>.
- Andrea Nobili, Alessio Frassoldati, Tiziano Faravelli, Alberto Cuoci, Soot formation in combustion of spherically symmetric isolated fuel droplets with different initial diameters, *Fuel*, Volume 363, 2024, 130403, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.130403>.
- Ansyah, P.R. and Aminanto, R.S., 2022. Influence of Mixture Composition Between Soybean Oil and Diesel Fuel on Characteristic of Droplets Combustion.
- Desmond E. Winterbone, 15 - Combustion and flames, Editor(s): Desmond E. Winterbone, *Advanced Thermodynamics for Engineers*, Butterworth-Heinemann, 1997, Pages 291-315, ISBN 9780340676998, <https://doi.org/10.1016/B978-034067699-8/50017-X>.
- Hartato, C.Y., Marlina, E. and Robbi, N., 2023. Penambahan Persentase Daun Pepaya Sebagai Katalis Heterogen Terhadap Kualitas Biodiesel Minyak Kedelai dengan Metode Transesterifikasi. *Jurnal Teknik Mesin*, 20(1), p.48. <https://jim.unisma.ac.id/index.php/jts/article/view/22018/16440>.
- IRAWAN, Herman; AGUSTINA, Eka Febryanti; TISNADJAJA, Djadjat. Pengaruh Konsentrasi Pelarut Etanol Terhadap Profil Kromatogram Dan Kandungan Senyawa Kimia Dalam Ekstrak Daun Pepaya (*Carica Papaya L.*) Dan Daun Patikan Kebo (*Euphorbia Hirta L.*). **PROSIDING SEMINAR NASIONAL KIMIA**, [S.l.], p. 40-45, dec. 2019. Available at: <<https://jurnal.kimia.fmipa.unmul.ac.id/index.php/prosiding/article/view/857>>.

- Ivanov, D. S., Lević, J. D, dan Sredanović, S. A. 2010. Fatty acid composition of various soybean products. *Food and Feed Research* 2:65-70
- J. Reiner, E.M. Walter, H.P. Karbstein, Assessment of droplet self-shaping and crystallization during temperature fluctuations exceeding the melting temperature of the dispersed phase, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Volume 656, Part B, 2023, 130498, ISSN 0927-7757, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.130498>.
- Joni Prasetyo, Diah Kusmardini, Tantri Nailis Sa'adah, Dewi Puspita Sari, Deliana Dahnum, Nesha Adelia, Ely Kurniati, Ahmad Wibisana, Herman Hidayat, Sun Theo Constan Lotebulo Ndruru, Optimization of used cooking oil for biodiesel using CaO-derived of bovine bone catalyst, *South African Journal of Chemical Engineering*, Volume 48, 2024, Pages 95-102, ISSN 1026-9185, <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.01.008>.
- Ke Jiang., Ran Xing., Zhihan Luo., Wenxuan Huang., Fan Yi., Yatai Men., Nan Zhao., Zhaofeng Chang., Jinfeng Zhao., Bo Pan., Guofeng Shen., 2024. Pollutant Emissions From Biomass Burning: A Review On Emission Characteristics, Environmental Impacts, and Research Perspectives, *Particuology*, Volume 85, Pages 296-309, ISSN 1674-2001, <https://doi.org/10.1016/j.partic.2023.07.012>.
- Kesheng Meng, Lin Bao, Yubao Shi, Kai Han, Qizhao Lin, Chengjun Wang, Experimental investigation on ignition, combustion and micro-explosion of RP-3, biodiesel and ethanol blended droplets, *Applied Thermal Engineering*, Volume 178, 2020, 115649, ISSN 1359-4311, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115649>.
- MA, Fangrui; HANNA, Milford A. Biodiesel production: a review. *Bioresource technology*, 1999, 70.1: 1-15.
- MARCHETTI, J. M.; MIGUEL, V. U.; ERRAZU, A. F. Possible methods for biodiesel production. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2007, 11.6: 1300-1311.
- Markku Kulmala, Üllar Rannik, Evgeni L. Zapadinsky, Charles F. Clement, The effect of saturation fluctuations on droplet growth, *Journal of Aerosol Science*, Volume 28, Issue 8, 1997, Pages 1395-1409, ISSN 0021-8502, [https://doi.org/10.1016/S0021-8502\(97\)00015-3](https://doi.org/10.1016/S0021-8502(97)00015-3).
- 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.

- Marlita, D., Trisakti, S.T.M.T. and Saidah, D., 2014. Pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor. *J. Manaj. Transp. Logistik*, 1(03), pp.241-248.
- Medhat Elkelawy, Hagar Alm-Eldin Bastawissi, Khaled Khodary Esmaeil, Ahmed Mohamed Radwan, Hitesh Panchal, Kishor Kumar Sadasivuni, Deepalekshmi Ponnamma, Rashmi Walvekar, Experimental studies on the biodiesel production parameters optimization of sunflower and soybean oil mixture and DI engine combustion, performance, and emission analysis fueled with diesel/biodiesel blends, *Fuel*, Volume 255, 2019, 115791, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115791>.
- Mohammad Anwar, Mohammad G. Rasul, Nanjappa Ashwath, Production optimization and quality assessment of papaya (*Carica papaya*) biodiesel with response surface methodology, *Energy Conversion and Management*, Volume 156, 2018, Pages 103-112, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.11.004>.
- Negasa Tesfaye Tefera, Ramesh Babu Nallamothu, Getachew Alemayehu, Yohannes Kefale, Optimization, characterization, and GC-MS analysis of CSOME produced using alkali catalyzed transesterification, *Energy Conversion and Management: X*, Volume 22, 2024, 100549, ISSN 2590-1745, <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100549>.
- Niraj S. T., Kiran D. P., 2021. Biodiesel From Waste Cooking Soybean Oil Under Ultrasonication as an Alternative Fuel For Diesel Engine, *Materials Today: Proceedings*, Volume 43, Part 1, Pages 510-513. ISSN 2214-7853. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.025>.
- Pratama, B.W., Soebaktiyo, G. and Hermawan, D., 2023. Karakteristik Nyala Api Dan Air Fuel Ratio Minyak Nabati Terhadap Pembakaran Premixed. *V-MAC (Virtual of Mechanical Engineering Article)*, 8(1), pp.20-27.
- SHAN, Rui, et al. Catalysts from renewable resources for biodiesel production. *Energy conversion and management*, 2018, 178: 277-289.
- Subagyo, R., Ansyah, P.R., Aminanto, R.S., 2022. Influence of Mixture Composition Between Soybean Oil and Diesel Fuel on Characteristic of Droplets. Combustion. *International Journal of Mechanical Engineering Technologies and Applications*, 3(1), pp.47-54. <https://doi.org/10.21776/MECHTA.2022.003.01.7>.

- Sitorus, T.B., Ariani, F. and Lubis, Z., 2018. Efek bahan bakar biodiesel dari minyak kedelai terhadap emisi gas buang dan temperatur ruang bakar mesin diesel. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 9(2), pp.1083-1090.
- Sou Hosokai, Koichi Matsuoka, Koji Kuramoto, Yoshizo Suzuki, Modification of Dulong's formula to estimate heating value of gas, liquid and solid fuels, Fuel Processing Technology, Volume 152, 2016, Pages 399-405, ISSN 0378-3820, <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.06.040>.
- TOM, Krawczyk, et al. Biodiesel: Alternative Fuel Makes Inroads but Hurdles Remain. *Inform*, 1996, 7: 801-815.
- Wasi Ur Rahman, Abu Mustafa Khan, Abdul Hakeem Anwer, Umar Hasan, Bisheswar Karmakar, Gopinath Halder, Parametric optimization of calcined and Zn-doped waste egg-shell catalyzed biodiesel synthesis from Hevea brasiliensis oil, *Energy Nexus*, Volume 6, 2022, 100073, ISSN 2772-4271, <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100073>.
- Yu Cheng Liu, Yuhao Xu, Michael C. Hicks, C. Thomas Avedisian, Comprehensive study of initial diameter effects and other observations on convection-free droplet combustion in the standard atmosphere for n-heptane, n-octane, and n-decane, *Combustion and Flame*, Volume 171, 2016, Pages 27-41, ISSN 0010-2180, <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2016.05.013>.
- Yuliati, L., Hamidia, N., Ibadurrohman, I.A. and Pujohastarto, I.R., 2024. Karakteristik Pembakaran Droplet Campuran Metil Oleat–Etanol dengan Penambahan Multi-Walled Carbon Nanotubes. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 19(02), pp.110-115.