

PRODUKSI DAN UJI KUALITAS BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA SAWIT (*ELAEIS GUINEENSIS JACQ*) DENGAN METODE REFLUKS

Fajar Maulana Ghifari

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: fajar.22142@mhs.unesa.ac.id

Muhaji

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: muhaji61@unesa.ac.id

Abstrak

Bahan bakar fosil dan krisis energi menjadi perhatian utama masyarakat terhadap menipisnya sumber daya energi tak terbarukan di dunia yang menyebabkan minat baru dalam pencarian bahan bakar alternatif. Bahan bakar alternatif yang menjanjikan adalah biodiesel. Salah satu sumber bahan baku yang dapat digunakan untuk biodiesel adalah minyak kelapa sawit. Proses pembuatan biodiesel sama seperti pembuatan pada umumnya, dengan menggunakan transesterifikasi. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis karakteristik sifat kimia (kadar metil ester, angka iodium, dan kadar air) biodiesel dari minyak kelapa sawit. Jenis penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode refluks yang melibatkan reaksi transesterifikasi, dengan variasi rasio molar sebesar 1:6, 1:7, dan 1:8 untuk perbandingan minyak kelapa sawit dan metanol. Untuk uji karakteristik biodiesel dengan cara menggunakan standart ASTM dan SNI (kadar metil ester SNI 7182:2015, angka iodium SNI 7182:2015, dan kadar air D6304) pada biodiesel dari minyak kelapa sawit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian variasi rasio molar yang paling optimal dan terbaik adalah rasio molar perbandingan 1:6. Untuk karakteristik sifat kimia yaitu kadar metil ester 98,91%, angka iodium 14,6g-l₂/100g, dan kadar air 0,015%.

Kata Kunci: minyak kelapa sawit, biodiesel, transesterifikasi, refluks.

Abstract

Fossil fuels and the energy crisis have become major concerns for the public due to the depletions of non-renewable energy resources in the world, which has led to renewed interest in the search for alternative fuels. One promising alternative fuel is biodiesel. One source of raw material that can be used for biodiesel is palm oil. The process of making biodiesel is the same as the general manufacturing process, using transesterification. The purpose of this study was to analyze the chemical characteristics (methyl ester content, iodine value, and water content) of biodiesel from palm oil. This study was an experimental study. The method used in this study is the reflux method involving transesterification reaction, with molar ration variations of 1:6, 1:7, dan 1:8 for the ratio of palm oil and methanol. To test the characteristics of biodiesel using ASTM and SNI standarts (methyl ester content SNI 7182:2015, iodine value SNI 7182:2015 and water content D6304) in biodiesel from palm oil. The results of the study show that the most optimal and best molar ratio variation text is a molar ratio of 1:6. For chemical properties, the methyl ester content is 98,90%, the iodine value is 14,6g-l₂/100g, and water content is 0.015%.

Keywords: palm oil, biodiesel, transesterification, reflux.

PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil dan krisis energi menjadi perhatian utama masyarakat terhadap menipisnya sumber daya energi tak terbarukan di dunia yang menyebabkan minat baru dalam pencarian bahan bakar alternatif (Onwugbuta *et al.*, 2023). Pemanfaatan minyak nabati sebagai bahan bakar pada mesin pengapian kompresi pertama kali diperlihatkan oleh Rudolf Diesel, yang mengoperasikan mesin dieselnya menggunakan minyak kacang tanah (Huynh *et al.*, 2011).

Penggunaan minyak dari kedelai, bunga matahari, kacang tanah, biji rami, biji rapa dan minyak kelapa sawit di antara yang lainnya telah dicoba. Karena populasi dunia terus meningkat setiap tahunnya dan sumber daya minyak bumi yang terbatas, maka menjadi suatu keharusan untuk

mencari bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui (Freire *et al.*, 2011).

Sumber energi konvensional, seperti batu bara, minyak bumi, dan bahan bakar tak terbarukan, semakin menipis, namun ketergantungan terhadap jenis energi ini terus meningkat (Hoang *et al.*, 2021). Oleh sebab itu, berbagai negara mulai mengupayakan penggunaan bahan bakar pengganti guna menekan ketergantungan pada sumber energi yang ketersediaannya terus menurun, salah satunya adalah biodiesel yang dinilai memiliki potensi besar (Mohammed *et al.*, 2021).

Dalam beberapa tahun terakhir, biodiesel semakin banyak mendapat perhatian karena sifatnya yang ramah lingkungan, dapat diperbarui, tidak menimbulkan pencemaran serta mudah diterurai secara alami (Zhang *et al.*, 2020). Biodiesel memberikan keuntungan teknis

dibandingkan dengan solar biasa. Biodiesel memiliki kemampuan untuk meningkatkan angka cetane (CN), pelumasan, dan mengurangi emisi. CN adalah salah satu sifat utama biodiesel, yang merepresentasikan karakteristik dan kualitas penyalaan. CN yang tinggi memiliki nilai penundaan pengapian yang singkat yang memberikan operasi mesin yang lebih baik (mudah untuk menghidupkan mesin dengan dingin, lebih sedikit asap saat dihidupkan, lebih sedikit emisi, lebih sedikit endapan karbon dan peningkatan efisiensi bahan bakar) (Broatch *et al.*, 2014).

Biodiesel dibuat dengan memanfaatkan dari minyak hewani, minyak nabati atau minyak nabati limbah dan alkohol melalui proses transesterifikasi (Zanotti *et al.*, 2016). Transesterifikasi merupakan cara yang paling banyak diterapkan hingga saat ini dalam proses pembuatan biodiesel (Meher *et al.*, 2006). Secara umum, pembuatan biodiesel secara konvensional dilakukan melalui reaksi transesterifikasi minyak nabati dengan alkohol rantai pendek yang dibantu katalis homogen asam maupun basa, seperti H_2SO_4 , NaOH , dan KOH (Lam *et al.*, 2010).

Menurut Gu, *et al.*, (2018) Dari sekian banyak metode tersebut, transesterifikasi minyak dengan alkohol rantai panjang merupakan cara yang sederhana dan menarik untuk menghasilkan biodiesel dengan performa aliran dingin yang baik. Penggunaan alkohol rantai panjang juga memiliki beberapa kelemahan seperti biaya yang lebih besar, aktivitas reaksi yang lebih rendah, dan viskositas yang lebih tinggi.

Transesterifikasi merupakan reaksi antara lemak atau minyak dengan alkohol untuk menghasilkan ester dan gliserol. Reaksi kimia secara keseluruhan ditunjukkan di bawah ini. Katalis dan alkohol yang digunakan untuk tujuan produksi ini adalah KOH dan metanol. Katalis umumnya dimanfaatkan untuk mempercepat berlangsungnya reaksi serta meningkatkan hasil yang diperoleh (Peter *et al.*, 2021).

Solusi yang dinilai sangat menjanjikan dalam menghadapi keterbatasan energi adalah pemanfaatan biodiesel yang berasal dari sumber hayati. Biodiesel merupakan bahan bakar terbarukan yang dihasilkan dari minyak nabati, salah satunya minyak kelapa sawit yang sering disebut sebagai *Crude Palm Oil* (CPO) (Suleman dkk, 2019).

Minyak kelapa sawit sangat berpotensi digunakan bahan baku biodiesel karena tingginya kandungan asam lemak, termasuk kadar *free fatty acid* (FFA) yang relatif lebih tinggi dibandingkan bahan baku lainnya (Mardawati dkk, 2019).

METODE

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang diterapkan merupakan penelitian eksperimental. Metode eksperimen yang dilakukan adalah meneliti tentang biodiesel minyak kelapa sawit (B100) terhadap karakteristik sifat kimia (kadar metil ester, angka iodium, dan kadar air).

Waktu dan Tempat Penelitian

➤ Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan setelah peneliti menyelesaikan ujian proposal tugas akhir, kemudian dilanjutkan dengan proses pembuatan, pengambilan data dan analisis data.

➤ Tempat Penelitian

- Proses pembuatan biodiesel dilaksanakan di Laboratorium Kimia Organik FMIPA Universitas Negeri Surabaya dan di Laboratorium Bahan Bakar Teknik Mesin FT Universitas Negeri Surabaya.
- Proses pengujian karakteristik sifat kimia biodiesel akan dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan ITS dan Laboratorium Saraswanti Indo Genetech.

Bahan, Alat, dan Instrumen Penelitian

➤ Bahan

- Minyak kelapa sawit (*Crude palm oil*)
- Metanol
- NaOH (Katalis)

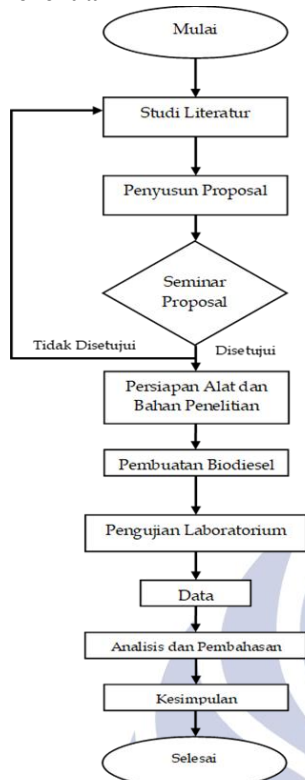
➤ Alat

- Labu dasar bulat 1000ml
- Buret pemisah
- Botol kaca
- *Hot plate magnetic stirrer*
- Statif klem
- Kondensor refluks

➤ Instrumen Penelitian

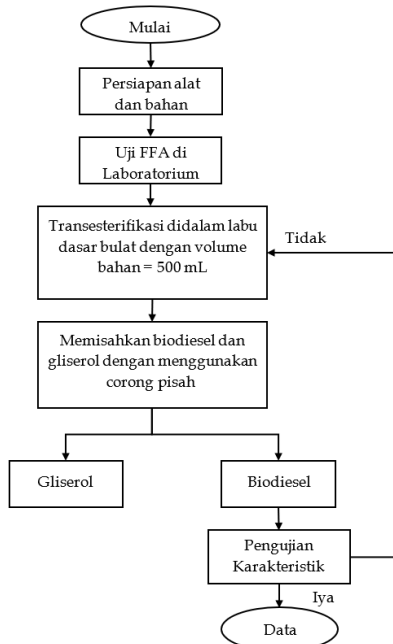
- Gelas ukur
- Termometer
- Timbangan digital
- *Moisture analyzer*

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Diagram Rancangan Penelitian

Desain Eksperimen



Gambar 2. Desain Eksperimen

➤ Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kadar metil ester, angka iodium, dan kadar air.

➤ Variabel Kontrol

- Berbahan baku pembuatan biodiesel adalah minyak kelapa sawit atau *Crude Palm Oil* (CPO) didapatkan dari *e-commerce*.
- Proses pengubahan minyak kelapa sawit menjadi biodiesel dilakukan di Laboratorium Kimia Organik FMIPA Universitas Negeri Surabaya dan di Laboratorium Bahan Bakar Teknik Mesin FT Universitas Negeri Surabaya.
- Suhu pada saat pencampuran 60-65 °C
- Volume minyak kelapa sawit pada saat transesterifikasi 500 ml.
- Volume rasio molar perbandingan minyak dengan metanol yaitu 1:6, 1:7, dan 1:8.

Prosedure Pembuatan

Pembuatan dilakukan dengan metode refluks melalui tahapan sebagai berikut:

- Melakukan pengujian FFA untuk mengukur tingkat asam lemak bebas yang terdapat pada minyak kelapa sawit.
- Mencampurkan minyak kelapa sawit dengan metanol dan katalis basa di dalam labu reaksi.
- Memasang kondensor refluks agar metanol yang menguap dapat mengembun dan kembali masuk ke dalam campuran reaksi.
- Memanaskan campuran hingga suhu sekitar 60-65 °C dan biarkan berlangsung selama 1–2 jam sambil diaduk agar reaksi berlangsung berlangsung optimal.
- Setelah reaksi berakhir, dinginkan campuran reaksi hingga mencapai suhu ruang.
- Memisahkan lapisan biodiesel (fase atas) dan gliserol (fase bawah) menggunakan corong pisah.
- Biodiesel mentah selanjutnya dibilas menggunakan air untuk membersihkan sisa katalis, metanol, dan gliserol.
- Biodiesel yang telah dibersihkan kemudian dipanaskan untuk menguapkan sisa air.
- Memasukkan hasil biodiesel kedalam botol, setelah itu diberi label sesuai rasio molar yang telah ditentukan

Teknik Analisis Data

Pengumpulan data hasil pengujian karakteristik sifat kimia yang telah dimasukkan ke dalam tabel kemudian disajikan dalam bentuk grafik. Grafik hasil tersebut dideskripsikan menjadi kalimat yang sederhana dan mudah dimengerti, sehingga dapat dianalisa dan diambil kesimpulan.

Variabel Penelitian

➤ Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini ditentukan pada tahap pembuatan biodiesel yaitu berupa variasi perbandingan antara minyak dan metanol, dengan rasio molar 1:6, 1:7, dan 1:8.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 3. Produksi Biodiesel Minyak Kelapa Sawit

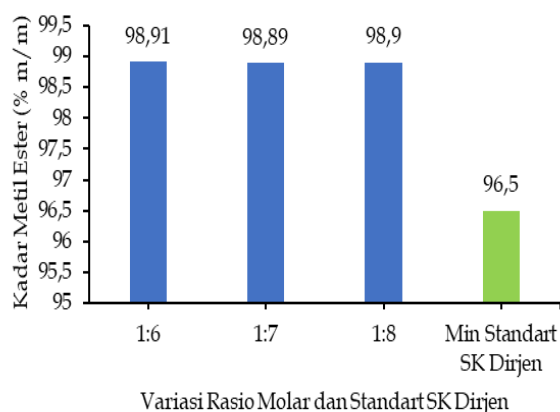
Biodiesel yang dihasilkan dari minyak kelapa sawit selanjutnya diuji untuk melihat pengaruh variasi rasio molar minyak dan metanol mengenai standar mutu biodiesel, yang meliputi kadar metil ester, angka iodium, dan kadar air, dengan variasi rasio molar minyak dan metanol sebesar 1:6, 1:7, dan 1:8.

Tabel 1. Hasil Pengujian Laboratorium Karakteristik Sifat Kimia

| No | Parameter Uji | Satuan | Hasil Uji Rasio Minyak dengan Metanol | | | Standart SK Dirjen ETBKE |
|----|-------------------|------------------------|---------------------------------------|-------|-------|--------------------------|
| | | | 1:6 | 1:7 | 1:8 | |
| 1 | Kadar Metil Ester | % m/m | 98,91 | 98,89 | 98,90 | Min 96,5 |
| 2 | Angka Iodium | g-I ₂ /100g | 14,59 | 15,12 | 62,1 | Max 115 |
| 3 | Kadar Air | % | 0,015 | 0,028 | 0,051 | Max 0,05 |

Kadar Metil Ester

Kadar metil ester menjadi indikator penting yang digunakan untuk menilai mutu biodiesel yang dihasilkan.



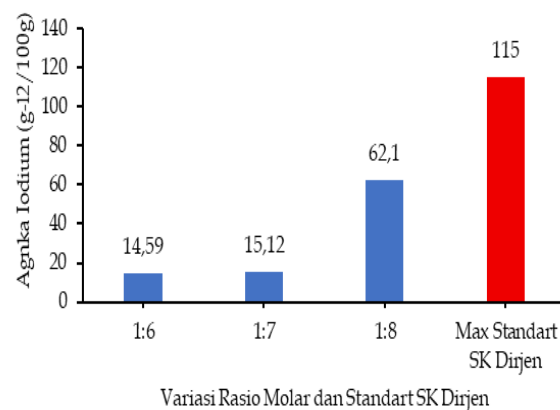
Gambar 4. Hasil Pengujian Kadar Metil Ester

Berdasarkan tabel 1 dan gambar 4 diketahui hasil kadar metil ester untuk variasi rasio perbandingan minyak dengan metanol berada pada antara 98,89-98,91%, yang telah memenuhi syarat standart dari SK Dirjen ETBKE yaitu minimal 96,5%_{m/m}. Pengujian yang dilakukan variasi rasio untuk perbandingan 1:6 bernilai 98,91%_{m/m}. Variasi rasio untuk perbandingan 1:7 bernilai 98,89%_{m/m}, dan variasi rasio untuk perbandingan 1:8 bernilai 98,90%_{m/m}. Untuk hasil tertinggi adalah variasi rasio perbandingan 1:6 dan hasil terendah ada variasi rasio perbandingan 1:7.

Penurunan kadar metil ester dapat terjadi karena reaksi transesterifikasi yang tidak berlangsung secara optimal, sehingga sebagian trigliserida masih tertinggal dalam biodiesel. Meningkatnya kadar metil ester yang terbentuk akan menyebabkan jumlah trigliserida yang tersisa dalam biodiesel menjadi semakin sedikit (Sari dkk, 2016).

Angka Iodium

Angka iodium menunjukkan jumlah gram iodium yang dapat diserap oleh setiap 100gram lemak. Asam lemak tidak jenuh umumnya termasuk lemak yang dapat dikonsumsi (*enable fat*) dan pada suhu ruang berwujud cair.



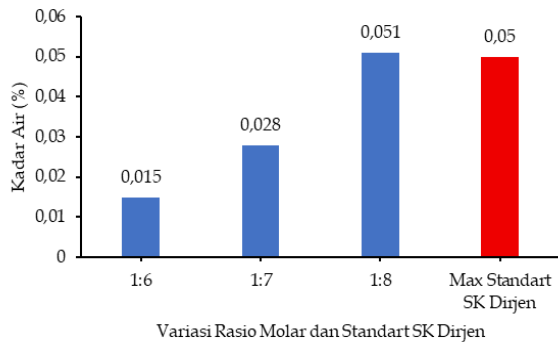
Gambar 5. Hasil Pengujian Angka Iodium

Berdasarkan tabel 1 dan gambar 5 menunjukkan hasil angka iodium untuk nilai variasi rasio perbandingan 1:6 adalah 14,59g-I₂/100g. Nilai variasi rasio perbandingan 1:7 adalah 15,12g-I₂/100g, dan nilai variasi rasio perbandingan 1:8 adalah 62,1g-I₂/100g. Berdasarkan SK Dirjen ETBKE, besar syarat angka iodium adalah maksimal 115g-I₂/100g. Pengujian yang dilakukan, untuk perbandingan 1:6, 1:7 dan 1:8 seluruhnya telah memenuhi persyaratan. Nilai angka iodium tertinggi adalah variasi rasio perbandingan 1:8, dan nilai angka iodium terendah adalah variasi rasio perbandingan 1:6.

Angka iodium yang rendah menunjukkan bahwa biodiesel memiliki tingkat ketidakjenuhan yang lebih kecil (Suleman dkk, 2019).

Kadar Air

Kadar air pada biodiesel adalah jumlah atau konsentrasi air (H_2O) yang terkandung dalam bahan biodiesel, yang umunya diungkapkan dalam satuan ppm (*part per million*) atau dalam persentase (% berat).



Gambar 6. Hasil Pengujian Kadar Air

Berdasarkan tabel 1 dan gambar 6 menunjukkan hasil kadar air pada variasi rasio perbandingan 1:6 adalah 0,015%. Variasi rasio perbandingan 1:7 adalah 0,028%, dan variasi rasio perbandingan 1:8 adalah 0,051%. Berdasarkan SK Dirjen ETBKE, besar syarat kadar air adalah maksimal 0,05%. Pengujian yang dilakukan pada variasi rasio perbandingan 1:6 dan 1:7 telah memenuhi persyaratan. Namun pada variasi rasio perbandingan 1:8 sedikit melebihi batas hingga 0,051%.

Kandungan air yang berlebihan dapat memicu terjadinya reaksi penyabunan (*saponifikasi*) serta menurunkan kecepatan konversi trigliserida menjadi FAME, sehingga jumlah biodiesel yang dihasilkan menjadi lebih sedikit (Atadashi *et al.*, 2012).

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian produksi biodiesel sebagai bahan bakar alternatif dengan memanfaatkan minyak kelapa sawit sebagai bahan baku, dapat disimpulkan bahwa:

- Karakteristik sifat kimia biodiesel dari minyak kelapa sawit dibandingkan dengan standart SK Dirjen ETBKE yaitu parameter kadar metil ester untuk rasio molar 1:6 dengan nilai 98,91%*m/m*, 1:7 dengan nilai 98,89%*m/m* dan 1:8 dengan nilai 98,90%*m/m* sudah memenuhi persyaratan. Angka iodium untuk rasio molar 1:6 dengan nilai 14,59g-I₂/100g, 1:7 dengan nilai 15,12g-I₂/100g dan 1:8 dengan nilai 62,1g-I₂/100g sudah memenuhi persyaratan. Kadar air untuk rasio molar 1:6 dengan nilai 0,015% dan 1:7 dengan nilai 0,028% sudah memenuhi persyaratan, untuk rasio molar 1:8 dengan nilai 0,051%

tidak memenuhi persyaratan dikarenakan melebihi batas maksimal yang telah ditentukan.

- Hasil dari pengujian karakteristik sifat kimia yang paling optimal dan terbaik adalah variasi rasio molar perbandingan 1:6.

SARAN

Berdasarkan hasil dan analisis penelitian ini, beberapa saran yang dapat disampaikan antara lain:

- Diharapkan peneliti berikutnya dapat mengambil rasio diatas dari 1:6, 1:7 dan 1:8 untuk mengetahui hasil kualitas lebih baik atau sebaliknya dari penelitian yang telah dilakukan.
- Perlu mengoptimalkan kondisi ketika proses pembuatan, seperti suhu, karena dapat mempengaruhi dari kualitas biodiesel yang dihasilkan.
- Penelitian berikutnya diharapkan dapat membandingkan penggunaan jenis katalis berbeda atau bahkan proses non katalis agar memperoleh kualitas biodiesel yang terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, D., & Yunitasari, B. (2024). Densitas Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Metode Nonkatalis. *Journal Teknik Mesin*, 12(Vol. 12 No. 02 (2024): JTM : JURNAL TEKNIK MESIN), 77-82.
- Afandi, M. F., & Susila, I. W. (2023). Pengaruh Rasio Molar Terhadap Kualitas Biodiesel dari Biji Karet (*Have a Brasiliensi*) Metode Non-Katalis Aliran Semi Kontinu. *11*, 49-54.
- Afansah, B. F., & Susila, I. W. (2020). Pengaruh Volume Asam Fosfat (H_3PO_4) Dalam Proses Degumming Terhadap Kualitas Biodiesel Dari Bahan Baku Biji Buah Bintaro Metode Katalis. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(2), 101-110.
- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Aziz, A. A., & Sulaiman, N. N. (2012). The effects of water on biodiesel production and refining technologies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3456-3470. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.004>
- Azhari, A., Mutia, N., & Ishak, I. (2020). Proses Ekstraksi Minyak Dari Biji Pepaya (*Carica Papaya*) Dengan Menggunakan Pelarut N-Heksan. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9.1, 77-85.
- Bachrani. (2019). Analisis Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar Dexlite dan Biodiesel B20 Terhadap Performansi Engine Doosan Model De 12 Tia. *Doctoral dissertation, Universitas Balikpapan*.
- Bahri, A. F., Setyawan, E. Y., & Ariyanto, A. (2025). Analisa Sifat Fisik Biodiesel Ampas Kelapa Melalui Proses Mikroemulsi Menggunakan Katalis Bentonit. *Jurnal Mesin Material Manufaktur dan Energi*, 123-128. Diambil kembali dari <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/jmmme/>

- Broatch, A., Tormos, B., Olmeda, P., & Novella, R. (2014). Impact of biodiesel fuel on cold starting of automotive direct injection diesel engines. *Energy*, 73, 653-660. doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.06.062
- Busyairi, M., Za'im Muttaqin, A., Meicahyanti, I., & Saryadi, S. (2020). Potensi Minyak Jelantah Sebagai Biodiesel dan Pengaruh Katalis Serta Waktu Reaksi Terhadap Kualitas Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(2), 933-940.
- Dirmawarnita, F., Emha, Z. M., Koto, A., & Faramitha, Y. (2023). Karakteristik Sifat Fisika Kimia Biodiesel Berbasis Minyak Nabati. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 15-26.
- El-Araby, R., Amin, A., El Morsi, A., El-Ibiari, N., & El-Diwani, G. (2018). Study on the characteristics of palm oil-biodiesel-diesel fuel blend. *Egyptian Journal of Petroleum*, 187-194. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.03.002
- Erchamo, Y. S., Mamo, T. T., Workneh, G. A., & Mokennen, Y. S. (2021). Improved biodiesel production from waste cooking oil with mixed methanol-ethanol using enhanced eggshell-derived CaO nano-catalyst. *Scientific Reports*, 6708 (2021).
- Fadhillah, G. N., & Sari, D. A. (2023). Produksi biodiesel yang berbahan baku kelapa sawit dengan melibatkan katalis homogen dan heterogen. *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 87-94.
- Fikria, G. (2021). Analisis karakteristik fisis produk biodiesel berbahan minyak jelantah. *Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim*.
- Freire, D. M., De sousa, J. S., & Cavalcanti-Oliveira, E. d. (2011). Biotechnological methods to produce biodiesel. *Biofuels. Academic Press*, 315-337.
- Gu, J., Gao, X., Wu, J., Yu, L., Xin, Z., & Sun, S. (2018). Biodiesel production from palm oil and mixed dimethyl/diethyl carbonate with controllable cold flow properties. *Fuel*, 781-786. doi:https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.09.081
- Hartono, R., Denny, Y. R., Ramdhani, D. S., Assaat, L. D., Priakbar, A. W., & Ribawa, W. H. (2023). Pembuatan biodiesel dengan reaktor bersirkulasi sederhana menggunakan katalis KOH. *Jurnal Teknologi*, Volume 15 No.1. doi:https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.15.1.123-132
- Hoang, A. T., Nguyen, X. P., Le, A. T., Huynh, T. T., & Pham, V. V. (2021). COVID-19 and the Global Shift Progress to Clean Energy. *J. Energy Resour. Technol.*, 143(9): 094701 (8 pages). doi:https://doi.org/10.1115/1.4050779
- Huynh, L. H., Kasim, N. S., & Ju, Y. H. (2011). Biodiesel production from waste oils. *Biofuels. Academic Press*, 375-396.
- Kharisma, N., & Sa'diyah, K. (2025). Pembuatan Minyak Ester dari Minyak Kelapa Sawit melalui Proses Transesterifikasi : Pengaruh Katalis KOH dan NaOH. *Jurnal Teknologi Separasi*, 30-40. doi:https://doi.org/10.33795/distilat.v11i1.6883
- Lam, M. K., Lee, K. T., & Mohamed, A. R. (2010). Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: A review. *Biotechnology Advances*, 28 (4), 500-518. doi:https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.03.002
- Mardawati, E., Hidayat, M. S., Rahmah, D. M., & Rosalinda, S. (2019). Produksi biodiesel dari minyak kelapa sawit kasar off grade dengan variasi pengaruh asam sulfat pada proses esterifikasi terhadap mutu biodiesel yang dihasilkan. *Jurnal Industri Pertanian*, 01, 46 – 60.
- Mayandi, Z., & Suharjito. (2024). Palm Oil-Based Biodiesel Industry Sustainability Model Using Dynamic. *Smart Agricultural Technology*, 100421. doi:https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100421
- Megantoro, B., & Susila, I. W. (2020). Pengaruh Temperatur Reaksi Terhadap Kualitas Karakteristik Minyak Biji Bintaro Metode Non Katalis. *Jurnal Teknik Mesin*, 95-100.
- Mohammed, N. I., Kabbashi, N. A., Alam, M. Z., & Mirghani, M. E. (2021). Optimization of Jatropha Biodiesel Production by Response Surface Methodology. *Green and Sustainable Chemistry*, 23-37. doi:doi: 10.4236/gsc.2021.111003.
- Onwugbuta, G. C., Okeana, J., & John, G. N. (2023). Production Of Biodiesel From Coconut (Coco nucifera) Oil Using Trans-esterification Method. *International Journal of Recent Research in Life Sciences (IJRRLS)*, Vol. 10, Issue 2, pp: (1-9). doi:https://doi.org/10.5281/zenodo.7810236
- Peter, A. S., Alias, M. P., Iype, M. P., Jolly, J., Sankar, V., Babu, K. J., & Baby, D. K. (2021). Optimization of biodiesel production by transesterification of palm oil and evaluation of biodiesel quality. *Materials Today: Proceedings*, 1002-1007. doi:https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.995
- Purwaningrum, S. D., & Sukaryo, S. (2018). Uji Karakteristik Biodiesel Berbahan Dasar Limbah Jeroan Ikan Diproses Menggunakan Mikrogelombang. 37-42.
- Rizky syaputra, S. (2022). Analisis Pengendalian Mutu pada Asam Lemak Bebas Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Metode SQC. *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 8, No. 1,.
- Sari, S. P., Tambunan, A. H., & Eko Nugroho, L. P. (2016). Penggunaan Pengaduk Statik Untuk Pengurangan Kebutuhan Katalis dalam Produksi Biodiesel. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 26(3), 236-245.
- Zanotti, M., Ruan, Z., Bustamente, M., Liu, Y., & Liao, W. (2016). A sustainable lignocellulosic biodiesel production integrating solar- and bio-power generation. *Green Chemistry*, 5059-5068. doi:https://doi.org/10.1039/C6GC00998K