

Pengaruh Waktu Reaksi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Bantuan Katalis Basa NaOH terhadap Sifat Fisika dan Kimia Produk Biodiesel

Amirul Mukminin¹, Eka Megawati², Debora Ariyani³, I Ketut Warsa⁴, Junety Monde⁵, Sapril⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} STT Migas Balikpapan, KM.8, Karang Joang, Kec. Balikpapan Utara, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur
amirmin25@gmail.com

Abstract

The effect of the transesterification reaction time of 0.6% mass % NaOH catalyst in the formation of methyl ester (biodiesel) made from used waste cooking oil as raw material 6 times usage and methanol 1: 5 mass has been studied at 60°C. The reaction times used were 30, 40, and 45 minutes. All samples resulting from the transesterification reaction have been studied for their chemical and physical properties. Parameters of chemical properties included in the Indonesian National Standard (SNI) for all samples were % FFA, pH, while the water content was above the SNI standard. The physical property parameters for all samples that meet SNI are only flash point, color and 90% distillation. While the density of all test samples was lower than the SNI which was set at 850-890 Kg/m³, the results obtained for reaction times of 30, 40 and 45 minutes were 828, 833 and 836 Kg/m³ respectively. The highest yield was owned by a reaction time of 40 minutes, namely 80%. As for the reaction time of 35 and 45 minutes respectively 79 and 65%.

Keywords: Biodiesel, Waste Oil, Transesterification, Time Reaction

Abstrak

Telah dipelajari pengaruh waktu reaksi transesterifikasi katalis NaOH 0,6 % massa dalam pembentukan metil ester (biodiesel) berbahan baku minyak jelantah 6 kali pemakaian dan metanol 1: 5 massa pada suhu 60°C. waktu reaksi yang digunakan adalah 30, 40, dan 45 menit. Seluruh sampel hasil reaksi transesterifikasi telah dipelajari sifat kimia dan fisiknya. Parameter sifat kimia yang masuk Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk semua sampel adalah % FFA, pH, sedangkan kadar air berada diatas standar SNI. Parameter sifat fisika untuk semua sampel yang memenuhi SNI hanya pada nilai titik nyala (flash point), warna dan destilasi 90%. Sedangkan densitas seluruh sampel uji lebih rendah dibandingkan SNI yang ditetapkan sebesar 850-890 Kg/m³, hasil yang didapat untuk waktu reaksi 30, 40 dan 45 menit berturut-turut adalah 828, 833 dan 836 Kg/m³. Rendemen tertinggi dimiliki oleh waktu reaksi 40 menit yaitu 80% . Sedangkan untuk waktu reaksi 35 dan 45 menit berturut-turut sebesar 79 dan 65 %.

Kata Kunci: Biodiesel, Minyak Jelantah, Transesterifikasi, Waktu Reaksi

Copyright (c) 2023 Amirul Mukminin, Eka Megawati, Debora Ariyani, I Ketut Warsa, Junety Monde, Sapril

Corresponding author: Amirul Mukminin

Email Address: amirmin25@gmail.com (STT Migas Balikpapan, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur)

Received 13 January 2023, Accepted 19 January 2023, Published 21 January 2023

PENDAHULUAN

Minyak jelantah adalah nama lain dari minyak goreng bekas. Minyak jelantah akan mengalami penurunan kualitas sifat kimia dan fisika. Minyak jelantah lebih kental dibandingkan dengan minyak segar disebabkan oleh terbentuknya asam lemak jenuh pada saat terjadinya proses penggorengan (Ma & Hanna, 1999), (Greever, 1995) Penurunan sifat tersebut menyebabkan minyak goreng bekas tidak layak lagi untuk dikonsumsi. Oleh karena itu minyak jelantah dikategorikan sebagai limbah. Pemanfaatan yang tepat dapat meningkatkan kembali nilai ekonomis minyak jelantah. Salah satunya adalah dimanfaatkan sebagai sebagai bahan baku biodiesel. Minyak jelantah diketahui mempunyai kandungan asam lemak bebas (Free Fatty Acid, FFA) yang tinggi hingga 5-30% massa atau 3-40% massa (Ma & Hanna, 1999; Maghami et al., 2015).

Asam laurik, asam miristat, asam palmitat, asam palmitoleat, asam stearat dan asam oleat adalah jenis asam lemak bebas yang paling umum dimiliki minyak jelantah. Kandungan FFA sangat menentukan jenis tahapan reaksi pembentukan biodiesel baik berupa reaksi transesterifikasi maupun reaksi eksterifikasi. (Ahmad et al., 2016; Kapuji et al., 2021; Ningtyas, 2013; Prasetyo, 2018; Yulianti, 2002), jika kadar % FFA > 2% maka untuk mendapatkan biodiesel harus dilakukan proses esterifikasi terlebih dahulu untuk menurunkan kadar % FFA, namun jika % FFA < 2% maka pembuatan biodiesel dapat dilakukan menggunakan katalis basa yang dikenal sebagai proses transesterifikasi.

Pengaruh konsentrasi katalis basa NaOH sebelumnya telah dilaporkan oleh (Busyairi et al., 2020; Hadrah et al., 2018; Konur, 2021; Mukminin et al., 2022) Laporan lain tentang pengaruh waktu reaksi transesterifikasi juga telah banyak dilaporkan (Busyairi et al., 2020; Muhammidah, 2019; Rezeika et al., 2018; Sinaga et al., 2014; Siswani & Susila Kristianingrum, 2012). Berbagai Laporan-laporan diatas menjelaskan selain konsentrasi katalis, waktu reaksi transesterifikasi sangat berpengaruh terhadap rendemen biodiesel (metil ester). Selain berpengaruh pada rendemen biodiesel yang dihasilkan juga mempengaruhi kualitas biodiesel.

Berdasarkan uraian diatas maka pada penelitian ini akan dipelajari pengaruh waktu reaksi pembentukan biodiesel. Reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa homogen NaOH dengan konsentrasi 0,6 % massa katalis NaOH dari masa total metanol dan minyak jelantah 1:5 massa, dipilih karena sebelumnya diketahui memiliki hasil rendemen yang tinggi yaitu 85 % dan seluruh nilai sifat kimia-fisika telah sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI). Pengorengan minyak jelantah yang dipilih adalah 6,8, 10 kali pemakaian. Katalis basa NaOH dipilih karena harganya murah, mudah didapatkan dan dikenal memiliki efektifitas katalisis yang baik dalam reaksi transesterifikasi minyak nabati dan hewani. Variasi waktu reaksi transesterifikasi adalah 35, 40 dan 45 menit. Pemilihan waktu reaksi yang lebih singkat ini dipilih untuk mengefisienkan kebutuhan energi. Setelah sebelumnya digunakan waktu reaksi 120 menit seperti yang pernah dilaporkan oleh (Mukminin et al., 2022).

Pengukuran sifat fisika dan kimia dilakukan terhadap seluruh sampel, kemudian akan dibandingkan dengan standar SNI Biodiesel. Pengukuran sifat kimia meliputi ; % FFA, kadar Air, dan pH, sedangkan karakteristik sifat fisika adalah flash point, densitas, dan warna.

METODE

Kegiatan penelitian dijalankan di Laboratorium Kimia kampus STT Migas Balikpapan.

Alat dan Bahan

Minyak jelantah sebagai bahan baku utama yang digunakan adalah berdasarkan jumlah pemakaian 6,7, dan 8 kali pemakaian. Seluruh sampel tersebut di dapatkan dari pedagang gorengan di areal kampus STT Migas Balikpapan. Bahan kimia pereaksi adalah NaOH 99% pa, Metanol 98%, Asam Asetat CH₃COOH 98%, aquades, indikator PP. Seperangkat peralatan kimia pada penelitian ini

adalah seperangkat alat reaktor reflux (labu leher tiga 500 mL, termometer, pengaduk magnet, pemanas listrik dan sistem pendingin), alat-alat gas, dan timbangan digital.

Preparasi Minyak Jelantah

Minyak jelantah yang telah dikumpulkan kemudian dikelompokkan masing-masing 500 ml berdasarkan perbedaan pemakaiannya yaitu 6,8, dan 10 kali pemakaian. Masing-masing sampel kemudian disaring untuk menghilangkan pengotor berupa padatan. Proses penghilangan air dilakukan melalui pemanasan 500 ml minyak jelantah pada suhu 100 - 120°C selama 10 menit. Minyak jelantah yang telah bersih dari pengotor kemudian dilakukan pengukuran sifat kimia dan fisika seperti; densitas, kadar air, % FFA, pH dan identifikasi warna.

Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah

Minyak jelantah yang telah dipreparasi dan memiliki kandungan asam lemak bebas %FFA yang paling rendah akan dilakukan reaksi transesterifikasi. Ditimbang katalis NaOH 0,6% massa kemudian dicampurkan kedalam 100 ml methanol dan diaduk hingga homogen. Setelah didapatkan larutan yang homogen kemudian ditempatkan dalam labu leher tiga. Sebanyak 500 ml minyak jelantah dimasukan dalam labu leher tiga yang telah berisi larutan campuran NaOH dan Metanol. Seluruh campuran kemudian dipanaskan dengan variasi waktu masing-masing 35, 40 dan 45 menit pada suhu dipertahankan 60°C dengan pengadukan tetap. Masing-masing campuran hasil reaksi transesterifikasi dibiarkan selama 24 jam didalam corong pisah (biodiesel dibagian atas dan gliserol dibagian bawah). Untuk menetralkan pH campuran dilakukan pencucian dengan aquadest hingga pH netral. Metil ester yang telah di dapatkan kemudian direfluks untuk menghilangkan air pada suhu 100°C.

Analisis Sifat Fisika dan Kimia Biodiesel

Setiap sampel hasil reaksi transesterifikasi dipelajari sifat fisika dan kimia. Berikut ini di tampilkan cara analisis sifat fisika dan kimia biodiesel hasil reaksi :

1. Densitas, perbandingan nilai massa terhadap volume metil ester

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{\text{pikno isi} - \text{pikno kosong}}{v(ml)} \quad (1)$$

Keterangan : ρ = (Massa Jenis), M= (Massa), V= (Volume)

2. Free Fety Acid (% FFA), % FFA diukur dengan cara titrasi asam basa biodiesel dalam metanol dengan larutan baku NaOH dengan bantuan indikator phenolphthalein (pp).

$$\% FFA = \frac{mL NaOH \times N NaOH \times BM Sampel}{m \times 1000} \times 100\% \quad (2)$$

3. Rendemen hasil reaksi transesterifikasi dilakukan dengan cara menimbang massa metil ester murni terhadap jumlah bahan baku minyak jelantah.

$$\text{Rendamen}(\%) = \frac{\text{Produk Biodiesel}}{\text{Reaktan}} \times 100\% \quad (3)$$

- Pengujian kadar air dengan cara menghitung volume biodiesel setelah netralisasi dikurang volume biodeisel setelah di uapkan.

$$\% \text{ Air} = \frac{v \text{ Biodiesel setelah dicuci} - v \text{ Biodiesel setelah diuapkan}}{v \text{ (v Biodiesel setelah di cuci)}} \times 100 \% \quad (4)$$

- Titik nyala menggunakan ASTM D92,
- pH diukur menggunakan pH meter.
- Warna, Pengujian warna dilakukan secara visual.
- Destilasi, pengujian destilasi dilakukan dengan menggunakan alat uji ASTM D92, untuk menghitung *Initial Boiling Point* (IBP) dan *Final Boiling Point* (FBP).

HASIL DAN DISKUSI

Karakteristik Bahan Baku Minyak Jelantah

Karakteristik sifat kimia dan fisika bahan baku minyak jelantah berdasarkan perbedaan penggorengannya yaitu 6, 8, dan 10 kali pemakaian di tampilkan dalam table 1. Karakterisasi bahan baku minyak jelantah dalam pembuatan biodiesel mutlak dilakukan untuk menentukan arah reaksi yang tepat dalam proses pembuatan biodiesel.

Tabel 1. Karakteristik Sifat Kimia dan Fisika Bahan Baku Minyak Jelantah Berdasarkan perbedaan penggorengan 6,8 dan 10 kali pemakaian.

Sampel	Analisa Karakteristik Minyak Jelantah				
	pH	Warna	Densitas (Massa Jenis)	SG (<i>Spesific Grafity</i>)	% FFA
6 Kali	6,05	kecoklatan	870 Kg/m ³	0,9160	0,419
8 Kali	6,35	kecoklatan	871 Kg/m ³	0,9571	0,55
10 Kali	6,35	kecoklatan	874 Kg/m ³	0,9363	0,62

Berdasarkan tabel 1 diatas sampel minyak jelantah 6 kali pemakaian diketahui memiliki angka asam (% FFA) yaitu 0,419 %. Hasil ini lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai minyak jelantah 8 dan 10 kali pemakaian yang memberikan nilai berturut-turut 0,55 dan 0,62 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin sering minyak goreng digunakan maka kualitasnya semakin menurun. Karena semakin besar nilai %FFA maka kandungan asam lemak bebas semakin banyak terbentuk dalam minyak goreng selama pemakaian berulang. % FFA dan pH adalah indicator sifat kimia bahan baku biodiesel. pH untuk seluruh sampel uji menunjukkan pH netral dengan nilai 6. Sedangkan densitas, SG, dan warna adalah indicator sifat fisika. Nilai densitas untuk sampel 6,8, dan 10 pemakaian menunjukkan perubahan kenaikan yang tidak terlalu signifikan. Nilai densitas berturut-turut adalah 870, 871 dan 874 Kg/m³. Warna minyak jelantah dan nilai SG memperlihatkan nilai yang tidak signifikan mengalami perubahan.

Hasil pengamatan diatas menunjukkan bahwa kadar % FFA seluruh sampel < 2%. Menurut (Glisic & Orlović, 2014; Hajjari et al., 2017; Konur, 2021; Ma & Hanna, 1999; Prasetyo, 2018), jika nilai kadar %FFA > 2% maka untuk mendapatkan biodiesel harus dilakukan reaksi tranesterifikasi. Kadar % FFA yang lebih 2% dapat mengganggu proses pembentukan metil ester karena adanya reaksi

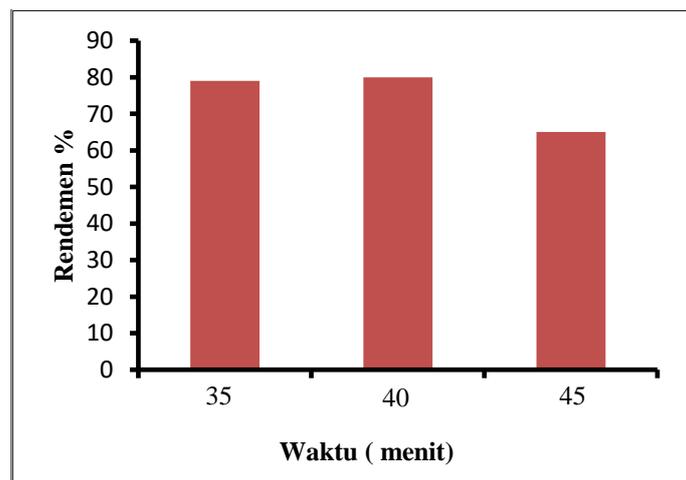
safonifikasi (penyabunan) (Glisic & Orlović, 2014; Hajjari et al., 2017; Konur, 2021; Ma & Hanna, 1999; Prasetyo, 2018) . Sampel minyak jelantah 6 kali pemakaian kemudian selanjutnya dipilih untuk diproses dalam tahap reaksi transesterifikasi pembentukan biodiesel. Pemilihan ini didasarkan bahwa nilai %FFA yang paling rendah jika dibandingkan dengan sampel 8 dan 10 kali pemakaian.

Karakteristik Biodiesel Hasil Reaksi Transesterifikasi

Pada gambar 1 terlihat hasil reaksi transesterifikasi minyak jelantah 6 kali pemakaian dan methanol 1: 5 massa dengan katalis NaOH 0,6 % massa berdasarkan perbedaan waktu reaksi 35, 40 dan 45 menit. Terlihat bahwa seluruh sampel telah terbentuk dua lapisan. Lapisan pertama berwarna kuning adalah produk biodiesel (metil ester) dan gliserol pada lapisan bawah.



Gambar 1. Warna biodiesel hasil reaksi transesterifikasi minyak jelantah dan methanol 1: 5 massa dengan katalis NaOH 0,6 % massa berdasarkan perbedaan waktu reaksi 35, 40 dan 45 menit pada suhu 60°C.



Gambar 2. Rendemen hasil reaksi transesterifikasi minyak jelantah dan methanol 1: 5 massa, dengan katalis NaOH 0,6 % massa berdasarkan perbedaan waktu reaksi 35, 40 dan 45 menit pada suhu 60°C

Gambar 2 menunjukkan pengaruh waktu reaksi terhadap rendemen hasil biodiesel. Diketahui bahwa rendemen tertinggi dimiliki oleh waktu reaksi 40 menit yaitu 80% . Sedangkan untuk waktu reaksi 35 dan 45 menit berturut-turut sebesar 79 dan 65 % . Namun terjadi penurunan rendemen yang cukup signifikan pada waktu 45 menit yaitu sebesar 65%.. Diduga penggunaan katalis basa NaOH

berlebih menyebabkan pembentukan sabun (Safonifikasi).

Reaksi safonifikasi merupakan suatu keadaan terbentuknya pembentukan garam asam lemak. Karena sebagian asam lemak membentuk sabun dengan katalis NaOH maka perolehan nilai metil ester menjadi berkurang. Factor inilah yang menyebabkan waktu reaksi 45 menit menghasilkan rendemen yang jauh lebih rendah dibandingkan waktu 40 menit. Garam ini merupakan hasil samping dari reaksi antara seyawa alkil seperti Na dan K dengan lemak. Saponifikasi/penyabunan (hidrolisa basa) adalah reaksi hidrolisis suatu ester yang terjadi bolak-bali/dua arah (reaksi ireversibel) (Greever, 1995; Yoeswono & Tahir, 2007). Pada kondisi waktu reaksi yang lama terjadi reaksi kompetisi pembentukan metil ester dan reaksi penyabunan.

Setelah masing-masing campuran hasil rekasi transestrifikasi didekantasikan selama 24 jam didalam corong pisah, dinetralkan dan direfluks pada suhu 100°C, selanjutnya dilakukan pengujian sifat kimi dan fisika sampel seluruh hasil reaksi transesterifikasinya. Seluruh hasil pengujian kemudian ditampilkan dalam table 2 dibawah ini.

Tabel 2. Nilai uji biodiesel hasil reaksi transesterifikasi metanol dan minyak jelantah 6 kali pemakaian 1:5 berdasarkan perbedaan waktu reaksi pada suhu 60°C

Pengujian	Satuan	Nilai SNI	Hasil Reaksi Transesterifikasi		
			35 menit	40 menit	45 menit
Densitas	Kg/m ³	850-890	828	833	836
Titik Nyala	°C	Min 100	176,6	171,6°C	171,1
Destilasi 90%	°C	Maks 360	358	315	321
Kadar Air	%-volume	Maks 0,05	1,25	1,23	1,51
FFA	%	Maks 0.8	0,76	0,8	0,92
Warna	-	Kuning Emas	Kuning Emas	Kuning Emas	Kuning Emas
pH	-	6	6	6	6

Berdasarkan table 2 diketahui seluruh sampel memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai SNI. Waktu reaksi transesterifikasi 35, 40 dan 45 menit mempengaruhi nilai nilai densitas. Densitas masing-masing sampel berturut-turut adalah 828, 833 dan 836 Kg/m³. Hal ini karena pada proses transesterifikasi asam lemak bebas yang di kandung oleh minyak jelantah 6 kali pemakaian telah terkonfersi menjadi biodiesel (metil ester). Menurut Dorado et al., 2004; Persulesy et al., 2022 densitas bahan bakar diesel tidak berpengaruh pada opsional mesin. Perbedaan dalam denstias hanya mempengaruhi kalori dan konsumsi bahan bakar. Hal ini karena jumlah bahan bakar yang masuk kedalam ruang mesin ditentuka secara volumetric. Semakin tinggi densitas bahan bakar, makin rendah nilai kalorinya, artinya bahan bakar semakin boros. Namun perbedaan nilai densitas yang diperoleh pada penelitian ini dengan SNI tidak signifikan terjadi.

Ma & Hanna, 1999; Prasetyo, 2018 menyatakan bahwa titik nyala (*flash point*) adalah suhu terendah dari suatu bahan bakar untuk menghasil percikan api. Semakin rendah titik nyala artinya resiko bahan bakar akan mudah terbakar semakin tinggi. Hal ini akan membahayakan dalam proses

penyimpanan. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) mengenai *flash point* yakni pada temperature min 100 °C, semua variasi sampel memenuhi syarat. Titik nyala masing-masing sampel berturut-turut adalah 176,6; 171,6 dan 171,1°C.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) mengenai destilasi 90% maksimal 360 °C, semua variasi sampel telah memenuhi syarat. Pengukuran kadar air adalah cara penentuan kandungan air yang terdapat pada sampel. Batas keberterimaan kandungan air produk biodiesel yang diijinkan menurut standar SNI yaitu 0,05 %-Volume. Kandungan air yang sangat kecil memungkinkan reaksi hidrolisis dalam bahan bakar biodiesel dapat dihindari. Reaksi hidrolisis dalam ruang mesin dapat menyebabkan kenaikan kadar asam lemak bebas dan juga kandungan air dalam bahan bakar dapat menyebabkan turunnya panas pembakaran, berbusa dan bersifat korosif jika bereaksi dengan sulfur karena akan membentuk asam (Ma & Hanna, 1999; Prasetyo, 2018). Hasil pengujian kadar air diketahui bahwa seluruh sampel melebihi SNI yakni berturut-turut sebesar 1,25; 1,23, dan 1,51 % volume. Hal ini dikarenakan waktu reaksi yang singkat dan proses pemurnian produk biodiesel yang kurang lama.

Asam lemak bebas yang terkonfersi mejadi metil ester ini dapat juga terlihat melalui nilai %FFA yang menurun karena perbedaan waktu reaksi yaitu berturut-turut 0,76; 0,8 dan 0,92 %. Standar Nasional Indonesia (SNI) mengenai kadar asam yang terkandung dalam biodiesel memiliki batasan yakni maksimum 0,8 %. Keadaan sampel yang memiliki angka asam diatas nilai maksimum SNI dapat menyebabkan korosif dan dapat menimbulkan kerak pada injektor mesin diesel. Berdasarkan dari hasil tersebut dibandingkan dengan SNI maka semua sampel telah memenuhi batasan angka asam yang ditetapkan.

KESIMPULAN

Waktu reaksi dalam pembuatan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi minyak jelantah dan metanol 1: 5 massa pada suhu 60°C dengan bantuan katalis bassa NaOH 0,6% massa memberikan hasil bervariasi. Rendemen sebanyak 80% didapatkan pada waktu reaksi 40 menit. Sedangkan waktu yang 30 dan 45 menit memberikan rendemen berturut-turut sebesar 79 dan 65 %. Parameter sifat kimia yang masuk Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk semua sampel adalah % FFA, pH, sedangkan kadar air berada diatas standar SNI. Parameter sifat fisika untuk semua sampel yang memenuhi SNI hanya pada nilai titik nyala (*flash point*), warna dan destilasi 90%. Sedangkan densitas seluruh sampel uji lebih rendah dibandingkan SNI yang ditetapkan sebesar 850-890 Kg/m³, hasil yang didapat untuk waktu reaksi 30, 40 dan 45 menit berturut-turut adalah 828, 833 dan 836 Kg/m³.

REFERENSI

Ahmad, H. S., Bialangi, N., & Salimi, Y. K. (2016). Pengolahan minyak jelantah menjadi biodiesel. *Jambura Journal of Educational Chemistry*, 11(2), 204–214.

- 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).
- Dorado, M. P., Ballesteros, E., López, F. J., & Mittelbach, M. (2004). Optimization of alkali-catalyzed transesterification of Brassica C arinata oil for biodiesel production. *Energy & Fuels*, 18(1), 77–83.
- Glisic, S. B., & Orlović, A. M. (2014). Review of biodiesel synthesis from waste oil under elevated pressure and temperature: Phase equilibrium, reaction kinetics, process design and techno-economic study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 708–725.
- Greever, J. C. (1995). *Organic Chemistry*, (Fessenden, Ralph J.; Fessenden, Joan S.). ACS Publications.
- Hadrah, H., Kasman, M., & Sari, F. M. (2018). Analisis minyak jelantah sebagai bahan bakar biodiesel dengan proses transesterifikasi. *Jurnal Daur Lingkungan*, 1(1), 16–21.
- Hajjari, M., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., & Ghanavati, H. (2017). A review on the prospects of sustainable biodiesel production: A global scenario with an emphasis on waste-oil biodiesel utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 445–464.
- Kapuji, A., Hadi, S., & Arifin, Z. (2021). Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak jelantah. *Jurnal Chemtech*, 7(1), 1–6.
- Konur, O. (2021). Waste oil-based biodiesel fuels: A scientometric review of the research. In *Biodiesel Fuels Based on Edible and Nonedible Feedstocks, Wastes, and Algae* (pp. 599–622). CRC Press.
- Ma, F., & Hanna, M. A. (1999). Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 70(1), 1–15.
- Maghami, M., Sadrameli, S. M., & Ghobadian, B. (2015). Production of biodiesel from fishmeal plant waste oil using ultrasonic and conventional methods. *Applied Thermal Engineering*, 75, 575–579.
- Muhammidah, A. (2019). Studi Variasi Waktu Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel Menggunakan Abu Batang Pisang Sebagai Katalis Heterogen Dengan Kosolven Aseton.
- Mukminin, A., Megawati, E., Warsa, I. K., Yuniarti, Y., Umoro, W. A., & Islamiati, D. (2022). Analisis Kandungan Biodiesel Hasil Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah Berdasarkan Perbedaan Konsentrasi Katalis NaOH Menggunakan GC-MS. *Sang Pencerah: Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton*, 8(1), 146–158.
- Ningtyas, D. P. (2013). Pengaruh Katalis Basa (NaOH) pada Tahap Reaksi Transesterifikasi terhadap Kualitas Biofuel dari Minyak Tepung Ikan Sardin. *Jurnal Teknosains*, 2(2).

- Persulesy, P. Y., Basri, K., & Suprpto, E. (2022). *Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Biodiesel Berbasis Biji Buah Nyamplung (Calophyllum Inophyllum) Terhadap Emisi Gas Buang Mesin Diesel*.
- Prasetyo, J. (2018). Studi Pemanfaatan Minyak Jelantah sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 2(2), 45–54.
- Rezeika, S. H., Ulfan, I., & Ni'mah, Y. L. (2018). Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Katalis NaOH dengan Variasi Waktu Reaksi Transesterifikasi dan Uji Performanya dengan Mesin Diesel. *Akta Kimia Indonesia*, 3(2), 175. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v3i2.3098>
- Sinaga, S. V., Haryanto, A., & Triyono, S. (2014). Pengaruh suhu dan waktu reaksi pada pembuatan biodiesel dari minyak jelantah. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal Of Agricultural Engineering)*, 3(1).
- Siswani, E. D., & Susila Kristianingrum, S. (2012). Sintesis dan Karakterisasi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Pada Berbagai Waktu Dan Suhu. *Seminar Nasional MIPA FMIPA UNY*.
- Yoeswono, T., & Tahir, I. (2007). The Use of Ash of Palm Empty Fruit Bunches as a Source of K₂CO₃ Catalyst for Synthesis of Biodiesel from Coconut Oil with Methanol. *Proceeding International Conference of Chemical Science, Yogyakarta*, 24–26.
- Yulianti, N. (2002). *Pembuatan Biodiesel-oil dari Minyak Kelapa*. Fakultas Teknik Universtas Gadjah Mada Yogyakarta, Laporan Penelitian.