

## PENGARUH RASIO KATALIS NAOH PADA PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH DENGAN PROSES ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI

**Nina Arlofa, Rohanah**

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Serang Raya  
[nina.arlofa@unsera.ac.id](mailto:nina.arlofa@unsera.ac.id)

### ABSTRAK

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui, dikembangkan sebagai substitusi minyak diesel berbasis fosil. Dalam penelitian ini, minyak goreng bekas (jelantah) dimanfaatkan sebagai bahan baku utama. Proses produksi biodiesel meliputi tahap pretreatment, esterifikasi, transesterifikasi, serta pemisahan. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah konsentrasi katalis  $H_2SO_4$  dan NaOH sebesar 0,5%, 1%, dan 1,5%, sedangkan variabel terikat mencakup volume biodiesel yang dihasilkan dan karakteristik fisikokimia, yaitu densitas, viskositas, serta kadar asam lemak bebas (FFA). Berdasarkan analisis bahan baku, diperoleh densitas sebesar 0,876 g/mL, viskositas 64,261 cSt, dan kadar FFA 12,83%. Adapun hasil karakterisasi produk biodiesel menunjukkan bahwa pada penggunaan katalis 0,5% diperoleh densitas 0,846 g/mL, viskositas 5,961 cSt, dan kadar FFA 0,0192%. Sementara itu, pada konsentrasi katalis 1% diperoleh densitas 0,853 g/mL, viskositas 7,452 cSt, dan kadar FFA 0,0234%; serta pada 1,5% diperoleh densitas 0,881 g/mL, viskositas 10,620 cSt, dan kadar FFA 0,0286%. Hasil terbaik yang mendekati standar SNI untuk biodiesel dicapai pada penggunaan katalis 0,5%, yang menunjukkan karakteristik fisikokimia paling sesuai.

**Kata kunci:** biodiesel, minyak jelantah, transesterifikasi, katalis, karakteristik bahan bakar

### ABSTRACT

*Biodiesel is an environmentally friendly and renewable alternative fuel developed as a substitute for fossil-based diesel. In this study, used cooking oil (waste cooking oil) was utilized as the main raw material. The biodiesel production process included pretreatment, esterification, transesterification, and separation stages. The independent variable in this study was the concentration of  $H_2SO_4$  and NaOH catalysts at 0.5%, 1%, and 1.5%, while the dependent variables were the volume of biodiesel produced and its physicochemical properties, including density, viscosity, and free fatty acid (FFA) content. Analysis of the raw material showed a density of 0.876 g/mL, viscosity of 64.261 cSt, and FFA content of 12.83%. The characterization of the resulting biodiesel revealed that the use of 0.5% catalyst produced biodiesel with a density of 0.846 g/mL, viscosity of 5.961 cSt, and FFA content of 0.0192%. At 1% catalyst concentration, the values obtained were a density of 0.853 g/mL, viscosity of 7.452 cSt, and FFA content of 0.0234%, while at 1.5%, the density was 0.881 g/mL, viscosity was 10.620 cSt, and FFA content was 0.0286%. The optimal result that most closely met the Indonesian National Standard (SNI) for biodiesel was achieved with a 0.5% catalyst concentration, showing the most appropriate physicochemical characteristics.*

**Keywords:** biodiesel, waste cooking oil, transesterification, catalyst, fuel properties

## Pendahuluan

Kebutuhan akan energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan semakin mendesak seiring dengan menipisnya cadangan bahan bakar fosil dan meningkatnya kesadaran akan dampak emisi gas rumah kaca. Salah satu solusi yang telah banyak dikembangkan adalah biodiesel, yaitu bahan bakar alternatif yang dapat diproduksi dari minyak nabati atau lemak hewani melalui proses transesterifikasi (Demirbas, 2009). Biodiesel memiliki sifat biodegradable, tidak beracun, dan emisi karbon yang lebih rendah dibandingkan solar konvensional (Atabani *et al.*, 2012).

Minyak goreng bekas atau minyak jelantah merupakan salah satu bahan baku potensial dalam produksi biodiesel karena ketersediaannya yang melimpah, biaya rendah, serta upaya mengurangi pencemaran lingkungan akibat pembuangan limbah minyak (Kulkarni & Dalai, 2006). Namun, karakteristik minyak jelantah yang memiliki kadar asam lemak bebas (FFA) tinggi dapat menjadi kendala dalam proses transesterifikasi langsung. Oleh karena itu, diperlukan tahap pretreatment untuk menurunkan kadar FFA sebelum dilakukan proses transesterifikasi menggunakan katalis basa seperti NaOH atau KOH (Lam *et al.*, 2010).

Di beberapa negara maju seperti Jerman, Jepang, dan Amerika Serikat, biodiesel dari minyak jelantah telah dikembangkan secara komersial dengan berbagai nama seperti FAME (Fatty Acid Methyl Ester), Frittdiesel, Ecodiesel, dan e-oil (Ananta, 2002). Di Indonesia, pemanfaatan minyak jelantah sebagai biodiesel belum optimal, meskipun potensinya sangat besar. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa konsentrasi katalis berpengaruh signifikan terhadap efisiensi reaksi transesterifikasi dan kualitas biodiesel yang dihasilkan (Rizwanul Fattah *et al.*, 2014).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi katalis  $H_2SO_4$  dan NaOH terhadap karakteristik biodiesel yang dihasilkan dari minyak jelantah, khususnya terhadap densitas, viskositas, dan kadar FFA. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap pemanfaatan limbah minyak jelantah sebagai energi alternatif sekaligus mendukung pengembangan biodiesel yang sesuai dengan standar mutu nasional (SNI).

## Tinjauan Pustaka

### Biodiesel sebagai Energi Alternatif

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang banyak diteliti karena sifatnya yang ramah lingkungan, dapat terurai secara hayati, dan memiliki potensi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Biodiesel terdiri dari metil ester asam lemak yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi antara trigliserida dan alkohol, dengan bantuan katalis (Demirbas, 2009). Keunggulan biodiesel meliputi kompatibilitas dengan mesin diesel konvensional, titik nyala yang tinggi, serta emisi karbon monoksida dan hidrokarbon yang lebih rendah dibandingkan solar berbasis fosil (Atabani *et al.*, 2012).

### Minyak Jelantah sebagai Bahan Baku Biodiesel

Minyak goreng bekas (jelantah) merupakan limbah rumah tangga dan industri makanan yang sangat potensial untuk diolah menjadi biodiesel. Penggunaannya sebagai bahan baku biodiesel tidak hanya mengurangi biaya produksi, tetapi juga memberikan solusi terhadap permasalahan limbah dan pencemaran lingkungan (Lam *et al.*, 2010). Menurut penelitian Sari *et al.* (2020) yang dipublikasikan dalam *Jurnal Teknologi*, minyak jelantah dapat digunakan sebagai bahan baku biodiesel setelah melalui proses pra-perlakuan untuk menurunkan kadar asam lemak bebas yang tinggi agar tidak menghambat reaksi transesterifikasi.

### Proses Transesterifikasi dan Peran Katalis

Proses utama dalam pembuatan biodiesel adalah transesterifikasi, yaitu reaksi kimia antara trigliserida dan alkohol (biasanya metanol) dengan bantuan katalis basa atau asam. Katalis basa seperti NaOH atau KOH umumnya digunakan karena mampu mempercepat reaksi dan menghasilkan rendemen tinggi (Kulkarni & Dalai, 2006). Namun, pada bahan baku dengan kadar FFA tinggi, diperlukan tahap esterifikasi awal menggunakan katalis asam seperti  $H_2SO_4$  untuk menghindari pembentukan sabun yang dapat menurunkan efisiensi proses (Rizwanul Fattah *et al.*, 2014). Dalam studi yang dilakukan oleh Yuliani & Hadiyanto (2019) pada *Jurnal Reaktor* ditemukan bahwa variasi konsentrasi katalis mempengaruhi densitas, viskositas, serta kadar FFA dari biodiesel yang dihasilkan.

### Standar Kualitas Biodiesel

Agar dapat digunakan secara luas, biodiesel harus memenuhi standar mutu tertentu seperti Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182:2015 yang mencakup parameter seperti densitas, viskositas, kandungan FFA, dan angka setana. Penelitian oleh Astuti *et al.* (2021) dalam *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan* menunjukkan bahwa penggunaan katalis yang tepat dapat menghasilkan biodiesel dari minyak jelantah yang memenuhi standar SNI.

### Metode Penelitian

#### Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga jenis variabel, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah konsentrasi katalis yang digunakan, yakni  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{NaOH}$  dengan variasi masing-masing sebesar 0,5%, 1%, dan 1,5% terhadap volume minyak jelantah. Variabel terikat meliputi jumlah biodiesel yang dihasilkan serta karakteristik fisikokimianya, yaitu densitas, viskositas, dan kadar asam lemak bebas (Free Fatty Acid/FFA). Sementara itu, variabel kontrol dalam penelitian ini adalah spesifikasi alat dan bahan yang digunakan tetap konstan, termasuk perlakuan suhu dan volume reaktan yang seragam pada setiap tahapan proses (Lam et al., 2010).

#### Prosedur Pembuatan Biodiesel

Proses produksi biodiesel dalam penelitian ini terdiri atas empat tahap utama, yaitu **pretreatment**, **esterifikasi**, **transesterifikasi**, dan **pemisahan produk**. Prosedur ini disusun berdasarkan metode standar produksi biodiesel dari bahan baku berkadar FFA tinggi (Kulkarni & Dalai, 2006).

#### Pretreatment

Minyak goreng bekas (jelantah) yang digunakan sebagai bahan baku disaring menggunakan kertas saring untuk menghilangkan partikel padat atau kotoran tersuspensi. Proses ini bertujuan untuk memurnikan minyak sebelum proses kimia dilakukan.

#### Esterifikasi

Proses esterifikasi dilakukan untuk menurunkan kadar FFA dalam minyak jelantah. Sebanyak 100 mL minyak dipanaskan hingga suhu  $50^\circ\text{C}$ , kemudian ditambahkan campuran metanol (20 mL) dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (dalam variasi 0,3 mL, 0,5 mL, dan 0,8 mL). Campuran ini kemudian dipanaskan sambil diaduk pada suhu  $60^\circ\text{C}$  selama 90 menit. Reaksi ini bertujuan mengkonversi FFA menjadi metil ester, sehingga mencegah terbentuknya sabun pada tahap transesterifikasi.

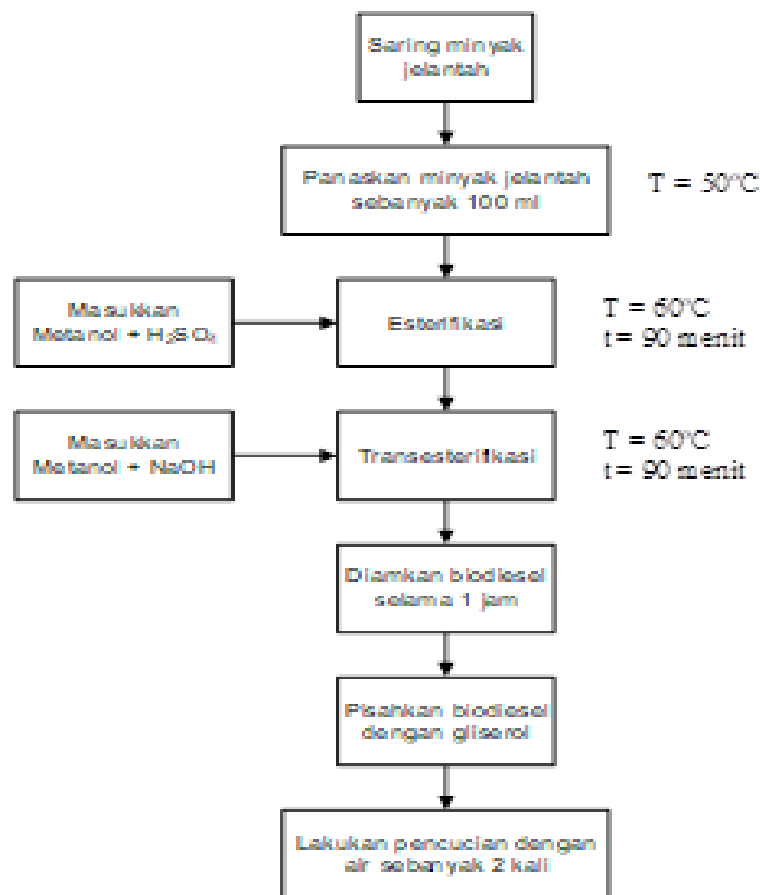
#### Transesterifikasi

Setelah proses esterifikasi, minyak hasil perlakuan kemudian digunakan dalam proses transesterifikasi. Proses ini diawali dengan pembuatan larutan metoksida, yaitu dengan melarutkan  $\text{NaOH}$  (dalam variasi 0,5 g, 1 g, dan 1,5 g) ke dalam 20 mL metanol. Larutan metoksida ini kemudian ditambahkan ke dalam 100 mL minyak jelantah yang telah dipanaskan sebelumnya hingga suhu  $50^\circ\text{C}$ . Selanjutnya, campuran tersebut dipanaskan dan diaduk secara konstan pada suhu  $60^\circ\text{C}$  selama 90 menit. Proses ini berfungsi mengubah trigliserida menjadi metil ester (biodiesel) dan gliserol sebagai produk samping (Meher et al., 2006).

#### Pemisahan dan Analisis Produk

Setelah proses transesterifikasi selesai, campuran didiamkan selama satu jam agar gliserol mengendap. Lapisan atas yang mengandung biodiesel kemudian dipisahkan dan dicuci menggunakan air suling (aquades) sebanyak dua kali guna menghilangkan sisa metanol,

katalis, dan kontaminan lain yang tersisa. Setelah proses pencucian, biodiesel dikeringkan dan disimpan untuk analisis lebih lanjut (Rizwanul Fattah et al., 2014). Analisis biodiesel meliputi uji densitas, viskositas dan bilangan asam.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah

## Hasil Dan Pembahasan

### Karakteristik Awal Minyak Jelantah

Minyak jelantah yang digunakan dalam penelitian ini memiliki viskositas awal sebesar 64,261 cSt, menunjukkan kekentalan yang cukup tinggi. Nilai viskositas ini tidak sesuai dengan kriteria bahan bakar mesin, sehingga perlu diturunkan melalui proses transesterifikasi agar mendekati viskositas minyak solar, yaitu antara 2,3–6,0 mm<sup>2</sup>/s menurut SNI 7182:2015 (BSN, 2015).

Selain itu, densitas minyak jelantah tercatat sebesar 0,8764 g/mL. Nilai ini masih berada dalam kisaran standar densitas minyak jelantah menurut Hasibuan (2012), yaitu 0,85–0,94 g/mL. Perubahan visual juga diamati, dari warna coklat pekat pada minyak jelantah menjadi kuning cerah setelah proses transesterifikasi, menunjukkan indikasi awal terjadinya perubahan struktur kimia menjadi metil ester (biodiesel), sebagaimana juga dijelaskan oleh Ma dan Hanna (1999).



Gambar 2. Perbandingan warna minyak jelantah dan biodiesel

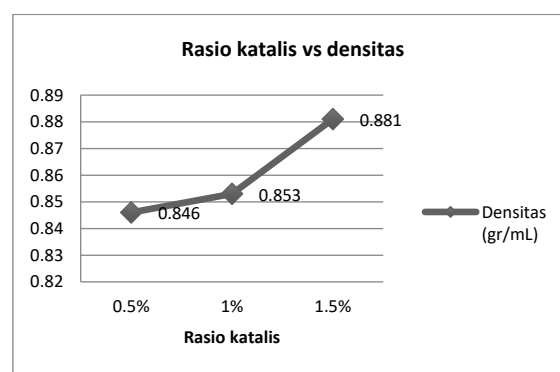
### Pengaruh Rasio Katalis terhadap Rendemen dan Mutu Biodiesel

Katalis yang digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH), yang dipilih karena energi ionisasinya lebih rendah dibandingkan kalium hidroksida (KOH), sehingga mempercepat reaksi (Fahma et al., 2012). Tiga variasi konsentrasi katalis diuji, yakni 0,1%, 1%, dan 1,5%. Hasil menunjukkan bahwa rasio katalis 0,1% menghasilkan kadar metil ester sebesar 98%, sedangkan 1% dan 1,5% masing-masing menghasilkan 70% dan 50%. Hanya kadar katalis 0,1% yang memenuhi standar metil ester minimum sebesar 96,5% sesuai dengan SNI 7182:2015. Hal ini menunjukkan efisiensi konversi trigliserida menjadi metil ester tertinggi terjadi pada rasio katalis terendah, dan mendukung pernyataan Knothe et al. (2005) bahwa penggunaan katalis berlebih dapat menurunkan efisiensi akibat reaksi penyabunan.

Hasil ini sejalan dengan penelitian oleh Hossain dan Boyce (2009) yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi katalis di atas ambang optimum menyebabkan penurunan yield biodiesel karena terbentuknya emulsi sabun yang menyulitkan pemisahan fase. Sementara itu, Affandi et al. (2013) juga melaporkan hasil serupa pada transesterifikasi minyak jelantah dengan katalis KOH, di mana penggunaan katalis di atas 1% menyebabkan pemborosan bahan dan rendemen biodiesel rendah.

### Pengaruh Rasio Katalis terhadap Densitas

Densitas biodiesel hasil transesterifikasi menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya rasio katalis, dengan nilai tertinggi sebesar 0,881 g/mL pada konsentrasi 1,5% (Gambar 3.2). Seluruh sampel biodiesel memenuhi standar densitas SNI, yaitu 0,85–0,89 g/mL (BSN, 2015). Peningkatan densitas kemungkinan disebabkan oleh keterikatan air selama proses pencucian dan pemurnian yang kurang optimal (Affandi et al., 2013). Nilai densitas yang terlalu tinggi juga dapat mengindikasikan masih adanya sisa senyawa berat seperti gliserol atau reagen yang tidak bereaksi (Gui et al., 2008).

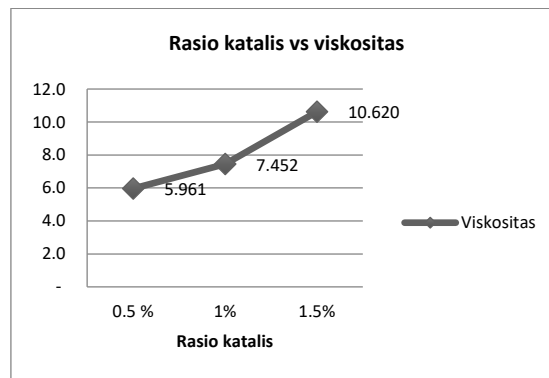


Gambar 3. Grafik pengaruh rasio katalis terhadap densitas biodiesel

### Pengaruh Rasio Katalis terhadap Viskositas

Viskositas biodiesel berbanding lurus dengan densitas. Nilai viskositas tertinggi diperoleh pada rasio katalis 1,5%, dan hanya pada rasio 0,1% yang memenuhi standar SNI 7182:2015 sebesar 5,691 cSt (Gambar 3.3). Semakin tinggi viskositas, semakin sulit proses atomisasi dan pengabutan bahan bakar, yang berdampak pada performa mesin dan emisi gas buang

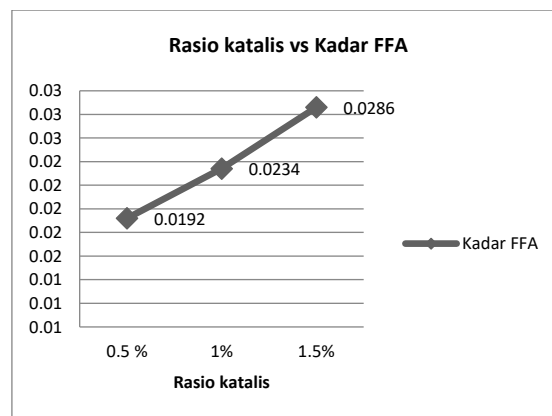
(Demirbas, 2009). Reaksi penyabunan akibat kelebihan katalis juga turut memperburuk viskositas produk akhir (Adhari et al., 2016).



Gambar 4. Grafik pengaruh rasio katalis terhadap viskositas biodiesel

### Pengaruh Rasio Katalis terhadap Angka Asam (Free Fatty Acid, FFA)

Angka asam merupakan indikator penting dalam menilai kualitas biodiesel. Nilai FFA dari sampel biodiesel meningkat seiring bertambahnya jumlah katalis: 0,0192 pada 0,1%, 0,0234 pada 1%, dan 0,0286 pada 1,5% (Gambar 3.4). Seluruh nilai tersebut masih berada di bawah batas maksimum SNI sebesar 0,5 mg KOH/g. Meskipun demikian, peningkatan FFA menunjukkan potensi terjadinya reaksi hidrolisis atau incomplete conversion (Marchetti et al., 2007). Penurunan angka asam umumnya menandakan keberhasilan reaksi esterifikasi, sedangkan peningkatan dapat menjadi indikasi adanya degradasi akibat kelembaban atau suhu berlebih.



Gambar 5. Grafik pengaruh rasio katalis terhadap kadar FFA

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa proses transesterifikasi minyak jelantah dengan variasi rasio katalis NaOH memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas biodiesel yang dihasilkan. Rasio katalis NaOH sebesar 1% terbukti menghasilkan biodiesel dengan kualitas paling optimal, ditandai oleh kadar metil ester sebesar 98%, viskositas sebesar 5,691 cSt, dan angka asam 0,0192 mg-KOH/g. Seluruh parameter tersebut telah memenuhi persyaratan kualitas biodiesel berdasarkan SNI 7182:2015.

Namun demikian, peningkatan rasio katalis di atas 1% justru menurunkan kualitas biodiesel akibat terbentuknya reaksi samping seperti penyabunan, yang menyebabkan peningkatan viskositas dan angka asam. Fenomena ini menunjukkan bahwa penggunaan katalis dalam jumlah berlebihan tidak hanya tidak meningkatkan efisiensi, tetapi juga berdampak negatif terhadap mutu produk akhir.

Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa studi terdahulu yang menekankan pentingnya optimasi rasio katalis untuk memperoleh rendemen dan mutu biodiesel yang maksimal dari bahan baku minyak bekas pakai (Hossain & Boyce, 2009; Suseno et al., 2021). Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi biodiesel berbasis limbah, yang tidak hanya mendukung pemanfaatan energi terbarukan tetapi juga sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular dan pengelolaan limbah rumah tangga yang berkelanjutan.

### Daftar Pustaka

- Adhari, R., Sugiharto, S., & Widodo, W. (2016). Pengaruh konsentrasi katalis terhadap kualitas biodiesel dari minyak goreng bekas dengan proses transesterifikasi. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), A155–A158.
- Affandi, D. R., Roesyadi, A., & Trisunaryanti, W. (2013). Studi pengaruh konsentrasi katalis KOH terhadap kualitas biodiesel dari minyak jelantah. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 35(1), 45–52.
- Affandi, D. R., Susanto, H., & Putra, R. H. (2013). Pengaruh variasi jumlah katalis KOH terhadap kualitas biodiesel dari minyak jelantah. *Jurnal Teknik ITS*, 2(2), A215–A219. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v2i2.4193>
- Ananta, A. (2002). *Minyak Jelantah sebagai Bahan Bakar Alternatif Biodiesel*. Jakarta: Pustaka Teknika.
- Astuti, R., Hidayat, N., & Cahyono, R. B. (2021). Pengaruh Rasio Katalis terhadap Karakteristik Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 13(1), 10–18. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol13.iss1.art2>
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., & Fayaz, H. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 2070–2093. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.003>
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). *SNI 7182:2015 – Biodiesel – Spesifikasi*.
- Demirbas, A. (2009). Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management*, 50(1), 14–34. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.09.001>
- Fahma, F., Irawan, A., & Sakti, S. C. W. (2012). Sintesis biodiesel dari minyak jelantah dengan metode transesterifikasi menggunakan katalis basa NaOH dan KOH. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 8(1), 1–7.
- Gui, M. M., Lee, K. T., & Bhatia, S. (2008). Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. waste edible oil as biodiesel feedstock. *Energy*, 33(11), 1646–1653. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.06.002>

- Hasibuan, H. A. (2012). Produksi biodiesel dari minyak jelantah dengan menggunakan katalis heterogen CaO. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 1(1), 1–8.
- Hossain, A. B. M. S., & Boyce, A. N. (2009). Biodiesel production from waste sunflower cooking oil as an environmental recycling process and renewable energy. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15(4), 312–317.
- Knothe, G., Van Gerpen, J. H., & Krah, J. (2005). *The Biodiesel Handbook*. Champaign: AOCS Press.
- Kulkarni, M. G., & Dalai, A. K. (2006). Waste cooking oil—An economical source for biodiesel: A review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45(9), 2901–2913. <https://doi.org/10.1021/ie0510526>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.03.002>
- Ma, F., & Hanna, M. A. (1999). Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 70(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00025-5](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00025-5)
- Marchetti, J. M., Miguel, V. U., & Errazu, A. F. (2007). Possible methods for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(6), 1300–1311. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.08.006>
- Rizwanul Fattah, I. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Ashraful, A. M., Abedin, M. J., & Sanjid, A. (2014). Effect of antioxidant on the performance and emissions of a diesel engine fueled with palm biodiesel blends. *Energy Conversion and Management*, 79, 265–272. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.12.055>
- Sari, A. R., Yuniarto, A., & Nur, M. (2020). Produksi Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Heterogen CaO. *Jurnal Teknologi*, 13(2), 145–151. <https://doi.org/10.14710/jt.v13i2.145-151>
- Yuliani, R., & Hadiyanto. (2019). Optimasi Proses Transesterifikasi Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Respon Permukaan. *Jurnal Reaktor*, 19(3), 155–161. <https://doi.org/10.14710/reaktor.19.3.155-161>