

PEMBUATAN BIODIESEL DARI CPO *OFF GRADE* MENGGUNAKAN KATALIS KOH DENGAN METODE RADIASI GELOMBANG MIKRO

Mulyadi¹, Aneasari Meidinariasty², Muhammad Taufik²

Program Studi Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

Email : mul180400@gmail.com

ARTICLE HISTORY

Received:

22 September 2023

Revised

24 September 2023

Accepted:

25 September 2023

Online Available:

30 September 2023

Kata Kunci :

Biodiesel, CPO Off Grade, Gelombang Mikro, SNI Biodiesel

Keywords :

Biodiesel, Off Grade CPO, Microwave, Indonesian National For Biodiesel

*Correspondence:

Name : Mulyadi

E-mail:

mul180400@gmail.com

Abstrak

Biodiesel merupakan sumber energi alternatif yang dapat menggantikan bahan bakar solar berbasis minyak bumi. Pada penelitian ini pembuatan biodiesel menggunakan bahan baku dari CPO Off Grade, dilakukan dengan radiasi gelombang mikro. Pemanasan dalam oven microwave memiliki karakteristik yang berbeda dari pemanasan tradisional, karena panas dihasilkan secara internal sebagai akibat dari getaran molekul bahan yang dipanaskan oleh gelombang mikro. Faktor yang mempengaruhi produksi biodiesel adalah rasio molar umpan dan waktu. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio mol umpan (1:6, 1:12) dan waktu (10, 20, 30, 40 dan 50 menit) yang digunakan terhadap kualitas dari biodiesel yang dihasilkan. Analisis yang dilakukan meliputi analisis nilai rendemen, densitas, viskositas, bilangan asam, titik nyala dan kadar air. Rendemen biodiesel yang diperoleh memenuhi standar SNI, dimana rendemen, densitas, angka asam, kadar air dan titik nyala berturut-turut adalah 40.916%, 0.883 – 0.879 gr/cm³, 0.2805 – 0.561%, 0%, 163.5 – 201.2 °C.

Abstract

Biodiesel is an alternative energy source that can replace petroleum-based diesel fuel. In this study, the production of biodiesel using raw materials from CPO Off Grade was carried out using microwave radiation. Heating in a microwave oven has different characteristics from traditional heating, because heat is generated internally as a result of the vibration of the molecules of the material being heated by microwaves. Factors that affect biodiesel production are feed molar ratio and time. Therefore, this research was conducted to determine the effect of feed mole ratios (1:6, 1:12) and time (10, 20, 30, 40 and 50 minutes) used on the quality of the biodiesel produced. The analysis performed included analysis of yield value, density, viscosity, acid number, flash point and water content. The yield of biodiesel obtained complies with SNI standards, where the yield, density, acid number, moisture content and flash point are 40.916%, 0.883 – 0.879 gr/cm³, 0.2805 – 0.561%, 0%, 163.5 – 201.2 °C.

PENDAHULUAN

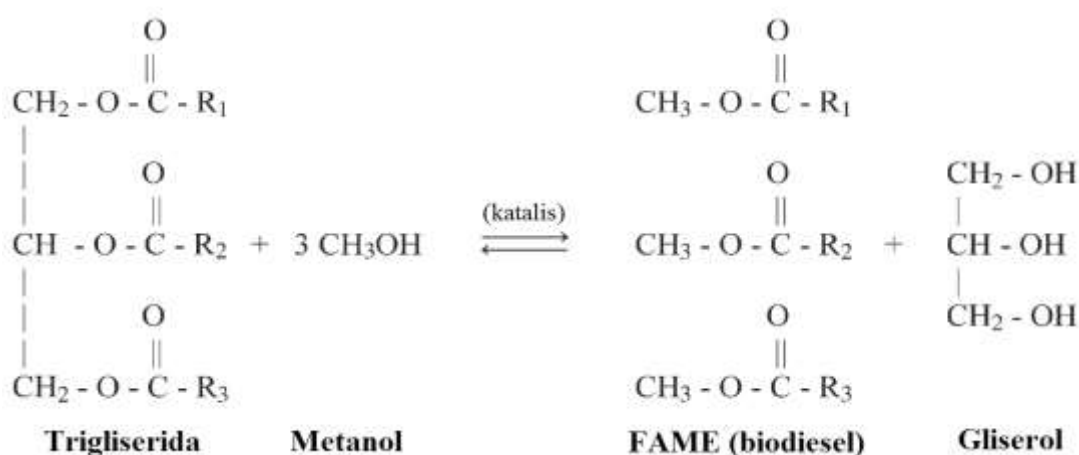
Perkembangan teknologi dan industri mendorong penggunaan bahan bakar fosil, sehingga keberadaannya semakin menipis. Bahan bakar jenis ini bukanlah bahan bakar yang dapat diperbarui, sehingga dapat menyebabkan kekurangan energi di masa yang akan datang. Saat ini, jalanan dipenuhi oleh pengguna kendaraan berbahan bakar jenis bensin dan solar, yang konsumsi pertahunnya mengalami kenaikan 1,1% sebagai dampak pertumbuhan industri otomotif. Keperluan bagian transportasi dalam menggunakan bahan bakar cair diperkirakan 63% pada tahun 2040. Berbagai usaha terus dikembangkan untuk mencari solusi alternatif bahan bakar fosil, diantaranya pengembangan produksi biodiesel sebagai alternatif bahan bakar fosil (Yudha et al., 2017).

Minyak kelapa sawit menjadi peluang yang unggul dijadikan sebagai bahan pengganti produksi biodiesel, minyak sawit mengandung nilai ekstraksi sebesar 28%. Sebagai penghasil minyak sawit yang melimpah, Indonesia memiliki tujuan mewujudkan penggunaan 25% energi terbarukan pada tahun 2025 dalam hal transformasi energi (Mardawati et al., 2019).

Mekanisme perdagangan minyak sawit mentah diatur berdasarkan persyaratan mutu, persyaratan mutu yang berlaku yaitu SNI 01-2901-2006 yang menetapkan ALB tidak boleh diatas 5% (Ariana & Riska, 2016). Kendala yang sering terjadi dalam pengolahan kelapa sawit penurunan kualitas minyak sawit yang dihasilkan akibat dari kadar asam lemak bebas tinggi sehingga menyebabkan nilai jual minyak sawit rendah (Meriatna et al., 2020).

Minyak sawit yang memiliki kadar ALB diatas 5% tidak sehat untuk di konsumsi, sehingga pembeli harus memproses lebih lanjut untuk menurunkan angka asamnya. Pihak pembeli memerlukan kualitas ini untuk meningkatkan efisiensi pengolahan CPO tahap berikutnya, seperti pembuatan minyak goreng. Oleh karena itu, CPO kadar asam tinggi lebih efisien dijadikan bahan utama produksi biodiesel (Mardawati dkk., 2019).

Dengan proses transesterifikasi, trigliserida dalam minyak kelapa sawit bereaksi dengan alkohol menghasilkan biodiesel yang bisa menjadi alternatif minyak solar. Proses ini juga menghasilkan produk sampingan berupa gliserin.



Gambar 1. Reaksi Transesterifikasi

Biodiesel juga bisa dihasilkan dari reaksi esterifikasi dengan bantuan katalis asam maupun esterifikasi-transesterifikasi. Penggunaan reaksi menyesuaikan kandungan kadar asam lemak bahan baku yang digunakan. Transesterifikasi bisa dilakukan apabila kadar ALB bahan baku dibawah 3%. Kadar ALB yang tinggi mengakibatkan reaksi saponifikasi yang dapat mempengaruhi kualitas biodiesel (Haryanto dkk., 2015).

Salah langkah untuk mengurangi konsumsi energi dan waktu dalam produksi biodiesel yaitu dengan penggunaan gelombang mikro. Proses produksi biodiesel telah banyak dilakukan dengan bantuan gelombang mikro (Putra dkk., 2012 ; Haryanto dkk., 2015). Gelombang mikro bisa merambat melalui cairan, menyebabkan proses pemanasan lebih efisien dan proses produksi biodiesel dapat dilakukan dengan waktu yang lebih cepat. Pemanasan dari gelombang mikro dipengaruhi oleh intensitas daya dan durasi gelombang. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh daya gelombang mikro terhadap perbandingan rasio mol umpan dan waktu reaksi terhadap rendemen dan kualitas biodiesel dari minyak kelapa sawit menggunakan radiasi gelombang mikro.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Satuan Proses dan Laboratorium Satuan Operasi Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya. Peralatan yang digunakan berupa oven microwave yang telah dilengkapi dengan komponen pendukung lainnya, labu leher satu, gelas kimia, labu erlenmeyer, kondensor, corong pisah, termometer, neraca analitik, kaca arloji, spatula, batang pengaduk, pipet ukur, pipet tetes, bola karet, seperangkat alat titrasi, oven pengering, cawan porselen, piknometer, viskometer, seperangkat alat flash point dan botol untuk produk hasil. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah CPO Off Grade, Metanol (CH_3OH), Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), Asam Sulfat (H_2SO_4), Kalium Hidroksida (KOH), Indikator PP dan Air Suling.

1. Preparasi CPO Off Grade

CPO *Off Grade* yang diperoleh dari PT. Sriwijaya Palm Oil Indonesia dipanaskan terlebih dahulu sampai menjadi fase cair. CPO *Off Grade* yang sudah cair dianalisis kadar %FFA untuk mengetahui penurunan kadar %FFA pada tahapnya.

2. Proses Esterifikasi

Menimbang 100 gr CPO *Off Grade* dimasukan ke dalam labu leher satu dan ditambahkan metanol dengan rasio mol minyak dan methanol 1:20. Kemudian Menambahkan asam sulfat (H_2SO_4) sebagai katalis sebanyak 2% dari berat minyak dan methanol. Lalu dilakukan pemanasan dengan *microwave* dengan temperatur 65°C selama 40 menit. Kemudian melakukan pendinginan, pemisahan, pencucian dengan aquadest 40°C dan penguapan menggunakan oven selama 1 jam pada temperatur 105°C . Selanjutnya Menganalisis kadar FFA produk.

3. Proses Transesterifikasi

CPO dari proses esterifikasi ditambahkan metanol sesuai dengan variable umpan 1:6, 1:12. Selanjutnya menambahkan katalis KOH sebanyak 1,0% dari berat

umpan sesuai variabel variasi rasio mol umpan. Kemudian dilakukan pemanasan didalam *microwave* sesuai variabel waktu yang telah ditentukan 10, 20, 30, 40 50 (menit). Melakukan pendinginan dan pemisahan produk menggunakan corong pisah, lapisan atas berupa metanol sisa reaksi transesterifikasi, lapisan tengah berupa produk biodiesel dan lapisan bawah gliserol (produk samping). Selanjutnya biodiesel dilakukan pencucian dengan aquadest 40°C sampai dengan pH netral. Setelah itu dikeringkan dengan temperatur 105°C selama 30 menit untuk menghilsngkan air yang terikat dalam produk biodiesel. Memasukan biodiesel ke dalam botol kaca dan melakukan analisa.

4. Rendemen

Menghitung volume biodiesel yang dihasilkan untuk menghitung massa produk. Rasio massa produk terhadap bahan mentah dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{Massa Produk}}{\text{Berat Sampel}} \times 100\%$$

5. Kadar %FFA dan Angka Asam

Biodiesel sebanyak 2 gr dimasukkan ke dalam erlenmeyer, menambahkan 5 ml etanol aduk sampai homogen, meneteskan indikator PP sebanyak 3 tetes, selanjutnya melakukan titrasi menggunakan larutan KOH 0,1 N hingga mencapai warna merah jambu yang bertahan selama 30 detik.

$$\% \text{ FFA} = \frac{\text{ml KOH} \times \text{N KOH} \times \text{BM Asam Lemak}}{\text{Berat Sampel}} \times 100\%$$

$$\text{Bilangan Asam} = \frac{\text{ml KOH} \times \text{N KOH} \times 56,1}{\text{Berat Sampel}}$$

6. Massa Jenis

Memanaskan aquadest (40°C), mengetahui massa piknometer kosong dan kering, kemudian memasukan aquadest 40°C (992,24 kg/m³). Menghitung Massa Aquadest = (Massa Pikno + Aquadest) – Massa Pikno Kosong. Dengan langkah kerja yang sama dilakukan untuk mengetahui massa biodiesel.

$$\text{Volume Piknometer (V)} = \frac{\text{Berat Aquadest (m)}}{\text{Massa Jenis Aquadest } (\rho)}$$

$$\text{Massa Jenis } (\rho) = \frac{\text{Berat Biodiesel (m)}}{\text{Volume Piknometer (V)}}$$

7. Viskositas Kinematik

Memanaskan biodiesel (40°C), memasukan biodiesel ke dalam viskometer hingga penuh, kemudian memasukan bola berjenis Nickel Iron Alloy, Menempatkan bola di permukaan viskometer kemudian dilepaskan dan mengamati waktu yang diperlukan bola untuk menempuh jarak sejauh 10 cm, dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali.

$$\text{Waktu Tempuh (t)} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$$

$$\text{Viskositas Dinamik } (\mu) = K (\rho_1 - \rho_2) t$$

$$\text{Viskositas Kinematik (v)} = \frac{\text{Viskositas Dinamik } (\mu)}{\text{Massa Jenis Sampel } (\rho_2)}$$

ρ_1 = massa jenis bola

ρ_2 = massa jenis sampel

nilai K dan ρ_1 didapatkan dari tabel

8. Kadar Air

Menimbang cawan porselen kering, menambahkan ± 5 gr biodiesel ke dalam cawan porselen, mencatat berat total sebelum di keringkan. Mengeringkan biodiesel selama 2 jam dengan temperatur 105°C di dalam oven, kemudian didinginkan di dalam desikator, setelah dingin cawan porselen yang berisi sampel ditimbang

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{\text{Berat Air Teruapkan}}{\text{Berat Sampel}} \times 100\%$$

9. Titik Nyala

Membersihkan alat *flash point tester* dan menghubungkan semua perangkat *flash point tester*, mengisi bejana logam dengan sampel biodiesel hingga tanda batas, mengatur pemanasan dengan kenaikan suhu $5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$, kemudian diamati hingga uap zat pertama kali terbakar dan temperature zat tersebut dicatat.

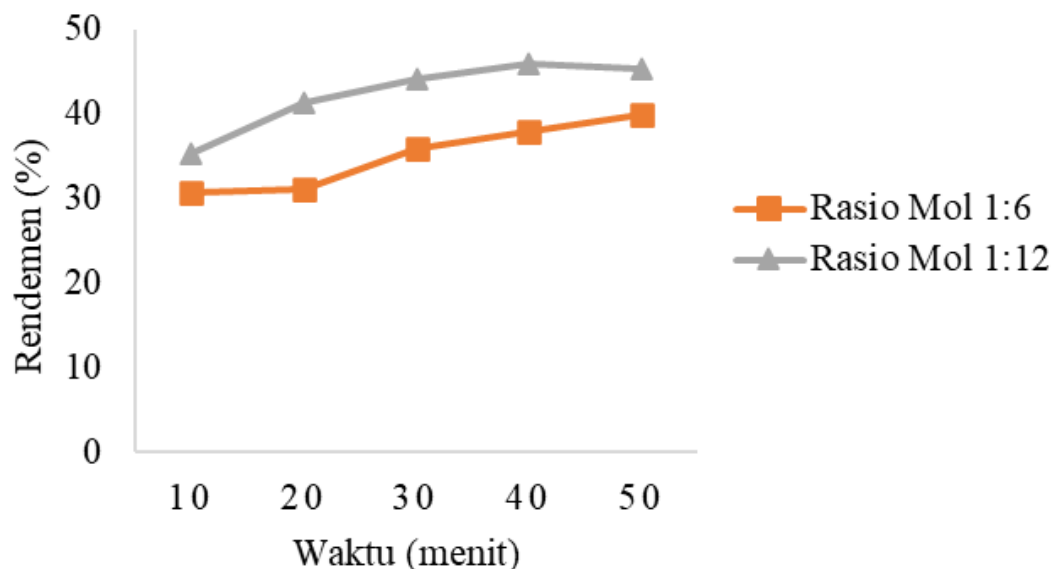
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pengaruh Rasio Mol Umpan dan Waktu Proses Transesterifikasi Terhadap Rendemen Biodiesel

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisa karakteristik biodiesel menunjukkan bahwa rendemen biodiesel dipengaruhi oleh rasio mol umpan dan waktu yang digunakan pada proses transesterifikasi.

Gambar 2 Hubungan Rasio Mol Umpan dan Waktu Proses Transesterifikasi Terhadap Rendemen Biodiesel



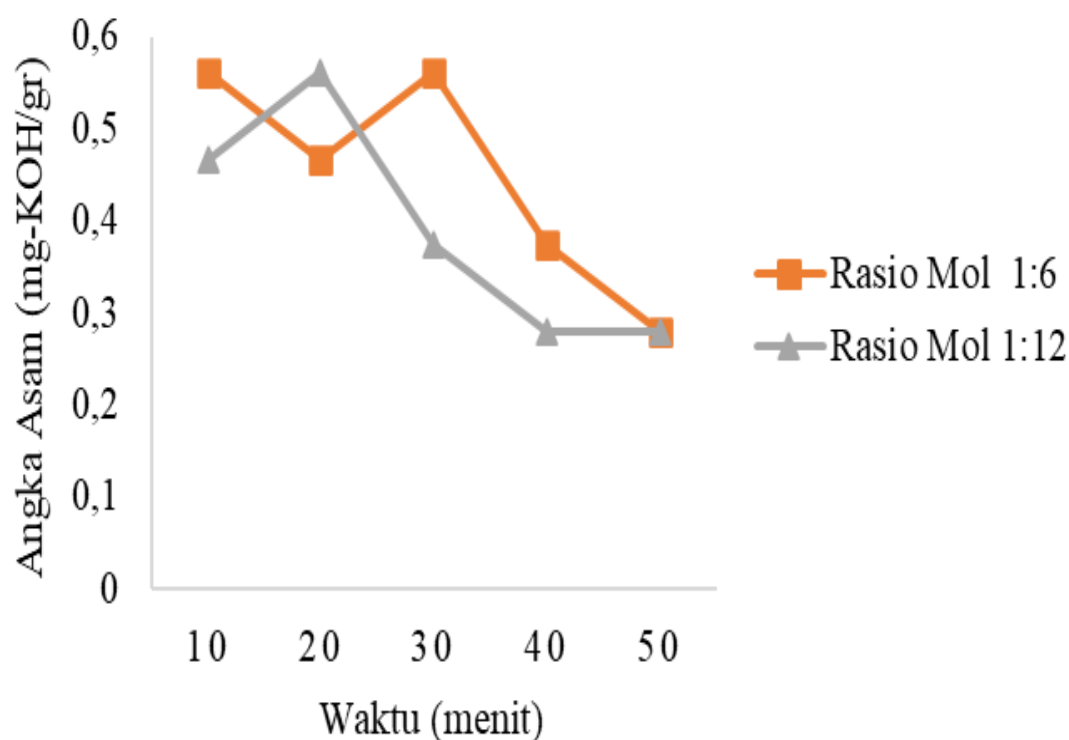
Dari grafik diatas menunjukkan bahwa masing-masing rasio mol umpan dan waktu yang digunakan menghasilkan rendemen biodiesel yang meningkat, namun rasio mol umpan 1:12 mengalami peningkatan yang lebih besar dibandingkan dengan

rasio mol umpan 1:6. Artinya, semakin besar rasio mol umpan dan waktu yang digunakan maka rendemen yang dihasilkan semakin besar. Hal ini disebabkan volume metanol yang lebih banyak dengan kata lain penambahan volume metanol maka reaksi akan bergeser ke arah pembentukan produk sehingga mendapatkan konversi yang maksimum. Dengan penggunaan salah satu reaktan berlebih menyebabkan memperluas terjadinya tumbukan antar molekul zat yang bereaksi sehingga kecepatan reaksinya bertambah besar (Ristianingsih dkk., 2015)

Pengaruh Rasio Mol Umpan dan Waktu Proses Transesterifikasi Terhadap Angka Asam

Angka asam merupakan penentu kualitas dari biodiesel. Semakin kecil angka asam biodiesel semakin baik kualitasnya. Angka asam berhubungan langsung dengan kandungan asam lemak bebas pada biodiesel. Angka asam adalah kandungan basa yang dinyatakan dalam miligram kalium hidroksida yang dibutuhkan menetralkan kadar asam dalam satu gram sampel.

Gambar 3 Hubungan Rasio Mol Umpan dan Waktu Proses Transesterifikasi Terhadap Angka Asam



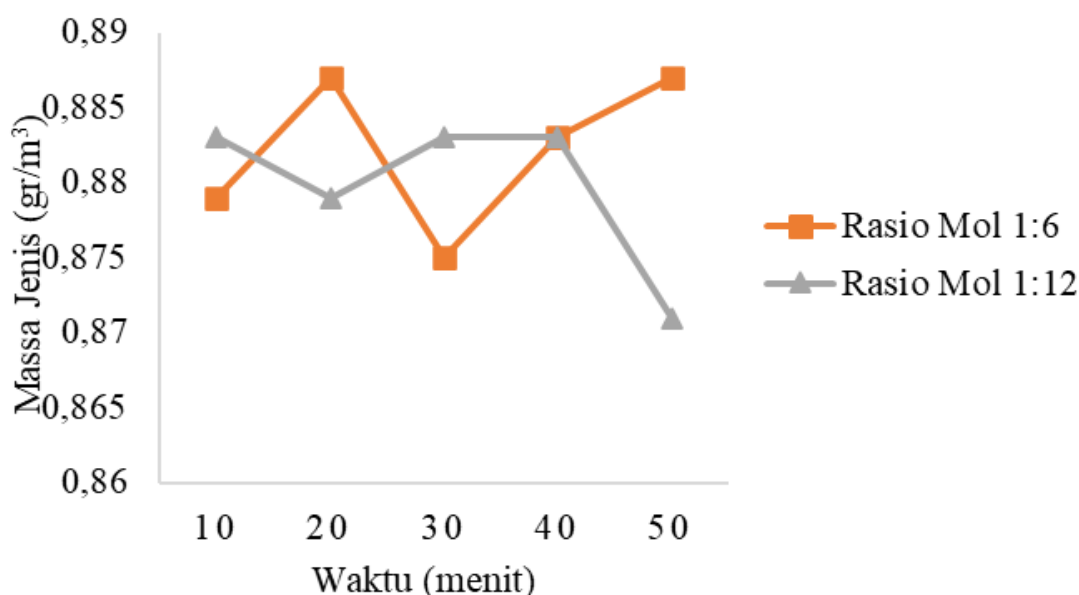
Dari Gambar 3 biodiesel sudah memenuhi Standar Nasional Indonesia (2015) yang menyatakan batas maksimum bilangan asam 0,5 mg KOH/g. Dari grafik dapat dianalisa bahwa durasi waktu dalam proses produksi biodiesel dapat menurunkan angka asam. Rasio mol umpan mempengaruhi bilangan asam. Pada grafik dapat dilihat masing-masing penggunaan rasio mol umpan 1:6 dan 1:12 masing-masing menunjukkan penurunan angka asam, namun pada rasio mol umpan 1:12 memiliki nilai viskositas yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan pada sampel rasio mol umpan

besar, metanol yang digunakan lebih banyak. Penggunaan metanol pada proses transesterifikasi berfungsi untuk transformasi trigliserida menjadi metil ester. Semakin banyak volume metanol semakin rendah bilangan asam yang berarti semakin bagus kualitas dari metil ester yang dihasilkan. Penggunaan metanol yang berlebih dimaksudkan agar bisa menetralkan asam lemak bebas atau sabun yang terkandung dalam minyak CPO *Off Grade* dengan demikian semakin kecil bilangan asamnya (Suleman dkk., 2019)

Pengaruh Rasio Mol Umpan & Waktu Proses Transesterifikasi Terhadap Densitas

Dari analisa awal bahan baku minyak sawit, nilai densitas $0,9182 \text{ gr/m}^3$. Setelah dilakukan konversi minyak CPO, terjadi penurunan massa jenis. Densitas yang dihasilkan memenuhi nilai SNI yaitu $0,85 - 0,89 \text{ gr/m}^3$.

Gambar 4. Hubungan Rasio Mol Umpan dan Waktu Proses Transesterifikasi Terhadap Densitas



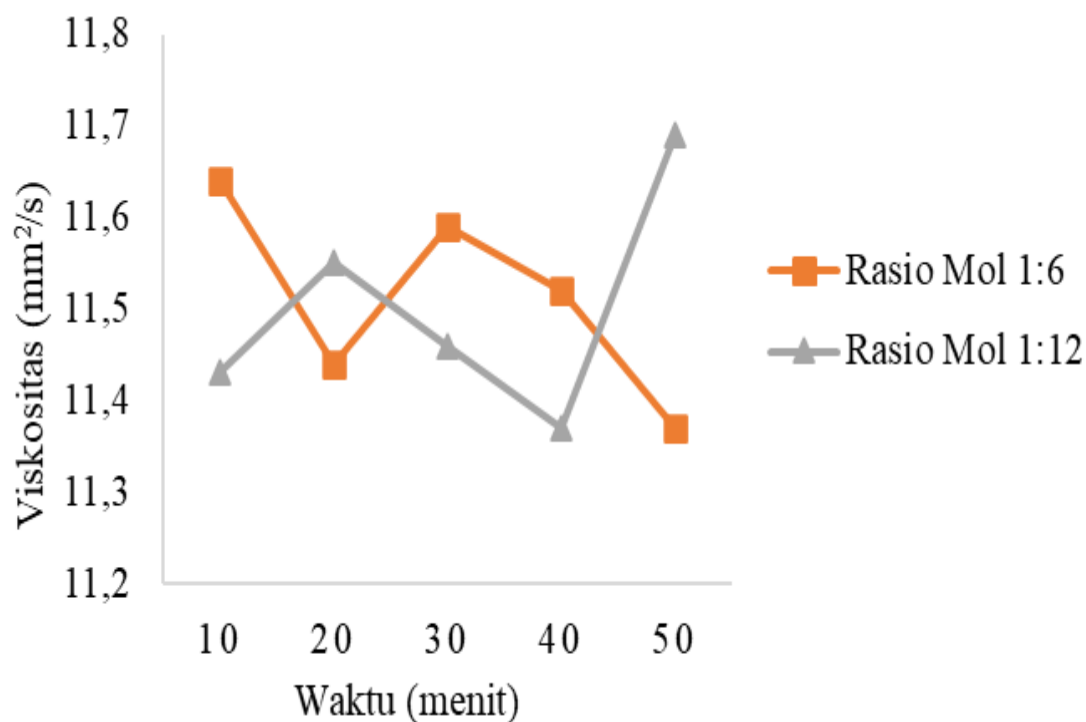
Densitas mempengaruhi kualitas atomisasi dan pembakaran pada mesin. Dari Gambar 4 massa jenis biodiesel dari CPO *Off Grade* memenuhi SNI, dari grafik durasi waktu mempengaruhi massa jenis dari biodiesel pada masing-masing rasio mol yang digunakan, dimana semakin lama waktu proses transesterifikasi menghasilkan massa jenis biodiesel yang tinggi. Dari grafik dapat ada beberapa penyimpangan peningkatan dan penurunan massa jenis. Peningkatan massa jenis kemungkinan disebabkan selama proses pengendapan dan pemurnian produk biodiesel gliserin yang dihasilkan masih terikat dalam biodiesel. Adanya gliserin akan meningkatkan densitas ($1,26 \text{ gr/m}^3$). Penurunan massa jenis bergantung pada kadar ALB minyak dan tingkat kejenuhan ALB. Semakin jenuh kadar ester pada biodiesel dapat menyebabkan densitasnya rendah (Mardawati dkk., 2019). Nilai massa jenis biodiesel

pada durasi waktu 30 menit dengan rasio mol 1:6 dan perlakuan 20, dan 50 menit pada rasio mol 1:12 mengalami penurunan massa jenis kemungkinan karena sampel tersebut memiliki komponen ester yang lebih jenuh.

Pengaruh Rasio Mol Umpan dan Waktu Proses Transesterifikasi Terhadap Viskositas

Salah satu parameter dalam produksi biodiesel adalah viskositas, minyak CPO *Off Grade* pada umumnya memiliki nilai viskositas yang cukup tinggi. Viskositas minyak kelapa sawit sebagai bahan utama pada produksi biodiesel setelah dilakukan pengujian awal didapatkan nilai 30,37 mm²/s. Melalui proses transesterifikasi dengan radiasi gelombang mikro terjadi penurunan nilai viskositas.

Gambar 5 Hubungan Rasio Mol Umpan dan Waktu Proses Transesterifikasi Terhadap Viskositas



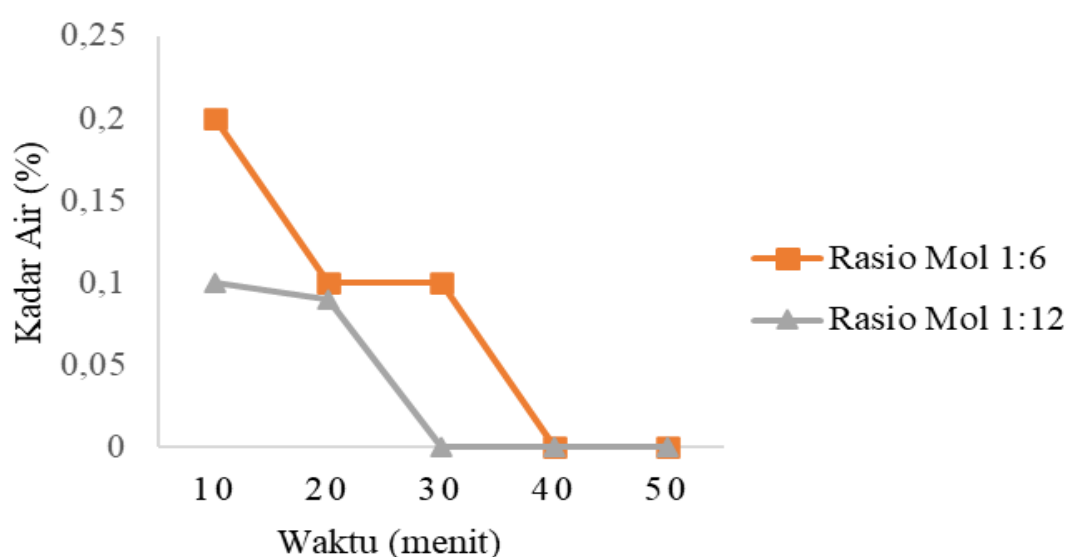
Pada Gambar 5 terlihat biodiesel yang dihasilkan belum memenuhi dari SNI tahun 2015 (2,3 – 6,0 mm²/s (cSt)). Tingginya nilai viskositas biodiesel disebabkan panjangnya rantai karbon dan tingkat kejenuhan asam lemak. Densitas dari minyak setelah ditransesterifikasi seperti biodiesel, pada dasarnya lebih rendah dari densitas bahan bakunya. Artinya minyak kelapa sawit mengandung rantai karbon yang panjang dan memiliki kejenuhan asam lemak yang tinggi (Mardawati dkk., 2019). Pada Gambar 5 masing-masing rasio mol umpan dan waktu mempengaruhi viskositas dari biodiesel yang dihasilkan, semakin lama waktu yang digunakan maka viskositas biodiesel mengalami penurunan. Pada rasio mol umpan 1:12 dengan waktu 50 menit terjadi penyimpangan dimana biodiesel yang dihasilkan mengalami kenaikan viskositas, hal ini diduga terdapat sebagian besar zat kimia hidrokarbon, oleh karena

itu luas permukaan kontak antara zat kimia semakin besar, sehingga memungkinkan terjadinya gaya tarik menarik antar zat kimia semakin banyak terjadi dan menyebabkan kekentalan semakin besar (Mardawati dkk., 2019).

Pengaruh Rasio Mol Umpan dan Waktu Proses Transesterifikasi Terhadap Titik Nyala

Hasil analisis bahan baku CPO *Off Grade*, kadar air yang dihasilkan 0%. Setelah dilakukan proses transesterifikasi. Nilai massa jenis yang dihasilkan Sebagian telah memenuhi nilai SNI biodiesel yaitu 0,05%.

Gambar 6 Hubungan Rasio Mol Umpan dan Waktu Proses Transesterifikasi Terhadap Kadar Air

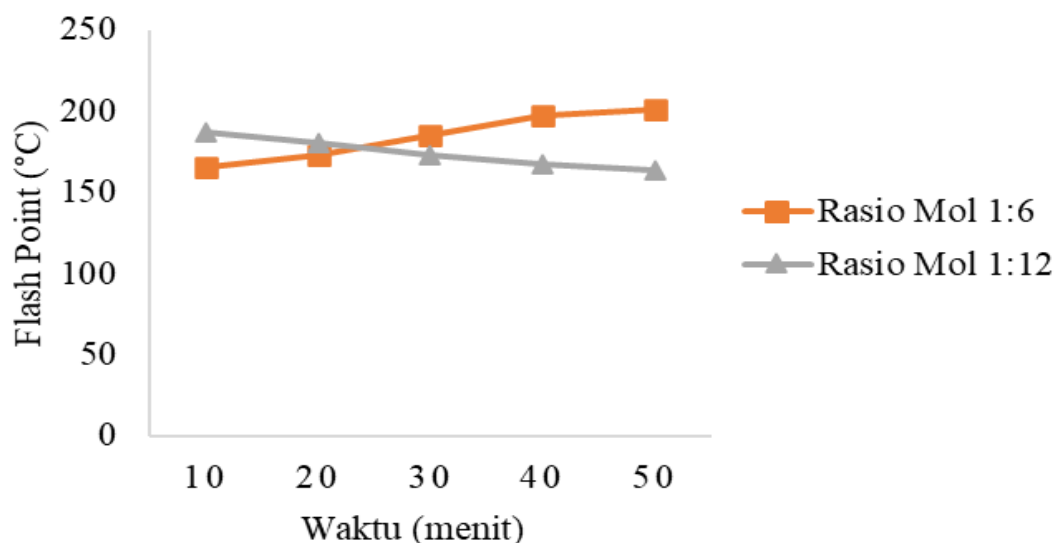


Pada Gambar 6 diatas menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan sebagian memenuhi standar SNI biodiesel 2015 yaitu 0%. Namun nilai kadar air pada biodiesel dengan rasio mol umpan 1:6 dengan waktu 10 menit, 20 menit dan 30 menit demikian juga dengan rasio mol umpan 1:12 dengan waktu 10 menit dan 20 menit, biodiesel yang dihasilkan masih diatas ketetapan SNI dan kadar air bahan baku yang digunakan. Hal ini karena pada reaksi asam lemak bebas yang direaksikan dengan metanol dengan bantuan katalis akan menghasilkan metil ester dan air (Mardawati dkk., 2019)

Pengaruh Rasio Mol Umpan dan Waktu Proses Transesterifikasi Terhadap Titik Nyala

Berdasarkan hasil pengamatan dan hasil analisis sifat biodiesel, perbandingan rasio mol umpan dan waktu berpengaruh terhadap titik nyala biodiesel. Dari hasil analisis nilai titik nyala didapatkan 163,5-201,2 °C.

Gambar 7. Hubungan Rasio Mol Umpan dan Waktu Proses Transesterifikasi Terhadap Titik Nyala



Pada Gambar 6 plash point yang didapatkan memenuhi baku mutu biodiesel Indonesia yaitu minimal 100 °C. Dari kurva perbandingan molar 1:12 titik nyala semakin menurun dengan bertambahnya waktu proses, dengan bertambahnya waktu reaksi maka suhu juga bertambah, hal ini memungkinkan menyebabkan peningkatan konsentrasi fraksi ringan (residu alkohol), sehingga suhu yang dibutuhkan biodiesel untuk menyala menjadi lebih rendah. Pada rasio mol umpan 1:6, titik nyala terus meningkat seiring bertambahnya waktu kerja, karena metanol yang digunakan lebih sedikit, sehingga titik nyala lebih tinggi, peningkatan titik nyala juga bisa karena adanya aditif gliserol dan sisa katalis yang tidak hilang seluruhnya sehingga meningkatkan nilai titik nyala biodiesel (Putra dkk., 2012).

KESIMPULAN

Dari hasil pembuatan biodiesel berbahan baku CPO *Off Grade* menggunakan katalis KOH dengan metode radiasi gelombang mikro, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan rasio mol umpan 1:6, 1:12 dan variasi waktu 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit dapat meningkatkan konversi rendemen dan massa jenis biodiesel yang dihasilkan. Dan juga menurunkan angka asam serta viskositas dari produk biodiesel yang dihasilkan.
2. Pencucian dan pemurnian sangat mempengaruhi kadar air yang terkandung dalam produk biodiesel, karena pada proses esterifikasi akan menghasilkan metil ester dan air.
3. Kualitas biodiesel yang dihasilkan baik, karena sebagian besar parameter seperti nilai densitas 0,879 g/cm³, titik nyala 112,5 °C dan bilangan asam 0,2805 mg-KOH/g sudah memenuhi persyaratan mutu biodiesel SNI 7182:2015

DAFTAR PUSTAKA

- ARIANA, & RISKI. (2016). PENURUNAN KADAR FREE FATTY ACID (FFA) PADA CRUDE PALM OIL (CPO) DENGAN PROSES ESTERIFIKASI MENGGUNAKAN KATALIS ASAM SULFAT (H₂SO₄). CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL STORAGE, D(OKTOBER), 1–23.
- HARYANTO, A., SILVIANA, U., TRIYONO, S., & PRABAWA, S. (2015). PRODUKSI BIODIESEL DARI TRANSESTERIFIKASI MINYAK JELANTAH DENGAN BANTUAN GELOMBANG MIKRO: PENGARUH INTENSITAS DAYA DAN WAKTU REAKSI TERHADAP RENDEMEN DAN KARAKTERISTIK BIODIESEL. AGRITECH, 35(2), 234–240.
- 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(03), 46–60.
- MERIATNA, M., SYLVIA, N., SEREGAR, F. S., MAULINDA, L., & ZULMIARDI, Z. (2020). OPTIMASI KONDISI PROSES ADSORBSI UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS CPO MENGGUNAKAN ADSORBEN KARBON AKTIF SISA PEMBAKARAN CANGKANG KELAPA SAWIT PADA BATCH COLUMN. JURNAL TEKNOLOGI KIMIA UNIMAL, 9(1), 14. [HTTPS://DOI.ORG/10.29103/JTKU.V9I1.3032](https://doi.org/10.29103/JTKU.V9I1.3032)
- PUTRA, R. P., WIBAWA, G. A., PRIHARINI, P., & MAHFUD. (2012). PEMBUATAN BIODIESEL SECARA BATCH DENGAN MEMANFAATKAN GELOMBANG MIKRO (MICROWAVE). Jurnal Teknik ITS, 1(Vol 1, No 1 (2012)), F34–F37. <http://ejournal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/472>
- Ristianingsih, Y., Hidayah, N., & Sari, F. W. (2015). PEMBUATAN BIODIESEL DARI CRUDE PALM OIL (CPO) SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF MELALUI PROSES TRANSESTERIFIKASI LANGSUNG. Jurnal Teknologi Agro-Industri, 2(1), 38–46. <https://doi.org/10.34128/jtai.v2i1.23>
- Suleman, N., Abas, & Papatungan, M. (2019). ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI STEARIN SAWIT UNTUK PEMBUATAN BIODIESEL. Jurnal Teknik, 17(1), 66–77. <https://doi.org/10.37031/jt.v17i1.54>
- Yudha, R. F., Setiawan, A., & Eka Mayangsari, N. (2017). IDENTIFIKASI KOMPONEN FAME (FATTY ACID METHYL ESTER) PADA BIODIESEL YANG DISINTESIS DARI MINYAK GORENG BEKAS. Waste Treatment Technology, 2623, 91–96.