

Pembuatan Fatty Acid Methyl Ester (FAME) dari *Crude Palm Oil* (CPO) *Off Grade* dengan Metode Esterifikasi dan Transesterifikasi

Hendriyana, Andini Hizbiyati, Fajar Subagja, dan Disti Ayu Hania

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

hendriyana@lecture.unjani.ac.id, hizbiyati@gmail.com, fajar230200@gmail.com, distiayuu2002@gmail.com

Abstrak

Fatty Acid Methyl Ester (FAME) atau biodiesel dengan bahan baku berupa minyak kelapa sawit adalah salah satu bahan bakar nabati pengganti bahan bakar fosil. Minyak kelapa sawit dengan kandungan asam lemak bebas yang masih tinggi dikenal dengan istilah *CPO-off grade*. Proses yang dapat digunakan untuk menurunkan asam lemak bebas dalam *CPO-off grade* adalah esterifikasi. Katalis digunakan dalam proses pembuatan biodiesel agar mampu menghasilkan biodiesel dengan mutu yang sesuai dengan standar. Pengaruh konsentrasi katalis H_2SO_4 dan $NaOH$ dalam proses produksi biodiesel akan dipelajari dalam penelitian ini. Proses esterifikasi dilakukan dengan tiga variasi katalis H_2SO_4 yaitu A=1%-massa; B=2%-massa; dan C=3%-massa, sedangkan dalam proses transesterifikasi menggunakan 3 variasi konsentrasi katalis $NaOH$ yaitu A=1%-massa; B=2%-massa; dan C=3%-massa. Kualitas biodiesel yang dihasilkan ditentukan melalui nilai perolehan, massa jenis, viskositas kinematik, bilangan asam, FFA, kadar air, dan titik nyala. Dari penelitian ini diperoleh bahwa konsentrasi katalis dalam proses produksi biodiesel mempengaruhi terhadap kualitas biodiesel yang dihasilkan. Konsentrasi katalis H_2SO_4 dan $NaOH$ 1%-massa adalah konsentrasi yang optimum karena menghasilkan biodiesel dengan kualitas yang memenuhi standar SNI Biodiesel 7182:2015 dengan perolehan, massa jenis, viskositas kinematik, bilangan asam, FFA, kadar air dan titik nyala berturut-turut adalah 79%, 861,12 kg/m³, 4,08 mm²/s(cSt), 0,44 mg $NaOH/g$ FAME, 0,28%, 0,028% dan 184°C.

Kata kunci: *CPO-off grade*, Esterifikasi, Transesterifikasi, FAME

Abstract

Fatty Acid Methyl Ester (FAME) or biodiesel, derived from palm oil, is a renewable fuel alternative to fossil fuels. Crude Palm Oil with high free fatty acid (FFA) content is commonly referred to as off-grade CPO. The esterification process can reduce FFA levels in off-grade CPO. Catalysts play a critical role in producing biodiesel that meets quality standards. This study examines the effect of H_2SO_4 and $NaOH$ catalyst concentrations on biodiesel production. Esterification was performed using three variations of H_2SO_4 concentration: A=1%-mass, B=2%-mass, and C = 3%-mass. Transesterification utilized three $NaOH$ concentrations: A=1%-mass, B=2%-mass, and C=3%-mass. Biodiesel quality was evaluated based on yield, density, kinematic viscosity, acid number, FFA, water content, and flash point. The study found that catalyst concentration significantly affects biodiesel quality. The optimal catalyst concentrations were 1%-mass for both H_2SO_4 and $NaOH$, producing biodiesel that met SNI Biodiesel 7182:2015 standards. The results included a yield of 79%, density of 861.12 kg/m³, kinematic viscosity of 4.08 mm²/s(cSt), acid number of 0.44 mg $NaOH/g$ FAME, FFA content of 0.28%, water content of 0.028%, and flash point of 184°C.

Keywords: *CPO-off grade*, Esterification, Transesterification, FAME

1. Pendahuluan

Saat ini Indonesia menjadi salah satu penghasil utama *Crude Palm Oil* (CPO) terbesar di Dunia. Dari 34 provinsi yang tersebar di seluruh Indonesia, 22 provinsi diantaranya berhasil mengembangkan perkebunan kelapa sawit (Irawan dan Soesilo, 2021). Hal ini berkaitan erat dengan adanya visi dalam mewujudkan Indonesia mengganti bahan bakar fosil sebanyak 25% di tahun 2025 dalam rangka konservasi energi dan diversifikasi energi (Hutapea, 2012).

Pemilihan CPO sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel harus diperhatikan guna menghasilkan biodiesel yang berkualitas baik. *CPO-off grade* adalah istilah yang digunakan untuk CPO yang memiliki asam lemak yang tinggi. Tingginya kadar asam lemak ini yang kemudian menjadikan *CPO-off grade* dikecualikan dalam penggunaannya sebagai bahan baku yang akan dikonsumsi. Pengolahan lebih lanjut sangat dibutuhkan untuk mengurangi tingkat asam lemak hingga tidak lebih dari 5%. Kualitas CPO yang digunakan dalam proses pengolahan lebih lanjut seperti pembuatan minyak goreng menjadi salah satu faktor yang harus diperhatikan untuk memenuhi permintaan konsumen CPO. Oleh sebab itu, *CPO-off grade* dapat dijadikan bahan baku alternatif dalam proses pengolahan biodiesel (Budiawan dkk., 2013).

Info Makalah:

Dikirim : 12-06-24;

Revisi 1 : 12-12-24;

Diterima : 01-09-25.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62815-7326-7759

e-mail : hendriyana@lecture.unjani.ac.id

Biodiesel adalah hasil dari proses konversi trigliserida menjadi metil ester secara transesterifikasi dengan penggunaan katalis basa (Jiuxu, 2013). Bahan baku yang dapat digunakan dalam proses pengolahan biodiesel adalah bahan dengan kandungan trigliserida lebih dari 95% dan kandungan FFA antara 2-5% (Ayhan, 2009). Proses esterifikasi dapat digunakan untuk

menurunkan kadar FFA. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Arita dkk (2008) meningkatnya kandungan katalis asam sulfat dalam proses esterifikasi akan menurunkan kadar FFA. Namun dengan jumlah katalis asam sulfat yang berlebih justru akan membuat produk lebih berwarna gelap serta terjadinya reaksi samping antara asam sulfat dengan metanol yang akan menghasilkan dimetil eter sehingga menyebabkan penurunan FFA semakin lambat dan akan mempengaruhi parameter mutu lainnya (Ramadhas, 2005).

Jumlah katalis yang digunakan dalam proses esterifikasi dan transesterifikasi harus dipilih dengan tepat sehingga biodiesel yang dihasilkan bisa sesuai dengan standar mutu yang ada. Maka dari itu, penentuan penggunaan komposisi katalis perlu dilaksanakan dalam penelitian ini hingga mampu menghasilkan biodiesel yang sesuai dengan standar yang berlaku.

2. Metode

Proses pembuatan biodiesel dari bahan baku berupa *CPO-off grade* dilakukan melalui 3 tahapan yaitu persiapan bahan baku, reaksi transesterifikasi-esterifikasi, dan uji karakteristik biodiesel. Dengan alat penelitian yang digunakan adalah *hot plate stirrer*, gelas kimia, gelas erlenmeyer, labu ukur, gelas ukur, corong pisah, timbangan, termometer, pipet, oven, piknometer, viskometer *Ostwald*, dan Buret. Bahan penelitian yang digunakan dalam proses esterifikasi dan juga transesterifikasi adalah bahan baku berupa *CPO-off grade*, alkohol 96%, katalis berupa H_2SO_4 dan NaOH, metanol 99%, aquadest dan indikator PP.

Proses penelitian ini dilaksanakan dalam 3 proses yaitu karakterisasi bahan baku, proses esterifikasi dan transesterifikasi. Adapun tahapan yang dilaksanakan di setiap prosesnya adalah sebagai berikut:

2.1. Karakterisasi *CPO-off grade*

Karakteristik *CPO-off grade* yang diuji dalam penelitian ini adalah berupa kadar air, bilangan asam, kadar FFA, viskositas kinematik serta massa jenisnya. Pengujian kadar FFA yang digunakan adalah dengan menambahkan alkohol 96% dan dipanaskan sambil diaduk selama 10 menit kemudian ditambahkan indikator PP dan dititrasi dengan menggunakan NaOH.

2.2. Tahap Esterifikasi

CPO-off grade dicampurkan dengan metanol dan katalis H_2SO_4 (1%-massa, 2%-massa, dan 3%-massa). Lalu, diaduk sambil dipanaskan hingga temperatur konstan sebesar $60^\circ C$ selama 2 jam. Campuran trigliserida dan metil ester yang terbentuk dipisahkan dan dicuci dengan menggunakan air hangat dengan temperatur $80^\circ C$ hingga menghasilkan pH netral. Evaporasi digunakan untuk memisahkan kadar air yang terdapat dalam campuran.

2.3. Tahap transesterifikasi

CPO-off grade yang telah melalui proses esterifikasi sebelumnya kemudian ditambahkan dengan katalis berupa NaOH (1%-massa, 2%-massa, dan 3%-massa) dan dipanaskan sambil diaduk dengan temperatur $60^\circ C$ selama 2 jam. Biodiesel yang terbentuk dipisahkan dan dicuci dengan air hangat hingga pH air menjadi netral yang kemudian dipisahkan kembali dari air dengan menggunakan corong pisah. Analisa selanjutnya dilaksanakan untuk mengetahui kualitas biodiesel berupa bilangan asam, massa jenis, kadar air serta viskositas kinematiknya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik *CPO-off grade*

Karakteristik *CPO-off grade* yang digunakan sebagai bahan baku dalam proses produksi biodiesel disajikan dalam Tabel 1. Hasil uji menunjukkan bahwa *CPO-off grade* yang digunakan sudah sesuai dengan syarat sebagai bahan baku pada proses produksi biodiesel dengan kandungan air sebesar 0,31%-massa. Proses pembuatan biodiesel akan terhambat apabila kandungan air dalam bahan baku masih tinggi. Tingginya kadar air dalam bahan baku akan menghasilkan reaksi samping berupa reaksi saponifikasi dan menurunkan laju konversi trigliserida menjadi biodiesel (Atadashi dkk, 2012).

Tabel 1. Perbandingan Karakteristik *Crude Palm Oil*

Parameter	Satuan	<i>CPO-off grade</i>	CPO (Ketaren,2005)
		Nilai	Nilai
Viskositas kinematik	$mm^2/s/ (cSt)$	4,61	-
FFA	%	83,88	0,5
Kadar Air	%-massa	0,31	0,5
Bilangan asam	KOH/g	39,6	6,9
Massa Jenis	kg/m^3	889	895

Kemurnian minyak dan asam lemak penyusunnya akan sangat mempengaruhi nilai massa jenis (Pranowo dkk, 2014). Angka tingkat kejenuhan minyak memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan massa jenisnya, semakin tinggi kejenuhan maka massa jenis minyak akan semakin rendah (Altun dkk, 2010). Dalam penelitian ini dihasilkan

bahwa *CPO-off grade* memiliki massa jenis 889 kg/m^3 yang masih berada pada rentang massa jenis sesuai standar SNI 7182:2015. Hal ini menunjukkan bahwa *CPO-off grade* memiliki asam lemak penyusun dan kemurnian yang baik.

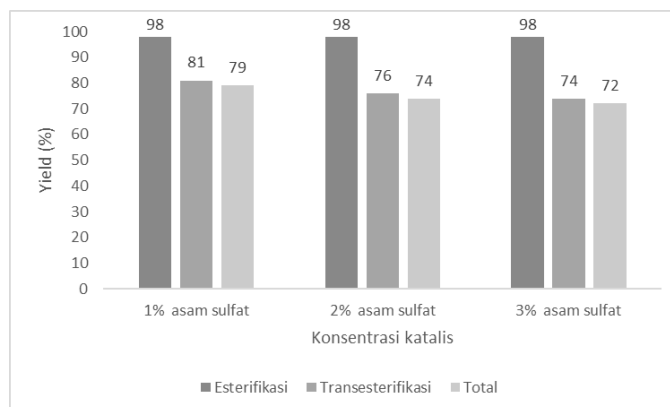
Nilai viskositas dari minyak hasil proses transesterifikasi akan lebih rendah daripada bahan bakunya (Knothe dkk, 2005). Nilai viskositas kinematik yang diperoleh dalam penelitian ini adalah $4,61 \text{ mm}^2/\text{s}$ (cSt) yang menunjukkan bahwa nilai ini masih berada dalam rentang sesuai standar yaitu $2,3\text{-}6 \text{ mm}^2/\text{s}$ (cSt). Nilai viskositas kinematik ini menunjukkan adanya rantai karbon yang panjang serta tingkat kejenuhan asam lemak yang tinggi.

Bilangan asam dalam minyak menunjukkan jumlah asam lemak bebas dalam minyak tersebut. Bilangan asam yang tinggi juga menjadi salah satu indikator minyak tersebut dikategorikan kedalam minyak *off grade*. Dari hasil pengukuran diperoleh nilai bilangan asam dalam *CPO-off grade* adalah $39,6 \text{ mg KOH/g}$, lebih tinggi apabila dibandingkan dengan standar yang tertulis menurut Karen dalam Tabel 1. Hasil pengukuran kadar FFA dalam *CPO-off grade* juga menghasilkan nilai yang sangat tinggi yaitu $83,88\%$. Berdasarkan tingginya nilai FFA dalam *CPO-off grade*, maka *CPO-off grade* perlu melalui proses esterifikasi menurunkan kadar FFA. Penurunan kadar FFA dalam proses esterifikasi terjadi karena konversi asam lemak bebas yang berberat molekul tinggi menjadi metil ester yang berberat molekul lebih rendah (Djenar dan Lintang, 2012).

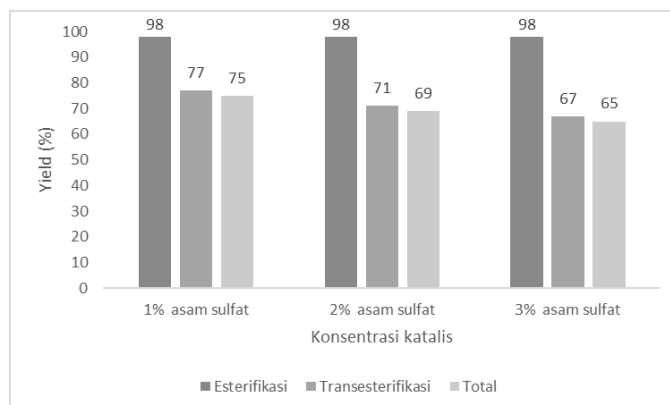
3.2. Yield Biodiesel

Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa H_2SO_4 dalam proses esterifikasi dan juga katalis NaOH dalam proses transesterifikasi. Hasil penelitian berupa *yield* yang diamati dalam hal ini adalah *yield* hasil esterifikasi, transesterifikasi dan juga *yield* total dalam reaksi pembentukan biodiesel.

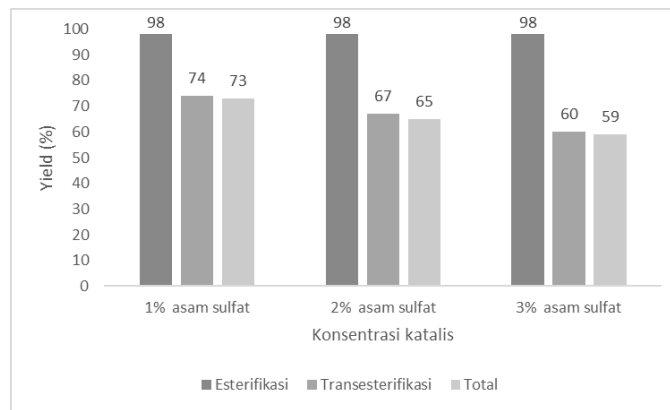
Dari hasil pengukuran *yield* dalam berbagai variasi katalis diperoleh nilai seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 1. Yield Biodiesel dengan Katalis NaOH 1%



Gambar 2. Yield Biodiesel dengan Katalis NaOH 2%



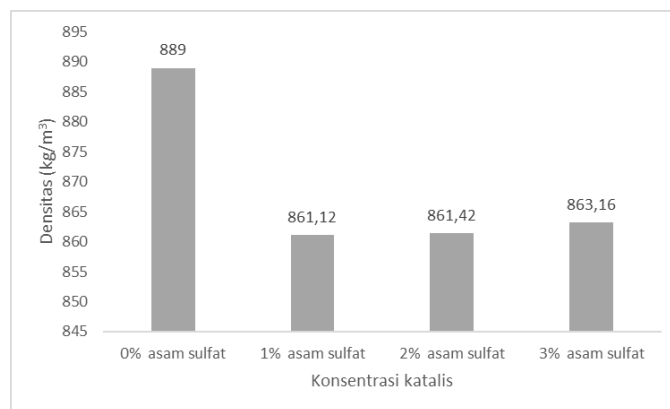
Gambar 3. Yield Biodiesel dengan Katalis NaOH 3%

Berdasarkan Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3 dapat dilihat bahwa *yield* hasil transesterifikasi dan juga *yield* total proses semakin menurun dengan meningkatnya jumlah katalis H_2SO_4 yang digunakan dalam proses esterifikasi. Hasil *yield* juga semakin menurun dengan meningkatnya katalis NaOH yang digunakan. Jumlah katalis asam sulfat yang berlebih justru akan membuat produk lebih berwarna gelap serta terjadinya reaksi samping antara asam sulfat dengan metanol yang akan menghasilkan dimetil eter sehingga menyebabkan penurunan FFA semakin lambat dan akan mempengaruhi parameter mutu lainnya (Ramadhas, 2005).

3.3. Analisis Mutu Biodiesel

3.3.1. Massa Jenis

Kualitas pembakaran yang terjadi dalam suatu mesin akan dipengaruhi oleh massa jenis minyak yang digunakan. Beberapa parameter yang dapat dipengaruhi oleh nilai massa jenis minyak adalah angka setana, viskositas, serta nilai kalor. Massa jenis juga merupakan salah satu parameter yang harus diperhatikan dalam proses pembuatan, penyimpanan, transportasi dan juga distribusi dari biodiesel (Barbas dan Todorut, 2011). Hasil pengukuran massa jenis dari biodiesel yang dihasilkan dalam penelitian ini disajikan dalam Gambar 4 berikut.

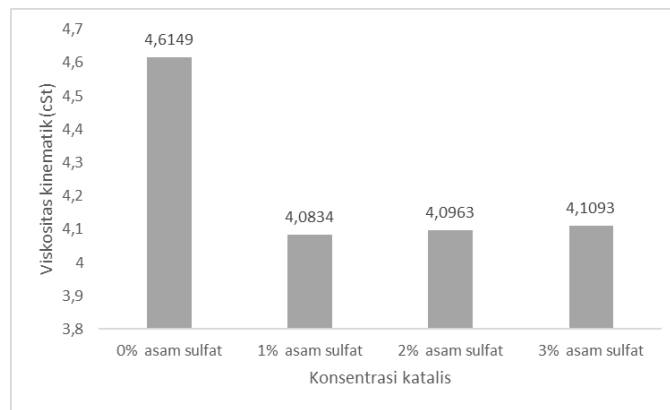


Gambar 4. Massa Jenis Biodiesel

Apabila dibandingkan dengan *range* standar massa jenis biodiesel berdasarkan SNI 7182:2015 yaitu sebesar 850-890 kg/m^3 , maka massa jenis yang dihasilkan biodiesel dalam penelitian ini masih masuk kedalam rentang nilai massa jenis yang ditetapkan. Nilai massa jenis biodiesel yang dihasilkan lebih rendah bila dibandingkan dengan massa jenis dari bahan baku yaitu *CPO-off grade*. Penurunan massa jenis ini dapat disebabkan oleh adanya pemutusan rantai gliserol yang terdapat dalam *CPO-off grade* (Aziz, 2008).

3.3.2. Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik merupakan sifat yang penting dalam karakteristik biodiesel karena mempengaruhi tingkat kemudahan nyala mesin, kualitas penyemprotan, ukuran dari partikel yang keluar dari *nozzle*, serta kualitas dari pembakaran mesin yang digunakan (Barbas dan Todorut, 2011). Viskositas kinematik *CPO-off grade* yang telah melalui proses transesterifikasi dapat dilihat dalam Gambar 5.

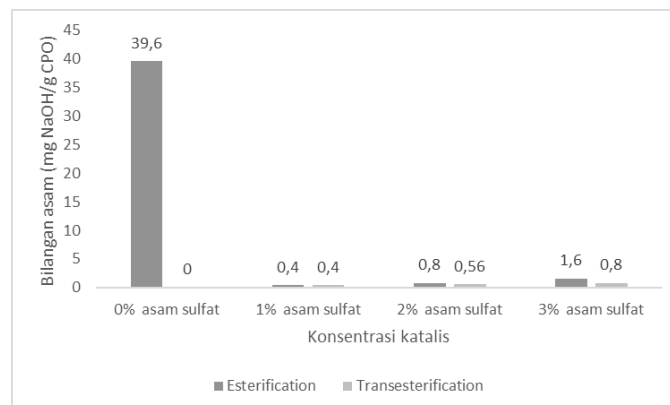


Gambar 5. Viskositas Kinematik Biodiesel

Viskositas kinematik biodiesel yang dihasilkan akan berbeda dengan bahan baku, hal ini disebabkan oleh adanya perubahan panjang rantai asam lemak yang menjadi lebih pendek setelah melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi (Djenar dan Lintang, 2012). Dari hasil penelitian, nilai viskositas kinematik biodiesel yang dihasilkan sudah berada dalam rentang standar yang ditetapkan.

3.3.3. Bilangan Asam

Penurunan bilangan asam secara signifikan terjadi pada proses esterifikasi, yaitu dari 39,6 mg NaOH/g minyak menjadi 0,4-1,6 mg NaOH/g minyak (Gambar 6). Nilai ini masih belum mencapai standar yang ditetapkan, hal ini dapat disebabkan karena adanya proses hidrolisis serta oksidasi yang berlangsung lebih cepat. Reaksi oksidasi di dalam minyak akan menghasilkan asam organik serta proses hidrolisis akan menghasilkan asam lemak bebas yang akan meningkatkan nilai bilangan asam (Barabas dan Todorut, 2011).



Gambar 6. Bilangan Asam Biodiesel

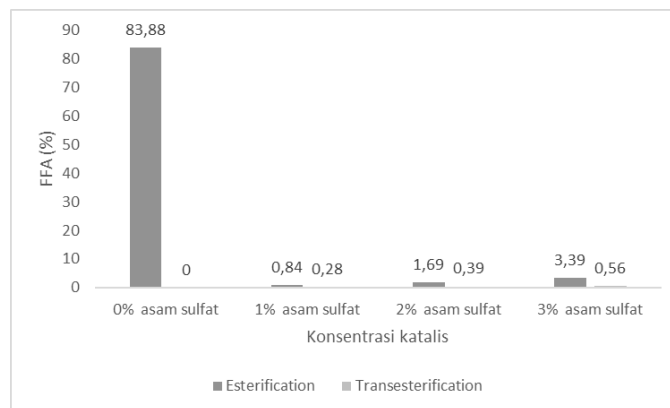
J. Van Gerpen, dkk, (2004) menyatakan dalam penelitiannya bahwa metil ester dan air akan terbentuk akibat adanya konversi asam lemak bebas, hal ini menjadi salah satu faktor terjadinya penurunan nilai bilangan asam. Sementara itu Knothe dkk (2005) menyatakan bahwa reaksi ini akan berlangsung dengan baik jika metanol bereaksi dengan asam lemak untuk memproduksi metil ester dan air. Nilai bilangan asam yang diperoleh mengalami penurunan pada penggunaan katalis asam sulfat 2% dan 3% -massa yaitu dari 0,8 mg KOH/g biodiesel menjadi 0,56 mg KOH/g biodiesel hal ini dapat disebabkan oleh pembentukan ester dari reaksi asam lemak bebas dan minyak dengan ion metoksida (Kusumaningsih dkk., 2006).

Bilangan asam mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi katalis yang digunakan, hal ini menunjukkan bahwa jumlah katalis akan mempengaruhi nilai bilangan asam pada biodiesel yang dihasilkan. Dari hasil penelitian diperoleh nilai konsentrasi katalis yang optimum untuk menurunkan nilai bilangan asam adalah 1%-massa.

3.3.4. FFA (Free Fatty Acid)

Nilai FFA pada hasil proses esterifikasi memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan nilai FFA pada bahan baku. Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa kadar FFA pada bahan baku berupa *CPO-off grade* adalah 83,88% kemudian turun setelah melalui proses esterifikasi menjadi 0,84% pada katalis 1%-massa, 1,69% pada katalis 2%-massa dan 3,39% pada katalis 3%-massa. Nilai FFA kemudian mengalami penurunan kembali setelah melalui tahapan transesterifikasi yaitu menjadi 0,28% pada katalis 1%-massa, 0,39 % pada katalis 2%-massa dan 0,56% pada katalis 3%-massa.

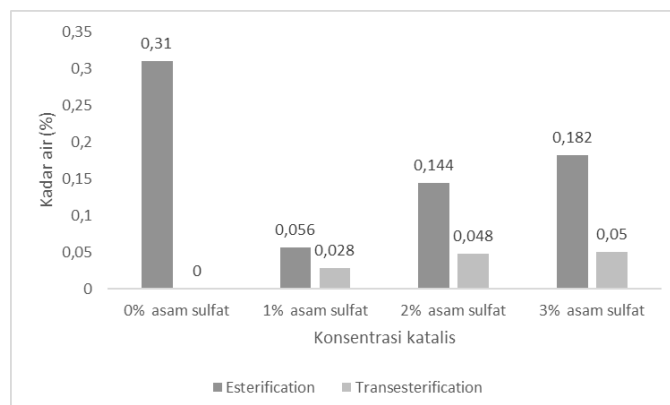
Penurunan ini dapat menjadi salah satu faktor penentu bahwa proses esterifikasi dan transesterifikasi berjalan secara efektif.



Gambar 7. Nilai FFA Biodiesel

3.3.5. Kadar Air

Kandungan air dalam setiap tahapan proses persiapan hingga penyimpanan dalam produksi biodiesel akan menimbulkan permasalahan bila tidak ditangani dengan tepat. Pembentukan kristal es pada temperatur 0°C yang akan mempercepat proses pembentukan gel dari residu bahan bakar. Hal lain yang mungkin terjadi adalah pada proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa akan terjadi penyerapan air yang lebih tinggi oleh komponen monogliserida dan digliserida dibandingkan dengan metil ester (Atadashi dkk., 2012). Hasil pengukuran kadar air pada biodiesel dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 8.



Gambar 8. Kadar Air Biodiesel

3.3.6. Titik Nyala Biodiesel

Hasil yang diperoleh dalam uji titik nyala biodiesel ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data Uji *Flash Point*

Sampel	Satuan	Nilai	SNI 7182:2015
1% asam sulfat	°C	184	100
2% asam sulfat	°C	184	100
3% asam sulfat	°C	183	100

Titik nyala (*flash point*) adalah salah satu parameter penting dalam keamanan terhadap kebakaran serta dalam proses penyimpanannya. Nilai ini dapat diuji dengan menggunakan alat *Pensky Marten Closed Tester* (ASTM) (Nasrun dkk, 2016). Titik nyala (*flash point*) juga dapat mengindikasikan tinggi atau rendahnya nilai volatilitas dan kemampuan untuk terbakar (Setiawan, 2012). Pengujian titik nyala digunakan untuk mengukur suhu paling rendah yang dapat dicapai ketika campuran uap minyak dan udara terbakar sesaat setelah api dilewatkan di atasnya. Nilai yang diperoleh dapat digunakan untuk menunjukkan apakah biodiesel yang dihasilkan termasuk dalam bahan bakar yang mudah atau sukar terbakar. Dari hasil uji yang ditunjukkan di Tabel 2 sampel biodiesel yang dihasilkan memiliki nilai titik nyala di atas standar SNI yang berlaku.

3.4. Ringkasan Hasil Penelitian

Hasil uji analisis setiap parameter biodiesel dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Ringkasan Data Hasil Penelitian

Parameter	Variasi Katalis			SNI Biodiesel 7182:2015	Satuan	Keterangan
	1%	2%	3%			
Yield	79	74	72	-	%	-
Massa jenis	861,12	861,42	863,16	850-890	kg/m ³	Sudah memenuhi SNI
Viskositas Kinematik	4,08	4,09	4,1	2,3 - 6	mm ² /s (cSt)	Sudah memenuhi SNI
Bilangan Asam	0,44	0,63	0,89	0,5 (maks)	KOH/g	Sudah memenuhi SNI
FFA	0,28	0,39	0,56	-	%	-
Kadar Air	0,028	0,048	0,05	0,05	%-vol	Sudah memenuhi SNI
Flash Point	184	184	183	Min. 100	°C	Sudah memenuhi SNI

Berdasarkan ringkasan hasil penelitian di Tabel 3 dapat dilihat bahwa kualitas mutu biodiesel yang dihasilkan mencapai kondisi optimum dengan penggunaan konsentrasi katalis sebesar 1%-massa pada tahapan esterifikasi dan transesterifikasi karena pada kondisi ini seluruh parameter uji yang dilaksanakan menghasilkan angka yang masuk dalam standar SNI yang ditentukan dengan nilai terbaik apabila dibandingkan dengan konsentrasi katalis lainnya.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan konsentrasi katalis 1%-massa dalam proses produksi biodiesel dalam tahap esterifikasi maupun transesterifikasi mampu menghasilkan biodiesel yang sudah memenuhi nilai yang distandarkan dalam SNI Biodiesel 7182:2015. Hasil optimal yang diperoleh pada parameter perolehan, massa jenis, viskositas kinematik, bilangan asam, FFA, kadar air dan titik nyala berturut-turut adalah 79%, 861,12 kg/m³, 4,08 mm²/s(cSt), 0,44 mg NaOH/g FAME, 0,28%, 0,028% dan 184°C.

Daftar Pustaka

- Altun, S, F Yasar , dan C Oner . “The Fuel Properties of Methyl Ester Produced from Canola Oil-Animal Tallow Blends by Base-Catalyzed Transesterification.” *Interntional Journal of Engineering Research and Development*, 2010: 2-5.
- Atadashi, I.M., M.K Aroua, A.R. Abdul Aziz, dan N.M.N Sulaiman. “Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks.” *Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks*, 2012: 3275-3285.
- Aziz, I, S Nurbayati, dan B Ulum . “Pembuatan Produk Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Cara Esterifikasi dan Transesterifikasi.” 2011.
- Barabas, I, dan I Todorut. “Biodiesel Quality, Standards, and Properties in Dr. Gisela Montero (Ed.) Biodiesel Quality, Emissions, and By-Products.” Croatia: InTech, 2011.
- Budiawan, R, Zulfansyah, R Fatra, dan Z Helwani. “Off-grade Palm Oil as a Renewable Raw Material for Biodiesel Production By Two Step Processes.” *ChESA Conference*. Januari. Banda Aceh. *Chemical Engineering on Science and Application*, 2013: 7:40-50.
- Djenar, N.S., dan N Lintang. “Esterifikasi Minyak Kemiri Sunan (Aleurites trisperma) Dalam Pembuatan Biodiesel.” *Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik*, 2012: 215-221.
- Hutapea, Maritje. “Kebijakan dan Program Pengembangan Bahan Bakar Nabati.” *Lokakarya Penggunaan Minyak Nabati Murni pada Motor Diesel dan Rekayasa*, 2012.
- Irawan, B., & Soesilo, N.I., (2021). Dampak Kebijakan Hilirisasi Industri Kelapa Sawit terhadap Permintaan CPO pada Industri Hilir. *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan Publik*. <https://dx.doi.org/10.22212/jekp.v11i1.2023>
- Knothe, G, J.V. Gerven , dan J Krahl. “The Biodiesel Handbook.” United States of America: AOCS Press., 2005.
- Kusumaningsih, T, Pranoto, dan R Saryoso. “Pembuatan Bahan Bakar Biodiesel dari Minyak Jarak: Pengaruh Suhu dan Konsentrasi KOH pada Reaksi Transesterifikasi Berbasis Katalis Basa.” *Jurnal Bioteknologi*, 2006: 20-26.
- Nasrun, K Eddy, dan S Inggit. “Studi Awal Produksi Bahan Bakar.” *Jurnal Teknologi*, 2016: 30-44.
- Pranowo, D, M Syakir , B Prastowo, M Herman , A Anullah, dan Sumanto. “Pembuatan Biodiesel dari Kemiri Sunan (Reutealis trisperma (Blanco) Airy Shaw) dan Pemanfaatan Hasil Samping.” *IAARD Press.*, 2014.
- Ramadhas, A.S., S Jayaraj, dan C Muraleedharan. “Biodiesel production from high FFA rubber seed oil.” *Fuel* 84:, 2005: 335-340.
- Van Gerpen, J, B Shanks, R Pruszko, D Clements,, dan G Knothe. “Biodiesel Production technology. Colorado: National Renewable Energy Laboratory.” 2004. Dutty, H. B. H., Mowla, M. M., & Mou, M. A. (2019). A Statistical mmWave Channel Modeling for Railway Communications Backhaul in 5G Networks. 3rd International Conference on Electrical, Computer and Telecommunication Engineering, ICECTE 2019, 121–124. <https://doi.org/10.1109/ICECTE48615.2019.9303579>