



Biodiesel

PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA SAWIT KASAR *OFF GRADE* DENGAN VARIASI PENGARUH ASAM SULFAT PADA PROSES ESTERIFIKASI TERHADAP MUTU BIODIESEL YANG DIHASILKAN

Efri Mardawati¹, Mahdi Singgih Hidayat¹, Devi Maulida Rahmah¹ S. Rosalinda¹

¹Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran,

efri.mardawati@unpad.ac.id

mahdi15001@mail.unpad.ac.id

devi.maulida.rahmah@unpad.ac.id

ABSTRAK

Biodiesel merupakan bahan bakar nabati yang dapat digunakan untuk menggantikan bahan bakar fosil. Kelapa sawit merupakan salah satu tanaman yang bisa digunakan menjadi bahan baku pembuatan biodiesel. Minyak kelapa sawit atau Crude Palm Oil (CPO) *off grade* adalah minyak yang memiliki kadar asam lemak bebas tinggi yang diperoleh dari tangki limbah setelah proses pemisahan minyak. Minyak sawit yang memiliki kadar *free fatty acid* (FFA) yang tinggi membutuhkan perlakuan pendahuluan untuk dijadikan sebagai bahan baku biodiesel yaitu reaksi esterifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi katalis asam sulfat terhadap rendemen dan mutu biodiesel CPO *off grade*. Esterifikasi dilakukan dengan menggunakan tiga perlakuan konsentrasi katalis yaitu A = 0,5%; B = 1%; dan C = 1,5%. Parameter mutu yang diuji adalah rendemen, massa jenis, viskositas kinematik, bilangan asam dan FFA, bilangan penyabunan, bilangan iod, dan angka setana. Hasil penelitian menunjukkan jumlah konsentrasi katalis asam pada reaksi esterifikasi memengaruhi kualitas biodiesel. Perlakuan konsentrasi katalis 1% merupakan perlakuan yang terpilih, karena memiliki karakteristik yang lebih banyak yang sudah memenuhi acuan SNI Biodiesel 7182:2015. Perolehan nilai rendemen, massa jenis, viskositas kinematik, bilangan asam dan FFA, bilangan penyabunan, bilangan iod, dan angka setana berturut-turut adalah 60%, 891,7951 Kg/m³, 3,378 mm²/s (cSt), 1,694 mg KOH/g, 0,81%, 150,4399 mg KOH/g, 32,1223 g I₂/100 g, dan 75,3525.

Kata Kunci: Biodiesel, CPO *Off grade*, Esterifikasi, Katalis asam sulfat

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri dan pertumbuhan penduduk di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun. Hal itu memberikan dampak terhadap kebutuhan energi di Indonesia yang juga semakin meningkat. Pada tahun 2000, konsumsi energi final di Indonesia hanya sebesar 778 juta *Barrel of Oil Equivalent* (BOE) dan pada tahun 2013 meningkat menjadi 1.211 juta BOE dengan perhitungan pertumbuhan rata-rata sebesar 3,46% per tahun (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2016).

Biodiesel merupakan bahan bakar nabati yang dapat digunakan untuk menggantikan bahan bakar fosil. Biodiesel dapat dibuat dari bahan nabati berupa lemak atau minyak yang dapat

mengganti bahan bakar fosil solar. Menurut (Mittlebach & Remschmidt, 2004) Biodiesel adalah salah satu bahan bakar alternatif yang berasal dari sumber yang terbarukan. Secara kimiawi, biodiesel merupakan campuran metil ester dari asam lemak rantai panjang yang dihasilkan dari sumber hayati seperti minyak nabati dan lemak hewani.

Minyak kelapa sawit berpotensi besar untuk dijadikan bahan baku pembuatan biodiesel karena mempunyai rendemen sebanyak 28%. Indonesia sebagai produsen terbesar minyak kelapa sawit atau CPO (*Crude Palm Oil*) di dunia mempunyai visi mewujudkan Indonesia menggunakan sumber energi baru terbarukan (pengganti fosil) sebanyak 25% pada tahun

2025 dalam rangka konservasi energi dan diversifikasi energi (Hutapea, 2012).

Pemakaian CPO untuk biodiesel akan bersaing dengan pengolahan pangan seperti minyak goreng dan produk pangan lainnya, sementara itu pembuatan biodiesel diharapkan dari bahan baku nonpangan. Dengan demikian, dibutuhkan sumber minyak nabati lainnya yang belum dimanfaatkan yaitu seperti sawit *off grade*. CPO *off grade* adalah minyak yang memiliki kadar asam lemak bebas yang tinggi. Minyak sawit yang memiliki kadar *free fatty acid* (FFA) yang tinggi tidak termasuk kedalam jenis minyak yang akan dikonsumsi karena perlu dilakukan proses pemurnian lebih lanjut supaya bilangan asam tidak lebih besar dari 5%. Mutu ini disyaratkan para pembeli untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi pada pengolahan lebih lanjut dari CPO, antara lain untuk diolah menjadi minyak goreng. Oleh karena itu, CPO *off grade* sangat cocok sekali untuk dijadikan bahan baku untuk pembuatan biodiesel (Budiawan dkk., 2013).

Biodiesel merupakan proses konversi dari trigliserida (CPO) menjadi metil ester melalui reaksi transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa (Jiuxu, 2013). Akan tetapi menurut (Ayhan, 2009) syarat suatu bahan bisa digunakan sebagai bahan baku untuk biodiesel adalah bahan tersebut memiliki komposisi trigliserida di atas 95% serta memiliki kandungan FFA (*Free Fatty Acid*) atau asam lemak bebas antara 2-5%. Esterifikasi berperan penting dalam menurunkan kandungan FFA atau bilangan asam. Berdasarkan penelitian Arita dkk (2008) menjelaskan bahwa dengan bertambahnya jumlah katalis asam sulfat pada tahap esterifikasi, maka kandungan asam lemak bebas akan berkurang. Akan tetapi menurut penelitian yang dilakukan Ramadhas et al (2005), apabila kelebihan katalis asam sulfat terjadi pada reaksi esterifikasi akan menyebabkan larutan produk berwarna lebih gelap, terbentuknya dimetil eter dari reaksi antara asam sulfat dengan metanol, sehingga akan menyebabkan penurunan kadar FFA

berjalan lebih lambat dan mempengaruhi mutu yang lainnya.

Meskipun sudah ada beberapa metode yang tepat pada proses esterifikasi untuk menurunkan bilangan asam, akan tetapi belum diketahuinya dampak dari jumlah konsentrasi katalis asam sulfat pada reaksi esterifikasi terhadap rendemen dan nilai mutu dari yang lainnya pada hasil esterifikasi dan biodiesel. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh konsentrasi katalis asam sulfat pada reaksi esterifikasi terhadap rendemen dan mutu biodiesel dari CPO *off grade*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. KELAPA SAWIT

Kelapa sawit adalah tumbuhan industri/ perkebunan yang berguna sebagai penghasil minyak masak, minyak industri, maupun bahan bakar. Pohon Kelapa Sawit terdiri dari dua spesies yaitu *elaeis guineensis* dan *elaeis oleifera* yang digunakan untuk pertanian komersil dalam pengeluaran minyak kelapa sawit. Pohon Kelapa Sawit *elaeis guineensis*, berasal dari Afrika barat diantara Angola dan Gambia, pohon kelapa sawit *elaeis oleifera*, berasal dari Amerika tengah dan Amerika selatan. Kelapa sawit menjadi populer setelah revolusi industri pada akhir abad ke-19 yang menyebabkan tingginya permintaan minyak nabati untuk bahan pangan dan industri sabun (Badan Statistik Perkebunan, 2007).

2.2. BIODIESEL

Minyak nabati yang berasal dari minyak kelapa sawit, minyak kelapa, minyak jarak pagar, minyak biji kapuk, dan masih ada 30 macam tumbuhan lainnya berpotensi untuk dijadikan bahan baku biodiesel sebagai bahan bakar yang terbarukan (*renewable*) (Darmawan dan I Wayan, 2013).

Menurut Syah (2006), minyak nabati mengandung beberapa komponen senyawa penyusun yang terdiri dari 95% trigliserida-trigliserida asam lemak, asam lemak bebas (FFA), monogliserida, digliserida serta

beberapa komponen lain seperti *phosphoglycerides*, vitamin, mineral (sulfur). Jika komponen trigliserida pada minyak nabati direaksikan dengan pelarut alkohol, seperti metanol atau etanol, maka akan diperoleh FAME dan gliserol. Biodiesel memiliki sifat fisik yang sama dengan minyak solar sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif kendaraan bermesin diesel (Ningtyas dkk., 2013).

2.3. ESTERIFIKASI

Secara umum biodiesel diproduksi melalui transesterifikasi, minyak dan alkohol menggunakan katalis basa yaitu natrium hidroksida (Marchetti, 2005). Metode ini hanya boleh dilakukan pada minyak yang memiliki asam lemak bebas dibawah 1% (Zhang, 2003). Akan tetapi ketika minyak nabati mengandung asam lemak bebas yang sangat tinggi, seperti jarak, pongamia, serta kemiri sunan maka akan dilakukan perlakuan awal yaitu esterifikasi. Tingginya kadar FFA mengakibatkan pembentukan sabun karena apabila asam lemak bebas bereaksi dengan katalis, maka akan membentuk sabun dan air seperti pada reaksi (Knothe et al., 2005):



2.4. REAKSI TRANSESTERIFIKASI

Reaksi transesterifikasi adalah proses yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol rantai pendek menghasilkan metil ester asam lemak (*Fatty Acids Methyl Esters* (FAME)) atau biodiesel dan gliserol. (Jannah, 2008).

3. METODOLOGI

3.1. ALAT DAN BAHAN PENELITIAN

3.1.1. Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini termasuk gelas kimia, gelas erlenmeyer, gelas ukur, corong pisah, timbangan, termometer, pipet, oven, piknometer, viskometer Ostwald, dan Buret

3.1.2. Bahan Penelitian

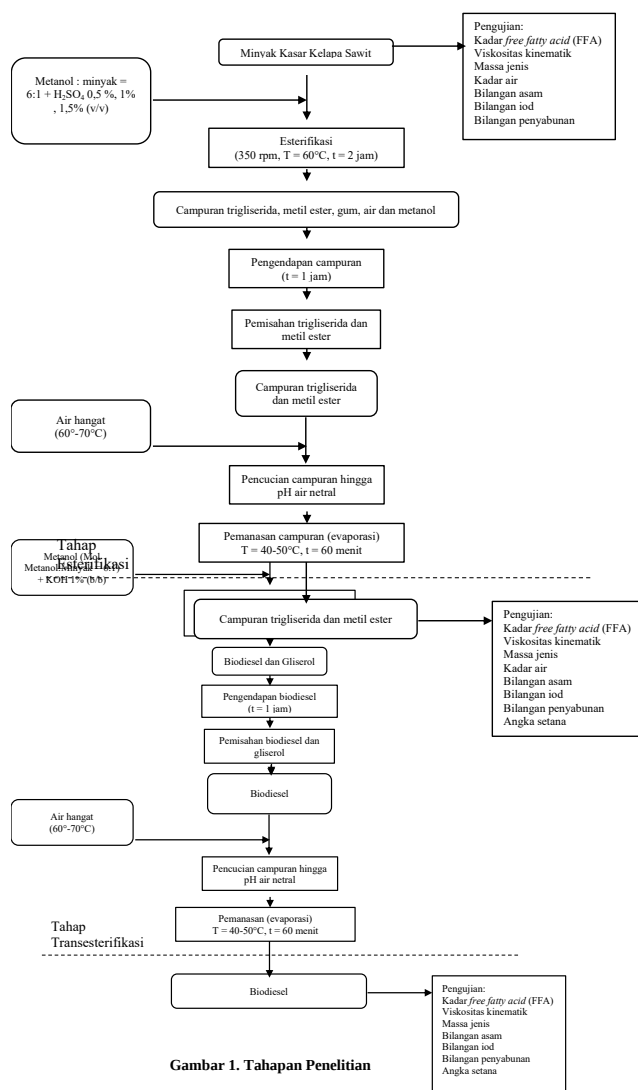
Bahan baku utama yang akan digunakan pada penelitian ini adalah minyak kelapa sawit *off grade* yang didapatkan dari PT. Condong Garut, diambil dibagian kolam limbah yang akan dilakukan pemurnian lebih lanjut. Bahan kimia yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metanol, H_2SO_4 , KOH aquades, indikator fenofalein, asam oksalat 0,1 N, KOH 0,1 N, larutan Wijs, larutan KI 15%, larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N, pati 1%, etanol.

3.2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen dengan analisis deskriptif. Penelitian ini dilakukan dengan tiga taraf perlakuan yaitu konsentrasi katalis H_2SO_4 . Dilakukan pengulangan sebanyak dua kali. Rincian perlakuan yang diberikan yaitu perlakuan A = Konsentrasi Katalis 0,5%; B = Konsentrasi Katalis 1%; dan C = Konsentrasi Katalis 1,5%

3.3. TAHAPAN PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi karakteristik minyak kelapa sawit, proses esterifikasi CPO *off grade* sebagai bahan baku biodiesel, analisis mutu fisiko-kimia CPO *Off grade* hasil esterifikasi yang dihasilkan, proses transesterifikasi, serta analisis mutu biodiesel CPO *off grade*. Diagram proses esterifikasi kelapa sawit disajikan pada Gambar 1.



3.4. KRITERIA PENGAMATAN

Parameter yang diamati pada penelitian kali ini meliputi:

1. Mutu bahan baku CPO *off grade*
 - a. Kadar *free fatty acid* (FFA)
 - b. Viskositas kinematik
 - c. Massa jenis
 - d. Kadar air
 - e. Bilangan asam
 - f. Bilangan iod
 - g. Bilangan penyabunan
2. Mutu minyak hasil esterifikasi sebagai bahan baku biodiesel
 - a. Kadar *free fatty acid* (FFA)

- b. Viskositas kinematik
 - c. Massa jenis
 - d. Kadar air
 - e. Bilangan asam
 - f. Bilangan iod
 - g. Bilangan penyabunan
 - h. Angka Setana
3. Rendemen Total Biodiesel
 4. Mutu Biodiesel CPO *Off grade*
 - a. Kadar *free fatty acid* (FFA) pada minyak setelah esterifikasi
 - b. Viskositas kinematik
 - c. Massa jenis
 - d. Bilangan asam
 - e. Bilangan iod
 - f. Bilangan penyabunan
 - g. Angka Setana

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. KARAKTERISTIK CPO *OFF GRADE*

Karakterisasi CPO *off grade* dilakukan dengan tujuan mengetahui kondisi awal dari CPO *off grade* yang akan digunakan untuk menjadi bahan baku pembuatan biodiesel khususnya pada proses esterifikasi. Karakteristik CPO *off grade* secara rinci disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik CPO *Off grade*

Parameter	Satuan	Nilai	Nilai Mutu CPO Ketaren
Kadar Air	%-wb	0,2950	0,5
Massa Jenis	Kg/m ³	889,2500	-
Viskositas Kinematik	mm ² /s (cSt)	6,1627	-
Bilangan Asam	mg KOH/g	25,8207	6,9 mg KOH/g minyak
FFA	%	12,3409	0,5
Bilangan Iod	g I ₂ /100 g	58,8464	50 – 55
Bilangan Penyabunan	mg KOH/g	45,5974	224 – 249 mg KOH/g minyak

Berdasarkan Tabel 1 diatas dapat diketahui bahwa nilai kadar air CPO *off grade* hasil pengujian adalah sebesar 0,295%-wb. Nilai kadar air tersebut tergolong tinggi dan masih jauh dari nilai SNI Biodiesel yang ditetapkan. Berdasarkan nilai (SNI 7182:2015) nilai maksimal kadar air adalah sebesar 0,05%. Akan tetapi jika dibandingkan dengan syarat mutu CPO menurut Ketaren (2005), nilai kadar air tersebut sudah memenuhi standar. Pembuatan biodiesel akan terhambat terutama pada proses transesterifikasi jika CPO mengandung air yang cukup tinggi. Menurut (Atadashi et al., 2012), kadar air yang tinggi dapat mempertinggi kemungkinan terjadinya reaksi saponifikasi dan mengurangi laju konversi trigliserida menjadi FAME sehingga rendemen dari biodiesel yang dihasilkan menjadi berkurang. Selanjutnya, selain mengurangi rendemen dari biodiesel yang dihasilkan, kandungan air yang tinggi pada minyak juga dapat mempercepat terjadinya reaksi hidrolisis yang mendorong pertumbuhan mikroba yang dapat mengotori biodiesel dan menyebabkan korosi pada mesin (Pranowo dkk, 2014).

Massa jenis CPO *off grade* yang dihasilkan dari pengujian adalah sebesar 889,2500 Kg/ m³. Nilai massa jenis dari minyak dipengaruhi oleh jenis asam lemak penyusun dari minyak dan kemurnian dari minyak itu sendiri (Pranowo dkk, 2014). Semakin jenuh kondisi minyak, maka nilai massa jenis minyak akan semakin rendah (Altun et al, 2010). Nilai tersebut jika dibandingkan dengan nilai SNI 7182:2015 biodiesel sudah memenuhi standar yaitu 850-890 Kg/ m³, artinya massa jenis yang dimiliki oleh CPO *off grade* ini memiliki penyusutan asam lemak dan kemurnian yang baik.

Nilai viskositas kinematik yang didapatkan dari CPO *off grade* adalah sebesar 6,1627 mm²/s (cSt). Nilai tersebut bila dibandingkan dengan nilai viskositas kinematik yang tercantum dalam SNI 7182:2015 hampir mendekati dimana nilai viskositas kinematik dari biodiesel harus berada pada kisaran nilai 2,3-6 mm²/s. Menurut Knothe et all. (2005), besarnya nilai viskositas

kinematik dari minyak dipengaruhi oleh panjangnya rantai karbon dan tingkat kejenuhan asam lemak. Viskositas dari minyak yang telah ditransesterifikasi seperti biodiesel, pada umumnya lebih rendah dibandingkan dengan viskositas minyak nabati yang merupakan bahan bakunya. Artinya CPO *off grade* memiliki rantai karbon yang panjang dan memiliki kejenuhan asam lemak yang tinggi.

Bilangan asam yang terdapat pada CPO *off grade* dari hasil pengujian adalah sebesar 25,8207 mg KOH/g. Nilai tersebut masih tergolong tinggi jika dibandingkan dengan nilai syarat mutu CPO dari Ketaren (2005) yaitu sebesar 6,9 mg KOH/g, bilangan asam tinggi ini salah satu indikator minyak tersebut disebut *off grade*. Bilangan asam yang tinggi mengindikasikan banyaknya asam lemak bebas yang terdapat di dalam minyak tersebut. Hal ini terbukti karena kadar asam lemak bebas atau FFA yang diperoleh dalam CPO *off grade* masih tergolong tinggi. Hasil pengujian kadar FFA yang dilakukan menunjukkan bahwa kadar FFA yang dimiliki oleh CPO *off grade* yaitu sebesar 12,3409%. Kadar FFA tersebut masih tergolong tinggi untuk proses transesterifikasi karena melebihi 3 mg-KOH/g minyak (Pranowo dkk., 2014) atau di atas 2% (Romano dan Sorichetti, 2011). Oleh karena itu, dilakukan proses esterifikasi terlebih dahulu untuk menurunkan kadar FFA yang terdapat pada minyak.

FFA yang rendah dapat mengurangi kemungkinan terbentuknya sabun ketika minyak bereaksi dengan katalis pada proses transesterifikasi. Sehingga, proses transesterifikasi akan berjalan lebih efisien. Penurunan kadar FFA juga disebabkan bahwa dalam proses esterifikasi terjadi konversi asam lemak bebas yang berberat molekul tinggi menjadi metil ester yang berberat molekul lebih rendah (Djenar dan Lintang, 2012).

Bilangan Iod menunjukkan tingkat ketidakjenuhan atau banyaknya ikatan rangkap asam lemak. Bilangan iod yang dimiliki oleh CPO *off grade* adalah sebesar 58,8464 g

12/100 g. Nilai ini belum memenuhi syarat sebagai mutu CPO. Menurut Ketaren (2005) syarat nilai bilangan iod yang dimiliki oleh CPO adalah kisaran antara 50-55 g I₂/100 g. Artinya CPO *off grade* ini memiliki ketidakjenuhan yang lebih besar. Menurut Barabas dan Todorut (2011), biodiesel dengan bilangan iod yang tinggi lebih mudah teroksidasi apabila melakukan kontak dengan udara. Nilai bilangan iod sangat dipengaruhi oleh komposisi ester dari bahan baku biodiesel yang digunakan. Biodiesel dengan bilangan iod yang tinggi (memiliki asam lemak tak jenuh yang tinggi) dapat meningkatkan bahaya polimerisasi yang dapat terjadi pada mesin (Prankl dan Worgetter, 1996).

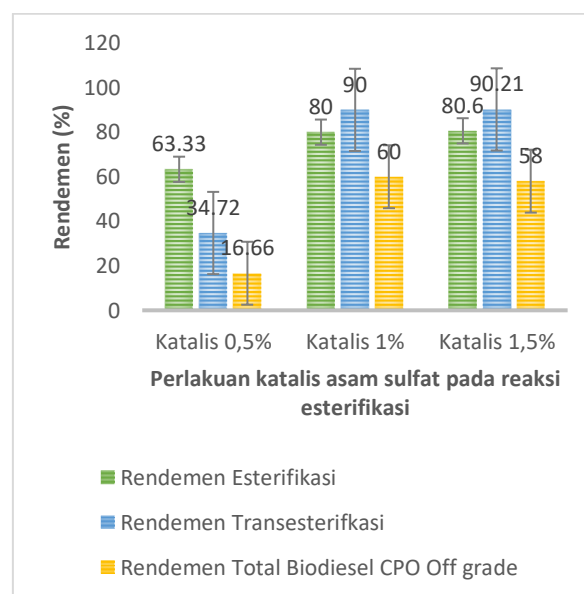
Hasil pengujian bilangan penyabunan dari CPO *off grade* adalah sebesar 45,5974 mg KOH/g. Nilai tersebut termasuk rendah jika dibandingkan dengan syarat mutu CPO yang ditentukan oleh Ketaren (2005), yaitu sebesar 224-249 mg KOH/g, sedangkan berdasarkan SNI-04-7182-2006 bilangan penyabunan yang ditetapkan adalah minimal harus sebesar 96,5 mg KOH/g. Menurut Hambali (2006) angka penyabunan adalah banyaknya milligram KOH yang dibutuhkan untuk menyabunkan 1 gram sampel biodiesel, artinya dengan nilai bilangan penyabunan yang dimiliki oleh CPO *off grade* ini tidak cukup untuk menyabunkan 1 gram biodiesel.

4.2. RENDEMEN BIODIESEL CPO OFF GRADE

Sampel dari setiap perlakuan hasil dari reaksi esterifikasi kemudian dianalisis. Setelah itu dilakukan reaksi transesterifikasi dan dianalisis kembali mutu biodiesel nya untuk mengetahui perbandingan antara sesudah reaksi esterifikasi dan sesudah reaksi transesterifikasi.

Rendemen proses pembuatan biodiesel CPO *off grade* terdiri dari rendemen esterifikasi, rendemen transesterifikasi dan rendemen total proses pembuatan biodiesel. Rendemen esterifikasi merupakan rendemen yang dihasilkan dari bahan baku CPO *off grade* hingga proses esterifikasi selesai. Rendemen

proses pemisahan, proses pencucian, serta proses evaporasi merupakan termasuk dari bagian rendemen esterifikasi. Minyak hasil esterifikasi kemudian dilakukan proses transesterifikasi, sehingga akan menghasilkan rendemen hasil transesterifikasi. rendemen proses pemisahan, proses pencucian, serta proses evaporasi merupakan termasuk dari bagian rendemen transesterifikasi. Rendemen total biodiesel merupakan rendemen yang dihasilkan dari CPO *off grade* hingga proses transesterifikasi selesai. Perhitungan nilai rendemen total dilakukan untuk menunjukkan informasi mengenai besarnya rendemen pengolahan dari awal hingga akhir proses pembuatan biodiesel CPO *off grade*. Rendemen yang dihasilkan seperti yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Rendemen Biodiesel CPO Off grade

Dari Gambar 2 dapat diketahui bahwa nilai rendemen esterifikasi, rendemen transesterifikasi dan rendemen total biodiesel yang paling besar terdapat pada perlakuan konsentrasi katalis 1,5% dibandingkan dengan konsentrasi katalis 0,5% dan 1%. Terlihat linear semakin besar jumlah konsentrasi katalis maka nilai rendemen akan semakin besar. Hal ini dapat disebabkan oleh jumlah sisa reaksi yang ada pada CPO *off grade* yang diolah. Jika kita perhatikan pada perlakuan konsentrasi katalis

0,5% memiliki nilai rendemen esterifikasi, nilai rendemen transesterifikasi dan nilai rendemen total biodiesel yang paling rendah, hal ini menunjukkan bahwa hasil reaksi esterifikasi dan transesterifikasi pada konsentrasi katalis 0,5% memiliki sisa reaksi yang lebih banyak bila dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya. Maka dari itu, berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan jika semakin besar konsentrasi katalis maka akan semakin besar rendemen yang didapatkan, kemudian akan berkurang setelah mencapai titik optimum. Menurut Ramadhas et al (2005), apabila kelebihan katalis (H_2SO_4) terjadi pada saat reaksi esterifikasi akan menyebabkan larutan produk berwarna lebih gelap, terbentuknya dimetil eter dari reaksi antara excess H_2SO_4 dengan metanol, sehingga akan menyebabkan penurunan kadar FFA berjalan dengan lambat dan dapat mempengaruhi mutu yang lainnya.

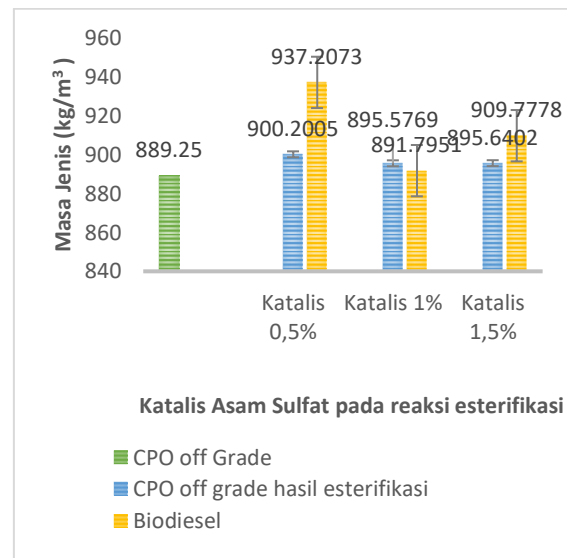
4.3. ANALISIS MUTU BIODIESEL CPO OFF GRADE

4.3.1. Massa Jenis

Massa jenis akan memengaruhi kualitas dari atomisasi dan pembakaran yang terjadi pada mesin. Nilai angka setana, viskositas, serta nilai kalor dari bahan bakar akan dipengaruhi oleh massa jenis. Massa jenis juga diperlukan dalam pembuatan, penyimpanan, transportasi dan distribusi proses biodiesel karena merupakan parameter penting untuk diperhitungkan dalam desain proses ini (Barabas dan Todorut, 2011). Massa jenis pada temperatur $40^\circ C$ yang ditentukan pada syarat mutu biodiesel SNI 7182:2015 memiliki nilai 850-890 kg/m^3 . Nilai Massa jenis sampel CPO off grade hasil esterifikasi yang diperoleh, disajikan pada Gambar 3.

Nilai massa jenis biodiesel yang paling mendekati dengan nilai SNI, yaitu pada perlakuan katalis 1% yaitu sebesar 891,7951 kg/m^3 dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya, hal itu dikarenakan pada perlakuan tersebut yang paling sempurna untuk memecahkan dan memisahkan antara biodiesel dengan gliserol selain itu kondisi awal CPO off grade sebelum reaksi esterifikasi dan

transesterifikasi memiliki massa jenis yang memenuhi SNI 7182:2015, yaitu sebesar 889,2500 kg/m^3 .



Gambar 3. Grafik Massa jenis Biodiesel CPO Off grade

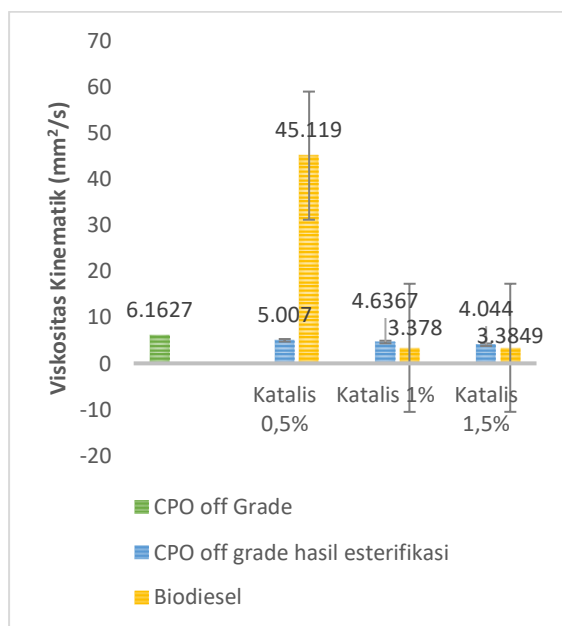
Massa jenis dari kondisi awal CPO off grade terjadi kenaikan massa jenis pada setiap perlakuan, hal itu terjadi kemungkinan dikarenakan pada saat reaksi esterifikasi dan transesterifikasi gliserol yang terbentuk belum terpisahkan secara sempurna. Keberadaan gliserol dapat meningkatkan nilai massa jenis karena gliserol memiliki nilai massa jenis sekitar 1,26 g/cm^3 (Sudradjat dkk, 2010).

Nilai massa jenis pada bahan bakar bergantung kepada komposisi asam lemak pada minyak serta tingkat kejenuhan dari asam lemak tersebut. Semakin jenuh ester yang terkandung dalam sampel, maka semakin rendah massa jenis sampel tersebut (Altun et al., 2010). Nilai massa jenis biodiesel pada perlakuan 1% yang lebih kecil dibandingkan dengan perlakuan 0,5% dan 1,5% diduga karena sampel perlakuan 1% memiliki komponen ester yang lebih jenuh.

4.3.2. Viskositas Kinematik

Kemampuan bahan bakar untuk melawan pergerakan relatif dari lapisan penyusunnya karena daya tarik yang terjadi antar molekul itu merupakan 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 (Barabas dan Todorut, 2011).



Gambar 4. Grafik Viskositas Kinematik Biodiesel

Nilai viskositas kinematik pada suhu 40°C biodiesel yang ditetapkan pada SNI 7182:2015 merupakan rentang 2,3-6,0 mm²/s. Nilai viskositas kinematik biodiesel yang diperoleh pada CPO of grade terendah pada perlakuan konsentrasi katalis 1% dengan nilai 3,378 mm²/s dan yang tertinggi pada perlakuan konsentrasi katalis 0,5% dengan nilai 45,119 mm²/s seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini diduga karena sampel perlakuan katalis 1% memiliki rantai karbon yang lebih pendek dibandingkan dengan sampel perlakuan lainnya. Hal ini dikarenakan semakin besar molekul hidrokarbon, maka area kontak antar molekul lebih besar. Sehingga memungkinkan terjadinya gaya tarik menarik antar molekul semakin banyak terjadi dan menyebabkan viskositas semakin besar.

Nilai yang diperoleh dari setiap perlakuan hanya perlakuan katalis 0,5% saja yang tidak memenuhi syarat mutu biodiesel SNI 7182:2015. Sebelum reaksi transesterifikasi dilakukan nilai viskositas yang dihasilkan sudah

memenuhi SNI, akan tetapi setelah dilakukan reaksi transesterifikasi nilai viskositas naik secara drastis jauh melebihi ambang batas. Hal ini dapat disebabkan bahwa pada saat reaksi transesterifikasi tidak berjalan dengan sempurna, sehingga pengkonversian asam lemak tidak berjalan dengan baik.

Nilai viskositas kinematik biodiesel yang diperoleh sedikit berbeda apabila dibandingkan dengan viskositas kinematik CPO *off grade* hasil esterifikasi dan nilai viskositas kinematik CPO *off grade*. Viskositas memiliki hubungan yang erat dengan komposisi asam lemak yang terkandung dalam minyak. Viskositas biodiesel dibandingkan dengan bahan bakunya diduga karena perubahan panjang rantai asam lemak yang menjadi semakin pendek akibat proses esterifikasi dan transesterifikasi (Djenar dan Lintang, 2012). Hanya pada perlakuan 0,5% saja yang proses transesterifikasi tidak berjalan dengan baik, diduga jumlah katalis terlalu kurang sehingga untuk mengkonversi trigliserida menjadi metal ester menjadi terhambat.

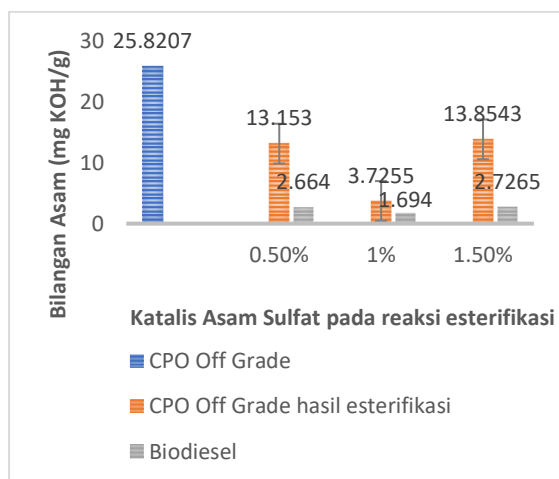
4.3.3. Bilangan Asam

Bilangan asam merupakan jumlah KOH dalam satuan milligram yang diperlukan untuk dapat menetralkan asam dalam satu gram sampel bahan. Nilai bilangan asam mengindikasikan jumlah asam lemak bebas (ALB) yang ada pada bahan baku yang akan dijadikan bahan pembuatan biodiesel. Selain itu bilangan asam juga menunjukkan tingkat korosi bahan bakar, kandungan air yang ada dalam minyak, dan menunjukkan tingkat kesegaran biodiesel yang dihasilkan (Barabas dan Todorut, 2011).

Nilai bilangan asam pada setiap perlakuan hasil esterifikasi apabila dibandingkan dengan nilai bilangan asam sebelum esterifikasi mengalami penurunan yang signifikan, yaitu dari 25,8207 mg KOH/g minyak menjadi 3,7255 – 18,8543 mg KOH/g minyak (Gambar 5).

Nilai bilangan asam biodiesel yang ditentukan pada syarat mutu SNI 7182:2015 yaitu harus memiliki nilai maksimum 0,5 mg KOH/g Minyak. Nilai bilangan asam pada setiap perlakuan

belum memenuhi syarat SNI yang ditentukan. Hal ini diduga karena terjadinya hidrolisis dan oksidasi yang lebih cepat pada sampel perlakuan. Oksidasi yang terjadi pada minyak dapat membentuk asam organik di dalam nya. Sedangkan hidrolisis yang terjadi dapat menyebabkan pembentukan asam lemak bebas sehingga dapat meningkatkan bilangan asam (Barabas dan Todorut, 2011).



Gambar 5. Grafik Bilangan Asam Biodiesel

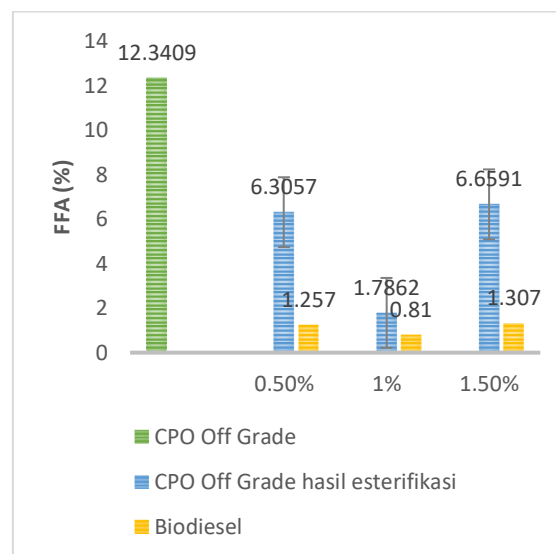
Menurut J. Van Gerpen, dkk, (2004), penurunan bilangan asam ini disebabkan karena pada tahap esterifikasi, katalis asam dapat dengan cepat mengkonversi asam lemak bebas menjadi metil ester dan air. Sementara Menurut Knothe et al (2005) reaksi esterifikasi dapat dikatakan sempurna apabila asam lemak direaksikan dengan alkohol (metanol) maka hasil reaksi menghasilkan metil ester dan air. Begitupun nilai bilangan asam biodiesel bila dibandingkan dengan nilai bilangan asam sebelum reaksi transesterifikasi mengalami penurunan yaitu dari 13,8543 mg KOH/g minyak menjadi 1,694 mg KOH/g biodiesel. Penurunan bilangan asam dikarenakan asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak telah bereaksi dengan ion metoksida membentuk ester pada proses transesterifikasi (Kusumaningsih dkk., 2006).

Nilai bilangan asam mengalami penurunan dari perlakuan katalis 0,5% ke katalis 1%, kemudian meningkat kembali pada perlakuan 1,5%, hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar jumlah katalis maka bilangan asam akan semakin menurun namun akan kembali

meningkat jika kelebihan katalis, maka dari itu yang paling optimal untuk menurunkan bilangan asam yaitu harus digunakan katalis 1%.

4.3.4. FFA

Kadar FFA sangat mempengaruhi keberhasilan dari proses pembuatan biodiesel. Kadar FFA yang sangat tinggi pada bahan baku pembuatan biodiesel akan bereaksi dengan katalis dan menghasilkan sabun, yang mengakibatkan turunnya nilai rendemen dalam proses transesterifikasi (Knothe et al, 2005). Menurut Djenar dan Lintang (2012), kadar FFA yang tinggi bersifat merugikan oleh karena itu perlu dilakukan reaksi esterifikasi dengan katalis asam guna menurunkan kadar FFA yang ada pada bahan baku pembuatan biodiesel.



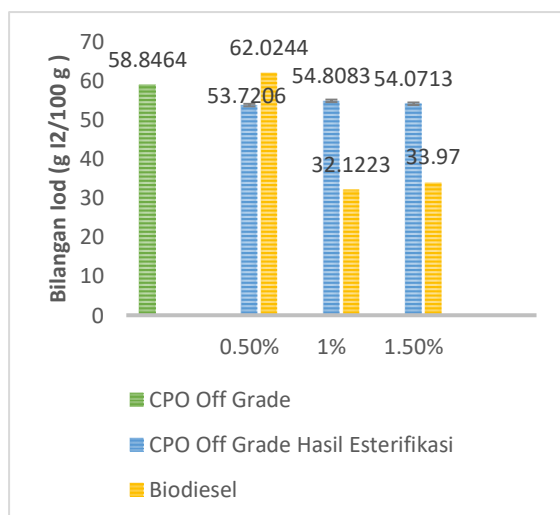
Gambar 6. Grafik FFA Biodiesel

Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa kadar FFA setelah dilakukan reaksi esterifikasi yang ada pada tiap sampel perlakuan mengalami penurunan setelah jika dibandingkan dengan kondisi awal CPO *off grade* sebelum esterifikasi. Kadar FFA pada CPO *off grade* adalah sebesar 12,3409%, kemudian turun menjadi 6,3057% pada perlakuan konsentrasi katalis 0,5%, 1,7862% pada perlakuan konsentrasi katalis 1% dan 6,6591% pada perlakuan konsentrasi katalis 1,5%, begitupun mengalami penurunan kembali setelah dilakukan reaksi

transesterifikasi, yaitu 1,257% pada perlakuan katalis 0,5%, 0,81% pada perlakuan katalis 1%, dan 1,307% pada perlakuan katalis 1,5% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Turunnya kadar FFA yang dimiliki oleh sampel mengindikasikan bahwa reaksi esterifikasi dan transesterifikasi berjalan dengan efektif.

4.3.5. Bilangan Iod

Bilangan Iod menunjukkan tingkat ketidakjenuhan atau banyaknya ikatan rangkap asam lemak penyusun biodiesel. (Knothe, 2005). Biodiesel dengan bilangan iod yang tinggi lebih mudah teroksidasi apabila melakukan kontak dengan udara (Barabas dan Todorut, 2011). Dari hasil pengujian yang diperoleh terlihat bahwa bilangan iod CPO *off grade* hasil esterifikasi mengalami penurunan jika dibandingkan dengan CPO *off grade* sebelum reaksi esterifikasi, yaitu dari 58,8464 g I₂/100 g menjadi 53,7206 – 54,8083 g I₂/100 g (Gambar 7).



Gambar 7. Grafik Bilangan Iod Biodiesel

Turunnya kadar bilangan iod menunjukan reaksi esterifikasi berjalan dengan baik, sehingga bisa sedikit menurunkan ketidakjenuhan minyak. Begitupun dengan bilangan iod biodiesel mengalami penurunan jika dibandingkan dengan nilai bilangan iod CPO *off grade* hasil esterifikasi, hanya pada perlakuan katalis 0,5% saja yang mengalami peningkatan, hal itu dapat disebabkan ketika reaksi transesterifikasi tidak berjalan dengan

optimum, hal itu terbukti dengan nilai bobot jenis dan viskositas yang besar.

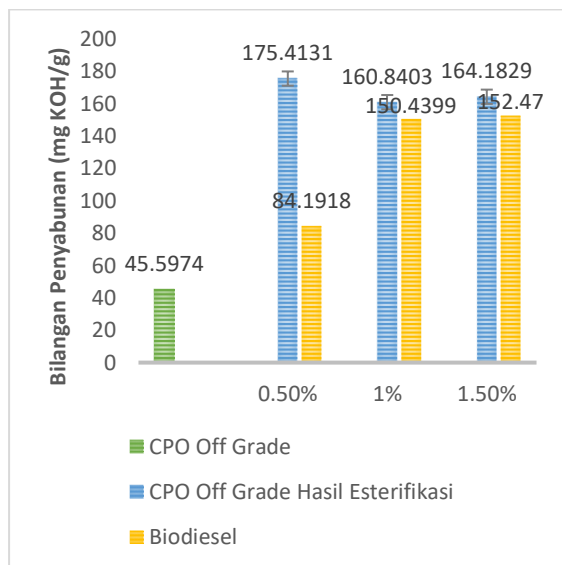
Nilai bilangan iod yang diperoleh memiliki nilai yang rendah di bawah batas maksimal. Nilai bilangan iod yang rendah menunjukkan bahwa sampel yang dihasilkan memiliki tingkat kemudahan oksidasi dan polimerisasi yang rendah. Menurut Van Gerpen et al. (2004), semakin tak jenuh komponen asam lemak maka semakin rentan terhadap oksidasi. Ikatan rangkap yang terdapat dalam asam lemak tak jenuh mudah bereaksi dengan oksigen sehingga lebih rentan teroksidasi. Ikatan rangkap yang terdapat dalam asam lemak juga lebih rentan terhadap reaksi polimerisasi (Knothe et al., 2005). Hal ini akan menyebabkan peningkatan viskositas dan pembentukan komponen yang tidak mudah larut sehingga dapat menyumbat saluran bahan bakar. Angka iod yang lebih besar dari 115 akan terbentuk deposit di lubang saluran injeksi, piston ring, dan kenal piston ring pada mesin diesel yang mengakibatkan lemak ikatan rangkap mengalami ketidak stabilan pada temperatur yang tinggi sehingga terjadi reaksi polimerisasi dan pembentukan deposit (Prihandana et al., 2006).

Sampel perlakuan katalis 1% memiliki bilangan iod yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel yang lainnya, hal ini diduga bahwa sampel perlakuan katalis 1% memiliki lebih sedikit asam lemak tak jenuh, atau memiliki ikatan rangkap yang lebih sedikit.

4.3.6. Bilangan Penyabunan

Angka penyabunan adalah banyaknya milligram KOH yang dibutuhkan untuk menyabunkan 1 gram sampel biodiesel (Hambali, 2006). Bilangan penyabunan mengindikasikan nilai kandungan senyawa intermediet (mono dan digliserida) dan senyawa trigliserida yang tidak bereaksi. Keberadaan senyawa-senyawa intermediet trigliserida dalam biodiesel dapat menyebabkan penyumbatan pada alat injeksi mesin (Prihandana et al, 2006).

Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa nilai bilangan penyabunan yang ada pada tiap sampel perlakuan mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan kondisi awal CPO *off grade* sebelum esterifikasi (Gambar 8).



Gambar 8. Grafik Bilangan Penyabunan Biodiesel

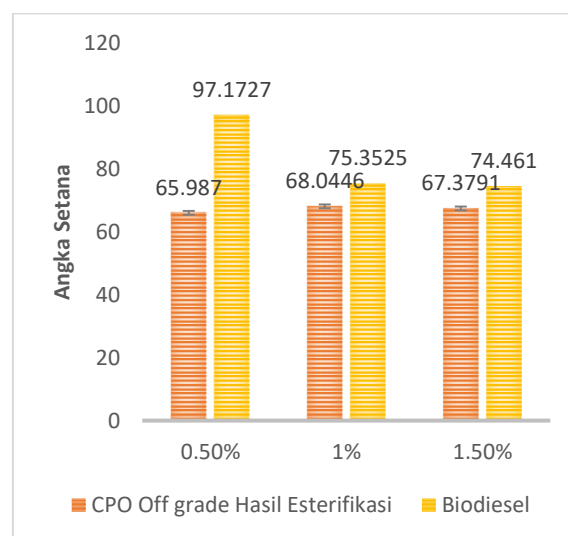
Menurut Ketaren (2005), bilangan penyabunan suatu minyak yaitu kisaran antara 224-249 mg KOH/g, sedangkan berdasarkan SNI Biodiesel SNI-04-7182-2006 bilangan penyabunan yang ditetapkan adalah minimal harus sebesar 96,5 mg KOH/g. Artinya yang awal mulanya CPO *off grade* sebelum reaksi esterifikasi memiliki bilangan penyabunan yang rendah, akan tetapi setelah terjadi proses esterifikasi dan transesterifikasi bilangan penyabunan menjadi meningkat, hal itu menunjukkan bahwa metanol, katalis dan minyak bereaksi dengan optimum, terutama apabila asam lemak dicampurkan dengan katalis maka akan menyebabkan asam lemak sedikit tersabunkan. Hal itu terbukti ketika dilakukan penambahan KOH pada analisis angka penyabunan menyebabkan H_2SO_4 dan KOH yang terdapat dalam CPO *off grade* hasil esterifikasi dan transesterifikasi semakin kecil. Hal ini terjadi karena minyak (trigliserida) telah tersabunkan pada saat penggunaan konsentrasi katalis dan suhu tinggi, sehingga HCl yang dibutuhkan untuk mengetahui KOH semakin kecil, sehingga angka penyabunan menjadi tinggi.

Sementara itu pada setiap perlakuan dari bilangan penyabunan CPO *off grade* hasil esterifikasi ke bilangan biodiesel mengalami penurunan, bahkan pada perlakuan katalis 0,5% sampai turun dibawah ambang batas SNI yang ditetapkan. Hal ini kemungkinan disebabkan karena pada saat reaksi transesterifikasi sedikit terjadi reaksi saponifikasi, sehingga bilangan penyabunan menjadi rendah.

4.3.7. Angka Setana

Angka setana merupakan salah satu karakteristik yang paling penting dalam penentuan kualitas biodiesel. Angka setana mengukur kesiapan dan kecepatan bahan bakar untuk terbakar secara otomatis ketika diinjeksikan pada mesin. Angka setana sangat dipengaruhi oleh komposisi dari bahan bakar dan dapat mempengaruhi tingkat kebisingan, emisi gas buang, dan kemampuan mesin untuk menyala (Van Gerpen, 1996; Holilah dkk., 2013).

Pada penelitian ini, angka setana diuji menggunakan persamaan Krisnangkura (1986) berdasarkan nilai bilangan iod serta bilangan penyabunan. Nilai angka setana CPO *Off grade* hasil esterifikasi dan angka setana biodiesel yang diperoleh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9



Gambar 9. Grafik Angka Setana Biodiesel

Nilai angka setana sampel perlakuan konsentrasi katalis 0,5% yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel perlakuan konsentrasi katalis 1% dan 1,5%. Hal ini diduga karena CPO *off grade* hasil esterifikasi yang dihasilkan pada sampel perlakuan katalis 1,5% mengandung banyak komponen asam lemak jenuh. Nilai angka setana yang ditetapkan dalam syarat mutu biodiesel SNI 7182:2015 yaitu bernilai minimum 51. Nilai angka setana dari sampel yang diperoleh sudah memenuhi SNI.

Menurut Van Gerpen (1996), semakin tinggi angka setana yang dihasilkan, maka semakin jenuh komponen yang terdapat di dalam bahan bakar. Akan tetapi jika dilihat dari nilai bilangan iod, viskositas kinematik dan massa jenis sampel pada perlakuan 0,5% memiliki bilangan iod yang paling besar, itu artinya sebenarnya sampel perlakuan 0,5% memiliki asam lemak yang tidak jenuh. Perbedaan ini terjadi kemungkinan diakibatkan oleh nilai bilangan penyabunan sampel perlakuan 0,5% memiliki dibawah nilai SNI, yang mengakibatkan pada saat perhitungan angka setana yang pembagiannya rendah sehingga hasilnya akan semakin besar. Maka dari itu untuk angka setana perlakuan katalis 0,5% sebenarnya memiliki angka setana yang lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya.

Nilai angka setana yang dihasilkan melebihi dari nilai angka setana pada standar SNI yang ditentukan. Semakin tinggi nilai angka setana, maka semakin mudah pembakaran dan semakin singkat keterlambatan pembakaran bahan bakar (*ignition delay*). Hal ini menyebabkan berkurangnya pembentukan emisi NO_x (Van Gerpen et al., 2007). Sementara menurut Hendarsono, (2005) angka setana tinggi menunjukkan bahwa bahan bakar dapat menyala pada temperatur yang relatif rendah sebaliknya semakin rendah angka setana maka semakin rendah pula kualitas penyalan karena memerlukan suhu penyalan yang lebih tinggi (Hendarsono, 2005).

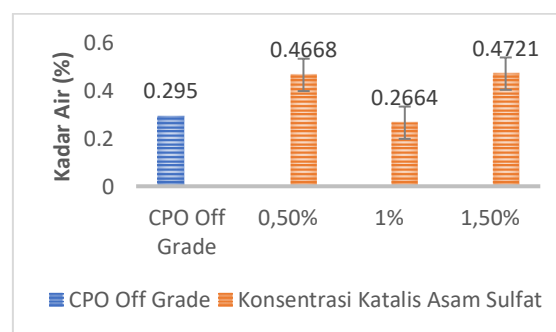
Nilai angka setana sampel perlakuan katalis 1% yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel perlakuan 1,5% mengindikasikan bahwa sampel perlakuan katalis 1% memiliki kemampuan pembakaran yang lebih baik dan memiliki keterlambatan pembakaran yang lebih singkat.

4.3.8. Kadar Air

Keberadaan air dalam proses produksi dan pemurnian biodiesel, penyimpanan, serta penggunaan mesin dapat menyebabkan berbagai masalah. Masalah yang dapat muncul di antaranya yaitu kesulitan dalam produksi biodiesel terutama pada proses transesterifikasi dengan katalis basa. Biodiesel yang memiliki komponen monogliserida dan digliserida yang tinggi memiliki kemampuan menyerap air lebih tinggi dibandingkan dengan biodiesel yang memiliki komponen mayoritas metil ester. Selain itu, ketika suhu air mencapai 0°C maka akan terbentuk kristal es yang dapat mempercepat pembentukan gel dari residu bahan bakar (Atadashi et al., 2012).

Nilai kadar air yang diuji hanya pada CPO *off grade* hasil esterifikasi saja, sedangkan untuk biodiesel tidak diuji kadar air karena keterbatasan alat dan waktu.

Nilai kadar air pada tiap perlakuan hasil esterifikasi memiliki nilai yang cukup beragam. Nilai kadar air hasil esterifikasi ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Kadar Air CPO Off grade Hasil Esterifikasi

Berdasarkan SNI 7182:2015 ditetapkan bahwa nilai kadar air dari biodiesel maksimum adalah

sebesar 0,05%. Nilai kadar air dari ketiga sampel tersebut masih jauh diatas batas ketetapan, hal ini karena reaksi esterifikasi memang tidak dapat menurunkan jumlah kandungan air pada minyak, bahkan akan menghasilkan air. Menurut (Knothe et al, 2005), selama proses esterifikasi, asam lemak bebas yang direaksikan dengan metanol dan katalis akan menghasilkan metil ester dan air.

Nilai kadar air yang didapatkan oleh sampel konsentrasi katalis 0,5% lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi katalis 1%, akan tetapi lebih kecil jika dibandingkan dengan konsentrasi katalis 1,5%. Hal ini dapat disebabkan karena jumlah konsentrasi katalis 0,5% merupakan jumlah yang masih kurang untuk mereaksikan antara asam lemak bebas dengan metanol sehingga, tenaga aktivasi yang dihasilkan rendah. Sementara itu, untuk katalis 1,5% terlalu banyak katalis yang menyebabkan kurangnya metanol untuk bereaksi dengan asam lemak bebas. Konsentari katalis 1% yang paling baik, sehingga reaksi esterifikasi berjalan dengan baik. Jika dibandingkan dengan kondisi kadar air awal bahan baku, kadar air CPO *off grade* hasil esterifikasi ada penurunan pada katalis 1%, sedangkan pada katalis 0,5% dan 1,5% terjadi peningkatan kadar air. Hal ini pada perlakuan katalis 0,5% dan 1,5% proses esterifikasi tidak berjalan dengan optimal, dan diduga masih banyak sisa air yang terkandung pada proses evaporasi berjalan.

4.3.9. Rekapitulasi Data Hasil Penelitian

Rekapitulasi data hasil penelitian merupakan kumpulan data dari semua perlakuan untuk mengetahui data mana yang memiliki hasil rendemen dan kualitas mutu terbaik. Data hasil rekapitulasi disajikan pada Tabel 2. Ditunjukan pula parameter terbaik dari perlakuan pada masing-masing parameter.

Tabel 2. Rekapitulasi Data Hasil Penelitian

Parameter	Perlakuan			SNI Biodiesel 7182:2015	Satuan	Keterangan
	Katalis 0,5%	Katalis 1%	Katalis 1,5%			
Rendemen	16,66	60	58	-	%	
Massa jenis	937,2073	891,7951	909,7778	850-890	Kg/m ³	Belum memenuhi SNI
Viskositas Kinematik	43,119	3,378	3,8872	2,3 – 6,0 (min)	mm ² /s (cSt)	Sudah memenuhi SNI
Bilangan Asam	2,664	1,694	2,7265	0,5 (maks)	mg KOH/g	Belum memenuhi SNI
FFA	1,257	0,81	1,307	-	-	-
Bilangan Iod	62,0244	32,1223	33,97	115 (maks)	g I ₂ /100 g	Sudah memenuhi SNI
Bilangan Penyabunan	84,1918	150,4399	152,47	96,5 (min)	mg KOH/g	Sudah memenuhi SNI
Angka Setana	97,1727 Tidak sesuai	75,3525	74,461	51 (min)		Sudah memenuhi SNI

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa reaksi esterifikasi pada konsentrasi katalis 1% dengan kondisi operasi yang sudah ditentukan merupakan perlakuan terbaik yang bisa digunakan untuk produksi biodiesel kedepannya, karena dari 8 parameter yang menjadi acuan 7 diantaranya memiliki nilai terbaik jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Nilai bilangan asam, FFA, massa jenis, viskositas kinematik, bilangan iod dan angka setana merupakan 6 parameter penting yang bisa digunakan untuk menentukan kualitas mutu dbiodiesel, terutama bilangan asam dan FFA yang merupakan indikator kunci yang menyatakan apakah reaksi esterifikasi berjalan dengan efisien atau tidak.

5. SIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Biodiesel yang memiliki mutu yang paling baik adalah pada perlakuan katalis 1%, karena memiliki karekteristik yang lebih banyak yang sudah memenuhi acuan SNI Biodiesel 7182:2015. Perolehan nilai rendemen, Massa jenis, viskositas kinematik, bilangan asam dan FFA, bilangan penyabunan, bilangan iod, dan angka setana berturut-turut adalah 60%, 891,7951 Kg/m³, 3,378 mm²/s (cSt), 1,694 mg KOH/g, 0,81%, 150,4399 mg KOH/g, 32,1223 g I₂/100 g, dan 75,3525.

Saran

Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh konsentrasi katalis yang lain pada reaksi esterifikasi dikarenakan dengan konsentrasi katalis 1% bilangan asam dan FFA belum memenuhi meskipun memiliki nilai terbaik.

Perlu ada proses pre-treatment CPO *off grade* sebelum masuk kepada tahap proses produksi, untuk membersihkan kotoran-kotoran yang akan menghambat proses produksi biodiesel.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Altun, S., Yasar, F., Oner, C. 2010. The Fuel Properties of Methyl Ester Produced from Canola Oil-Animal Tallow Blends by Base-Catalyzed Transesterification. *Interntional Journal of Engineering Research and Development* 2(2): pp. 2-5.
- Arita, Meta Berlian, Jaya Irawan. 2008. Pembuatan Metil Ester Asam Lemak Dari Cpo *Off grade* Dengan Metode Esterifikasi-Transesterifikasi. Teknik Kimia Universitas Sriwijaya. Palembang
- Atadashi, I.M., Aroua, M.K., Abdul Aziz, A.R., Sulaiman, N.M.N. 2012. The Effects of Water on Biodiesel Production and Refining Technologies: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(2012): pp. 3456-3470.
- Ayhan D. 2009. Production of biodiesel fuels from linseed oil using methanol and ethanol in non-catalytic SCF conditions. *J Biomassa and Bioenergy* 33:113–118.
- Badan Pusat Statistik. 2007. Pembakuan Statistik Perkebunan. Jakarta.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2016. Outlook Energi Indonesia 2016 : Pengembangan Energi untuk Mendukung Industri Hijau. Pusat Teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia.
- Barabas, I. and Todorut, I. 2011. *Biodiesel Quality, Standards, and Properties*. In Dr. Gisela Montero (Ed.) *Biodiesel Quality, Emissions, and By-Products* (pp.3-28). Croatia: InTech
- Budiawan, R., Zulfansyah, Fatra, R., dan Helwani, Z. (2013). 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. 7 : 40-50
- Darmawan, Ferry Indra dan I wayan Susila. 2013. Proses Produksi Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Metode Pencucian Dry-Wash Sistem. Jurusan Teknik Mesin UNESA.
- Djenar, N.S. dan Lintang, N. 2012. Esterifikasi Minyak Kemiri Sunan (Aleurites trisperma) Dalam Pembuatan Biodiesel. *Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik* 14(3): hal. 215-221.
- Gao, W., Najia Guan, Jixin Chen, Xinxin Guan, Ruicai Jin, Haisheng Zeng, Zhiguang Liu, and Fuxiang Zhang, (2003), "Titania Supported Pd-Cu Bimetallic Catalyst for the Reduction of Nitrate in Drinking Water", *Applied Catalysis B: Environmental*, 46, hal. 341-351
- Hambali, E., Suryani, A., Dadang, Hariyadi, Hanafie, H., Reksowardojo, I.K., dkk. 2006. *Jarak Pagar: Tanaman Penghasil Biodiesel*. Depok: Penebar Swadaya.
- Hendartono, T. 2005, "Pemanfaatan Minyak Dari Tumbuhan Untuk Pembuatan Biodiesel", www.Biodiesel.org
- Jannah, R. 2008. Reaksi Transesterifikasi Trigliserida Minyak Jarak Pagar dengan Metanol Menggunakan Katalis Padatan Basa K_2CO_3/Al_2O_3 . Depok: Universitas Indonesia
- Ketaren, S. 2005. *Minyak Dan Lemak Pangan*. Jakarta; Penerbit Universitas Indonesia. Halaman 284
- Knothe, G., Gerpen, J.V., Krah, J. 2005. *The Biodiesel Handbook*. United States of America: AOCS Press.
- Krisnangkura, Kanit. 1986. A Simple Method for Estimation of Cetane Index of Vegetable Oil Methyl Esters. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 63(2): pp. 562-563.

- Kusumaningsih, T., Pranoto, Saryoso, R. 2006. Pembuatan Bahan Bakar Biodiesel dari Minyak Jarak: Pengaruh Suhu dan Konsentrasi KOH pada Reaksi Transesterifikasi Berbasis Katalis Basa. *Jurnal Bioteknologi* 3(1): hal. 20-26..
- Liu, Jiuxu, "Biodiesel Synthesis via Transesterification Reaction in Supercritical Methanol: a) A Kinetic Study , b) Biodiesel Synthesis Using Microalgae Oil", 2013, Biomedical and Chemical Engineering – Theses. Paper 3 , page. 6-9.
- Marchetti, J.M., V.U. Miguel and A.F. Errazu. 2005. Possible Methods for Biodiesel Production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 11:1300-1311.
- Maritje Hutapea. 2012. "Kebijakan dan Program Pengembangan Bahan Bakar Nabati. Lokakarya Penggunaan Minyak Nabati Murni pada Motor Diesel dan Rekayasa
- Mittlebach, M. and Remschmidt. 2004. Biodiesel The Comprehensive Handbook Viema: Boersdruck Ges. M.bh.
- Ningtyas, D.P., Budhiyanti, S.A., Sahubawa, L. 2013. Pengaruh Katalis Basa (NaOH) pada Tahap Reaksi Transesterifikasi terhadap Kualitas Biofuel dari Minyak Tepung Ikan Sardin. *Jurnal Teknosains* 2: hal. 71-158
- Nurjanah, S., Lestari, D.S., Widyasanti, A., Zain, S. 2015. The Effect of NaOH Concentration and Length of Transesterification Time on Characteristic of FAME from *Reutealis trisperma* (Kemiri Sunan). *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology* Vol 5(2015) No. 1: pp. 52-56
- Prankl, H. and Worgetter, M. 1996. Influence of The Iodine Number of Biodiesel to The Engine Performance. In: Third Liquid Fuel Conference "Liquid Fuels and Industrial Products from Renewable Resources", September 15-17 1996, Nashville, Tennessee. Austria: Federal Institute of Agricultural Engineering, pp. 1-6.
- Pranowo, D., Syakir, M., Prastowo, B., Herman, M., Aunillah, A., Sumanto. 2014. Pembuatan Biodiesel dari Kemiri Sunan (*Reutealis trisperma* (Blanco) Airy Shaw) dan Pemanfaatan Hasil Samping. Jakarta: IAARD Press.
- Prihandana, Rama, Roy Hendroko, Makmuri Nuramin. 2006. *Menghasilkan Biodiesel Murah Mengatasi Polusi & Kelangkaan BBM*. Jakarta: Agromedia²²
- Ramadhas, A.S., Jayaraj, S., Muraleedharan, C. 2005. Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. *Fuel* 84: pp.335-340
- Romano, S.D., and Sorichetti, P.A. 2011. Dielectric Spectroscopy in Biodiesel Production and Characterization. London: Springer-Verlag.
- Sudradjat, R., Endro, P., Hendra, D., Setiawan, D. 2010. Pembuatan Biodiesel Dari Biji Kesambi (*Schleichera oleosa* L). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* Vol. 28 No. 4: 358-379.
- Syah, 2006. Mengenal lebih dekat biodiesel jarak pagar, bahan bakar alternative yang ramah lingkungan. Agromedia. Jakarta
- Van Gerpen, J., Shanks, B., Prusko, R. Clements, D., Knothe, G. 2004. *Biodiesel Production Technology*. Colorado: National Renewable Energy Laboratory.
- Van Gerpen, Jon. 1996. *Cetane Number Testing of Biodiesel*. Iowa: Iowa State University.
- Van Gerpen, J.H., Peterson, C.I., Goering, C.E. 2007. *Biodiesel: An Alternative Fuel for Compression Ignition Engines*. United States of America: American Society of Agricultural and Biological Engineers