

APLIKASI KATALIS HETEROGEN (H-ZEOLIT) PADA *PROTOTYPE FLUIDIZED BED REACTOR* SECARA *BATCH* UNTUK PRODUKSI BODIESEL DARI *FATTY ACID METHYL ESTER*

Furia Andani*, Pardi¹, Eka Kurniasih¹

*Alumni Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Lhokseumawe

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Jl. Banda Aceh-Medan Km. 280 P.O. Box 90 Buketrata, Lhokseumawe 24301

*E-mail: furyaaldani@rocketmail.com

Abstract

Biodiesel is an alternative energy diesel / solar is usually produced through esterification and transesterification. Usually biodiesel produced using a homogeneous catalyst (alkaline/acid). There are weaknesses in homogeneous alkaline catalysts (KOH and NaOH), the soap will appear at the end of the biodiesel production process and very difficult when the separation (separation). Heterogeneous catalyst is a homogeneous catalyst solution to replace due to different phase reactants, a heterogeneous catalyst is zeolite, zeolite catalyst are very easily separated and do not form soap at the end of the biodiesel production process. In previous research, biodiesel is produced using a laboratory scale reactor neck flask 3. Therefore, in this research developed the biodiesel production process of fatty acid methyl ester (FAME) using zeolite catalyst H^+ in the fluidized bed reactor prototype. Zeolite catalyst performance can be enlarged with the filling material into the zeolite KI. Prototype fluidized bed reactor is operated at the speed of the flow rate of 5 liter / min and the fluidization in the reactor with the minimum fluidization velocity 1.24 cm/s, the weight ratio of zeolite catalyst 2.5% (w/w), mole ratio of methanol : FAME conversion of methyl ester obtained in the 80 minute, is 69.58%

Key words: *biodiesel, FAME, fluidized bed reactor, heterogen catalyst, zeolit*

PENDAHULUAN

Terbatasnya bahan bakar minyak akan menimbulkan menimbulkan suatu permasalahan yang baru bagi masyarakat umumnya dalam segi ekonomi. Dengan terbatasnya bahan bakar minyak akan menyebabkan meningkatnya biaya transportasi, meningkatnya biaya produksi industry dan pembangkit tenaga listrik. Oleh sebab itu untuk menghadapi permasalahan tersebut maka diperlukan untuk diciptakan suatu energi terbarukan yang dapat memberikan efek positif bagi perekonomian dunia, umumnya negara Indonesia. Salah satu energi yang dapat diperbaharui salah satunya yaitu biodiesel.

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang menjanjikan yang dapat diperoleh dari minyak tumbuhan, lemak binatang atau minyak bekas melalui transesterifikasi dengan alkohol. Biodiesel atau metil ester adalah bahan bakar dari minyak nabati yang memiliki sifat menyerupai minyak diesel atau solar. Penggunaan biodiesel sebagai

sumber energi merupakan solusi menghadapi kelangkaan energi fosil pada masa mendatang. Hal ini karena biodiesel bersifat dapat diperbaharui (*renewable*), dapat terurai (*biodegradable*) dan memiliki sifat pelumasan terhadap piston mesin karena termasuk kelompok minyak tidak mengering (*non-drying oil*) dan mampu mengurangi emisi CO₂ dan efek rumah kaca. Biodiesel juga bersifat ramah lingkungan karena menghasilkan emisi gas buang yang jauh lebih baik dibandingkan *diesel/solar*, yaitu bebas sulfur, bilangan asap (*smoke number*) rendah, terbakar sempurna (*clean burning*), dan tidak menghasilkan racun (*non toxic*)[1].

Proses produksi biodiesel telah dilakukan para peneliti, diantaranya Wirasito [2] proses transesterifikasi dan esterifikasi berkatalis asam. Transesterifikasi berkatalis zeolit alam yang diimpregnasi dengan KI/KIO₃ [3], transesterifikasi dengan menggunakan katalis zeolit termodifikasi abu tandan kosong kelapa sawit [3], pembuatan biodiesel menggunakan katalis heterogen CaO dari kulit telur ayam

dengan reaksi esterifikasi dan transesterifikasi [4].

Menurut Fumin [5] mengatakan bahwa katalis homogen lebih sulit untuk dipisahkan dari produk hasil reaksi dan menghasilkan limbah yang beracun. Katalis homogen hanya dapat digunakan sekali untuk reaksi transesterifikasi. Oleh karena itu katalis heterogen merupakan salah satu alternatif pengganti katalis homogen.

Dari penelitian terdahulu diperoleh satu kondisi operasi optimum, yaitu pada temperatur 45°C, katalis heterogen 2,5% dan rasio mol metanol:ester (6:1) diperoleh *methyl ester* 89,98% (Pardi dan Kurniasih, E). Penelitian terdahulu tersebut mendasari aplikasi katalis heterogen (H-zeolit) pada *prototype* reaktor fluidisasi secara *batch*.

Penelitian tersebut juga akan digunakan sebagai pedoman dalam merancang *fluidized bed reactor*. *Fluidized bed reactor* adalah jenis reaktor kimia yang dapat digunakan untuk mereaksikan bahan dalam keadaan banyak fasa. Reaktor jenis ini menggunakan fluida (cairan atau gas) yang dialirkan melalui katalis padatan (biasanya berbentuk partikel kecil) dengan kecepatan yang cukup, sehingga katalis mengalami fluidisasi.

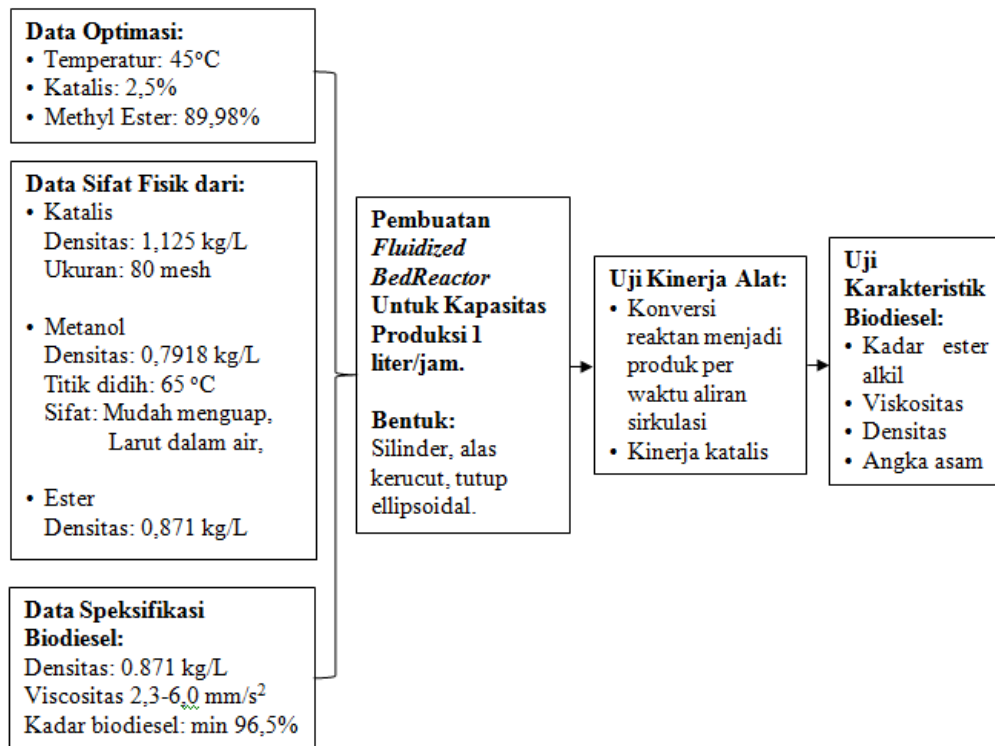
Pada penelitian ini direncanakan pengembangan produksi biodiesel ke arah pilot plant menggunakan katalis heterogen (H-zeolit). Penelitian akan dilanjutkan ke arah *scale up* reaktor untuk memproduksi biodiesel secara simultan dan *batch* dengan memanfaatkan aliran sirkulasi sepanjang proses produksi biodiesel.

METODE

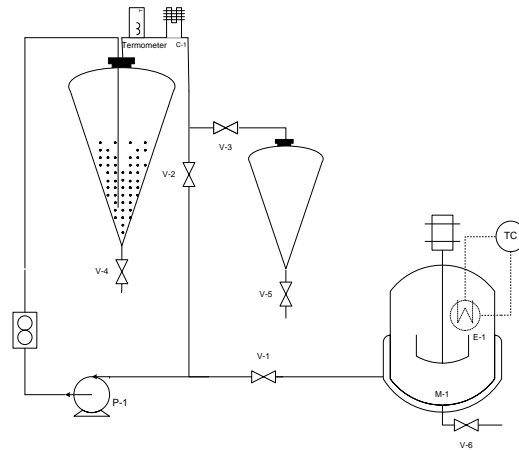
Bahan baku yang akan digunakan adalah *Crude Palm Oil* (CPO) yang diperoleh dari PKS lokal (PTP Nusantara 1-Cot Girek, Lhoksukon). Metanol (p.a), Zeolit, H₂SO₄ 98%, NaOH (p.a).

Alat yang digunakan untuk mendirikan *prototype* adalah pipa kaca, *stainless steel* Φ 2", *carbon steel*, pompa, pipa PVC ½", *fitting stainless steel*, *valve* Φ ½", dan *fiber glass*.

Gambar 1 memperlihatkan langkah-langkah dalam melakukan penelitian dan Gambar 2 merupakan desain *prototype fluidized bed reactor*.



Gambar 1. Tahapan Langkah-Langkah Penelitian



Gambar 2. Desain *Prototype Fluidized Bed Reactor*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Crude ester (FAME) diperoleh melalui reaksi esterifikasi dengan menggunakan bahan baku dasar CPO yang direaksikan dengan alcohol (metanol) dan asam sulfat (H₂SO₄) sebagai katalis. Reaksi esterifikasi umumnya dilakukan untuk menurunkan kadar asam lemak bebas yang terkandung dalam CPO. FAME yang telah diperoleh dari reaksi esterifikasi dilanjutkan ke tahap transesterifikasi untuk menyempurnakan pembentukan ester yang akan dijalankan pada *prototype fluidized bed reactor* secara batch dengan memanfaatkan aliran sirkulasi sepanjang reaksi transesterifikasi berjalan selama 2 jam.

Pada penelitian ini difokuskan pada rancangan *prototype* reaktor fluidisasi dan uji kinerja katalis pada *prototype* reaktor fluidisasi dengan bahan baku yang akan digunakan yaitu FAME. Penelitian ini mengacu pada penelitian terdahulu yaitu pada penelitian Pardi dan Kurniasih, E (2015) pada kondisi operasi optimum yang diperoleh. Kondisi operasi optimum yang diperoleh yaitu pada temperatur 45 °C, rasio katalis yang digunakan 2,5% dengan perbandingan mol metanol:FAME yaitu 6:1. Kondisi operasi tersebut yang menjadi dasar dalam perancangan *prototype* reaktor fluidisasi/transesterifikasi, uji kinerja katalis untuk memproduksi biodiesel dan penentuan kecepatan fluidisasi minimum (V_{mf}).

Tabel 1. Data hasil pengamatan

Laju Alir (l/menit)	Waktu (menit)	Kandungan Metil Ester (%)	Densitas (Kg/m ³)	Angka Asam (mgKOH/gr)	CN	Flash point (°C)	Kadar Air (%)
5	0	66,14	887,20	3,53	49	140	0,16
	20	66,53	883,26	3,19			
	40	66,86	883,08	2,63			
	60	68,91	882,81	2,07			
	80	69,58	882,17	0,95			
	100	69,07	882,34	1,29			
	120	68,34	881,93	2,41			

Rancangan *prototype fluidized bed reactor* dioperasikan pada kondisi operasi optimum yang diperoleh dari penelitian terdahulu, yang menjadi peralatan paling utama yaitu (R-2). R-2 merupakan reaktor utama yang

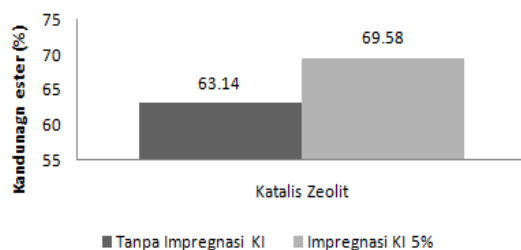
berfungsi sebagai tempat berlangsungnya reaksi transesterifikasi yang dijalankan secara *batch*. Pada reaktor tersebut dimasukkan katalis heterogen (H-Zeolit) sebagai pengganti katalis homogen basa untuk reaksi transesterifikasi.

Pada rancangan tersebut terdapat beberapa alat utama lainnya seperti T-1 dan T-3. T-1 merupakan tangki umpan untuk menampung FAME dan metanol yang akan dialirkan ke R-2, sedangkan T-3 yaitu tangki atau tempat untuk penampungan produk yang dihasilkan.

Bahan baku yang berasal dari T-1 dialirkan ke R-2 menggunakan pompa (P-1) dengan membuka V-1 yang merupakan katup aliran dari tangki umpan menuju R-2. Pada kecepatan tersebut telah mengakibatkan terjadinya fluidisasi terhadap katalis heterogen (h-zeolit). Pada reaktor fluidisasi campuran yang homogen antara reaktan dan katalis dapat diperoleh dengan memanfaatkan aliran sirkulasi sepanjang proses/reaksi transesterifikasi. Aliran sirkulasi dijalankan dengan membuka V-2 sedangkan V-3, V-4, V-5 dan V-6 dalam keadaan tertutup. V-2 merupakan katup pembuka aliran sirkulasi dengan memompakan FAME dan metanol kembali ke R-2. Reaksi transesterifikasi dijalankan dengan variasi waktu pengambilan produk atau hasil akhir dari reaksi transesterifikasi yaitu metil ester dengan produk samping gliserol. Metil ester yang menjadi produk utama dan gliserol sebagai produk samping dapat dialirkan ke T-3 dengan membuka V-3.

Setelah reaksi berakhir metil ester/biodiesel yang merupakan produk utama dan gliserol sebagai produk samping dapat diperoleh dengan membuka V-5 untuk dicuci dan dipisahkan dengan gliserol sehingga diperoleh produk biodiesel yang murni. Kemudian katalis heterogen (h-zeolit) setelah reaksi berakhir dapat diambil kembali dengan membuka V-4 yang merupakan katup untuk pengambilan katalis zeolit dari R-1. Tangki umpan (T-1) dapat dibersihkan atau dikosongkan dengan membuka V-6 yang terletak dibagian bawah T-1.

Kinerja Katalis Heterogen (H-Zeolit) Terhadap Kandungan Metil Ester



Gambar 3. Kinerja Katalis H-Zeolit Terhadap Kandungan Metil Ester

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Katalis dapat dibedakan ke dalam dua golongan utama yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis heterogen adalah katalis yang fasanya berbeda dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisinya, sedangkan katalis homogen berada dalam fasa yang sama.

Reaksi yang berlangsung lambat dapat dipercepat dengan menambahkan katalis yang sesuai untuk reaksi tersebut. Satu yang harus diketahui tentang prinsip kerja katalis adalah bahwa katalis tersebut tetap ikut dalam jalannya reaksi, tetapi pada kondisi akhir, katalis akan keluar lagi dalam bentuk yang sama. Sifat-sifat kimia katalis akan sama sebelum dan sesudah mengkatalis suatu reaksi.

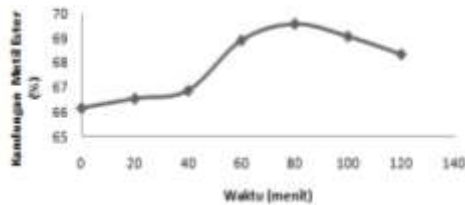
Pada penelitian ini digunakan katalis heterogen (h-zeolit) sebagai pengganti katalis homogen pada reaksi transesterifikasi. Katalis zeolit yang digunakan merupakan katalis heterogen yang telah dimpregnasi dengan KI sebesar 5% dan tanpa dimpregnasi dengan KI. Pada grafik tersebut terlihat bahwa kinerja katalis zeolit yang dimpregnasi dengan KI lebih mampu menghasilkan kandungan metil ester yang lebih tinggi, reaksi berlangsung selama dua jam akan tetapi konversi tertinggi didapatkan pada menit ke-80, dioperasikan pada temperatur 45 °C, rasio katalis zeolit yang digunakan 2,5%. Terdapat penelitian sebelumnya yang juga menggunakan katalis yang sama yaitu katalis zeolit. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh L.H, Firdaus (2015) didapatkan konversi terbesar dengan menggunakan katalis zeolit yang dimpregnasi KI/KIO₃ 5% sebesar 87,91%, dioperasikan pada temperatur 70-80 °C, reaksi transesterifikasi berlangsung selama 3 jam.

Pengaruh Waktu Terhadap Kandungan Ester

Waktu sangatlah mempengaruhi terbentuknya kandungan metil ester, dikarenakan semakin lama waktu kontak maka metil ester yang dihasilkan akan semakin besar. Pada penelitian ini kandungan metil ester yang diperoleh masih rendah dan jauh dari standar SNI 04-7182-2006. Metil ester tertinggi diperoleh sebesar 69, 58% pada menit ke-80 reaksi transesterifikasi berlangsung selama 2 jam. Konversi metil ester sangat dipengaruhi dari kandungan asam lemak bebas dari CPO,

dikarenakan semakin besar kandungan asam lemak bebas yang dikandung maka semakin besar kinerja katalis yang dibutuhkan dan semakin lama juga diperlukan waktu untuk memutuskan rantai trigliserida menjadi metil ester.

Berikut ini dapat dilihat pengaruh waktu terhadap konversi metil ester yang dihasilkan.



Gambar 4. Pengaruh waktu terhadap kandungan metil ester

Dari grafik diatas terlihat bahwa konversi metil ester tertinggi diperoleh pada waktu ke-80 menit. Namun pada menit ke-100 dan 120 konversi metil ester yang dihasilkan semakin rendah dikarenakan trigliserida belum sepenuhnya terkonversi menjadi metil ester, sebagian besar trigliserida membentuk digliserida dan monogliserida. Pada menit ke-80 katalis zeolit mulai jenuh dikarenakan katalis zeolit yang digunakan pada saat memproduksi metil ester dengan reaksi transesterifikasi kurang (telah jenuh) sehingga pada menit ke 100 dan seterusnya dibutuhkan lagi katalis zeolit untuk mempercepat reaksinya dengan semakin bertambahnya waktu. Hal ini juga berdasarkan pada teori dengan bertambahnya waktu kontak maka metil ester yang akan dihasilkan juga akan semakin tinggi. Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan L.H. Firdaus, dkk (2015) yang menghasilkan metil ester sebesar 87,93 % selama 3 jam. Biodiesel dibuat menggunakan minyak kelapa sawit, rasio katalis zeolit yang digunakan sebesar 5% dan dioperasikan pada temperatur 70-80 °C.

Dengan demikian jika dilakukan peningkatan rasio katalis zeolit, temperatur dan waktu reaksi maka dapat memberikan kemungkinan bahwa konversi metil ester yang dihasilkan akan semakin tinggi.

Penentuan Kecepatan Fluidisasi Minimum (V_{mf})

Fluidisasi adalah metoda pengkontakan antara padatan dengan fluida, baik cair maupun gas dalam suatu kolom yang berisi sejumlah

partikel padat dengan mengalirkan fluida dari bawah ke atas.

Parameter yang sangat penting dalam mempelajari fluidisasi adalah kecepatan fluidisasi minimum (V_{mf}), karena dengan mengetahui V_{mf} maka kita bisa menentukan titik awal terjadinya fluidisasi. Penelitian ini selain untuk mengetahui kinerja katalis zeolit terhadap konversi biodiesel yang dihasilkan juga bertujuan untuk mengetahui fenomena yang terjadi dan menghitung kecepatan fluidisasi minimum (V_{mf}) terhadap partikel padatan katalis heterogen (h-zeolit) pada reaktor fluidisasi/ transesterifikasi.

Fenomena yang terjadi manakala laju alir masih cukup rendah adalah butiran padat dalam kolom tetap diam karena fluida hanya mengalir melalui ruang antar partikel tanpa menyebabkan perubahan susunan partikel tersebut. Keadaan ini disebut unggun diam atau *fixed bed*. Pada saat kecepatan aliran fluida diperbesar sehingga mencapai kecepatan minimum, yaitu kecepatan saat gaya seret fluida terhadap partikel-partikel padatan lebih atau sama dengan gaya berat partikel-partikel padatan tersebut, partikel yang semula diam akan mulai terekspansi. Keadaan ini disebut *incipient fluidization* atau fluidisasi minimum. Pada saat laju alir dinaikkan lagi, maka akan sampai pada suatu keadaan di mana unggun padatan akan tersuspensi di dalam aliran fluida yang melaluinya. Pada keadaan ini masing-masing butiran akan terpisahkan satu sama lain sehingga dapat bergerak dengan lebih mudah. Pada kondisi butiran yang dapat bergerak ini, sifat unggun akan menyerupai suatu cairan dengan viskositas tinggi, keadaan yang demikian biasa disebut unggun terfluidakan atau *fluidized bed*.

Pada penelitian fenomena fluidisasi terjadi pada kondisi *smooth or homogenously fluidization*, dimana ketika kecepatan dan distribusi aliran fluida merata, densitas dan distribusi partikel dalam unggun sama atau homogen sehingga ekspansi pada setiap partikel padatan seragam. Apabila kecepatan fluida dinaikkan maka akan terjadi fenomena *disperse fluidization*, dimana fenomena ini terjadi pada saat kecepatan alir fluida melampaui kecepatan maksimum aliran fluida. Pada fenomena ini sebagian partikel akan terbawa aliran fluida. Sehingga pada kondisi tersebut didapatkan kecepatan fluidisasi minimum (V_{mf}) sebesar 1,24 cm/s, pada kecepatan laju alir reaktan sebesar 5 liter/menit.

Analisa Densitas Biodiesel

Pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan *density meter* ASTM D-4052. Pengujian densitas dilakukan pada temperatur 40 °C berdasarkan pada ketentuan SNI 04-7182-2006, dan temperatur sangat mempengaruhi kerapatan biodiesel. Pada penelitian ini didapatkan densitas biodiesel telah memenuhi Standar SNI, dikarenakan densitas biodiesel berkisar antara 850-890 kg/m³.

Analisa Bilangan Asam Biodiesel

Bilangan asam adalah ukuran dari jumlah asam lemak bebas, serta dihitung berdasarkan berat molekul dari asam lemak atau campuran asam lemak. Bilangan asam dinyatakan sebagai jumlah milligram KOH yang digunakan untuk menetralkan asam lemak bebas yang terdapat dalam 1 gram minyak atau lemak.

Bilangan asam juga merupakan parameter penting dalam penentuan kualitas minyak. Bilangan ini menunjukkan banyaknya asam lemak bebas yang ada dalam minyak akibat terjadi reaksi hidrolisis pada minyak terutama pada saat pengolahan. Asam lemak merupakan struktur kerangka dasar untuk kebanyakan bahan lipid (Agoes, 2008).

Pada penelitian ini penentuan kadar asam lemak bebas ditentukan dengan cara titrasi. Biodiesel yang akan dianalisa digunakan sebanyak 1 gram, kemudian dilarutkan dengan alkohol netral (metanol) sebanyak 30 ml dan diteteskan indikator fenolftalein (PP). Indikator PP digunakan agar perubahan warna yang terjadi dapat diamati ketika dititrasi dengan menggunakan KOH. Titik akhir titrasi biodiesel ditandai ketika sampel tersebut berubah menjadi warna merah muda yang merupakan warna akhir dari titrasi tersebut. Kadar asam lemak bebas yang dihasilkan masih tinggi, hal ini dikarenakan CPO yang terlebih dahulu dikonversi menjadi FAME tidak sepenuhnya terkonversi menjadi metil ester ketika direaksikan dengan reaksi transesterifikasi. Asam lemak bebas yang didapatkan dari biodiesel tersebut masih belum memenuhi standar SNI. Berdasarkan baku mutu SNI angka asam yang dibolehkan dalam biodiesel maksimal 0,8 mg KOH/gram, dengan demikian dapat dikatakan bahwa kadar asam lemak bebas dalam biodiesel tersebut masih tinggi dan belum sesuai dengan baku mutu pada SNI 04-7182-2006. Hal ini disebabkan adanya

kandungan trigliserida, digliserida dan monogliserida yang belum terkonversi menjadi metil ester.

Pengujian Angka Setana

Angka setana atau Cetane Number (CN) merupakan pengukuran kualitas pembakaran bahan bakar diesel/biodiesel selama kompresi pengapian.

Bilangan setana bukan untuk menyatakan kualitas dari bahan bakar diesel, tetapi bilangan yang dipakai untuk menyatakan kualitas dari penyalaan bahan bakar diesel atau ukuran untuk menyatakan keterlambatan pengapian dari bahan bakar itu sendiri.

Pada penelitian ini pengukuran angka setana terhadap biodiesel terbaik dan dilakukan dengan menggunakan octane meter K88600. Besarnya angka setana yang diperoleh yaitu 49, angka setana tersebut belum memenuhi baku mutu SNI, dikarenakan pada biodiesel tersebut masih mengandung asam lemak bebas yang tinggi, kadar air yang masih tinggi dan kadar ester yang dihasilkan masih jauh dari baku mutu SNI, berdasarkan baku mutu SNI angka setana untuk biodiesel minimal 50, dengan demikian angka setana hampir memenuhi baku mutu pada SNI 04-7182-2006.

Pengujian Titik Nyala Biodiesel

Titik nyala adalah Temperatur terendah dimana campuran senyawa dengan udara pada tekanan normal dapat menyala setelah ada suatu inisiasi, misalnya dengan adanya percikan api. Titik nyala dapat diukur dengan metoda wadah terbuka (Open Cup /OC) atau wadah tertutup (Closed Cup/CC).

Pada penelitian ini dilakukan pengujian titik nyala dengan metode wadah tertutup (Closed Cup/CC). Titik nyala hanya diuji pada biodiesel terbaik yang didapatkan dari hasil penelitian. Pengujian titik nyala dengan metode wadah tertutup didapatkan pada temperatur 140 °C. Berdasarkan baku mutu SNI titik nyala dengan metode wadah tertutup minimal pada temperatur 100 °C, dengan demikian dapat dikatakan bahwa titik nyala biodiesel tersebut telah memenuhi baku mutu SNI 04-7182-2006.

Pengujian Kadar Air Biodiesel

Kadar air yang terdapat didalam biodiesel sangat mempengaruhi kualitas biodiesel yang didapatkan. Semakin besar kadar air kualitas biodiesel yang dihasilkan juga semakin rendah.

Maka dengan demikian kadar air yang terdapat dalam biodiesel harus dihilangkan.

Menurut baku mutu biodiesel kadar air yang diperbolehkan maksimal 0,05%. Pada pengujian kadar air hanya dilakukan pada biodiesel terbaik, pada pengujiannya didapatkan kadar air biodiesel sebesar 0,16% dengan demikian dapat dinyatakan bahwa kadar air biodiesel tersebut masih tinggi dan belum memenuhi baku mutu SNI 04-7182-2006.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa konversi metil ester tertinggi dengan menggunakan katalis heterogen (h-zeolit) didapatkan sebesar 69,58% pada menit ke-80.

Pengujian karakteristik biodiesel meliputi pengujian densitas, bilangan asam, angka setana, titik nyala dan kadar air. Berdasarkan dari hasil pengujian didapatkan densitas dan titik nyala telah memenuhi standar SNI 04-7182-2006, sedangkan pengujian lainnya masih belum memenuhi standar SNI.

Pada penentuan kecepatan fluidisasi minimum pada *fluidized bed reactor*, didapatkan kecepatan fluidisasi minimum sebesar 1,24 cm/s.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Susilo, A.A. 2010. *Prarancangan Pabrik Biodiesel dari CPO (Crude Palm Oil) dan Metanol Kapasitas 500.000 Ton/Tahun*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [2] Wirasito., Usman, T dan Harlia. 2014. Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas dengan Menggunakan Katalis Zeolit Termodifikasi Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), *JKK, Tahun 2014, Volume 3(1), halaman 32-36. Universitas Tanjung Pura*.
- [3] Firdaus, L.H., Wicaksono, A.R dan Widayat. 2013. Pembuatan Katalis H-Zeolit dengan Impregnasi KI/KIO₃ dan Uji Kinerja Katalis untuk Produksi Biodiesel, *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, Vol. 2, No. 2, Tahun 2013, Halaman 148-154. Universitas Diponegoro*.
- [4] Wendi., Cuaca, V dan Taslim. 2015. Pengaruh Suhu Reaksi dan Jumlah Katalis pada Pembuatan Biodiesel dari Limbah Lemak Sapi dengan Menggunakan Katalis Heterogen CaO dari Kulit Telur Ayam, *Jurnal Teknik Kimia USU, Vol. 4, No. 1 (Maret 2015). USU*.
- [5] Fumin G. 2008, *Pengembangan Sediaan Farmasi Edisi Revisi dan Perluasan*, Penerbit ITB, Bandung