

PENGARUH SUHU REAKSI DAN JUMLAH KATALIS PADA PEMBUATAN BIODIESEL DARI LIMBAH LEMAK SAPI DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS HETEROGEN CaO DARI KULIT TELUR AYAM

Wendi, Valentinoh Cuaca, Taslim
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jalan Almamater, Medan, 20155, Indonesia
Email: wendi_tan@yahoo.com

Abstrak

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang terdiri dari alkil monoester dari minyak tumbuhan atau lemak hewan. Limbah lemak sapi adalah bahan baku non pangan dengan biaya produksi rendah dan ketersediaannya sangat besar dalam produksi ternak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memanfaatkan limbah lemak sapi dalam pembuatan biodiesel dengan menggunakan katalis oksida padat yang berasal dari kulit telur. Kulit telur dikalsinasi dengan suhu 900°C dan waktu 2 jam, untuk mengubah kalsium menjadi katalis CaO aktif. Minyak lemak sapi mengandung kadar asam lemak bebas yang tinggi yaitu 1,86%. Kadar asam lemak bebas dalam minyak dapat dikurangi dengan proses esterifikasi menggunakan katalis asam. Produk dari tahap esterifikasi ini dilanjutkan dengan tahap transesterifikasi untuk memproduksi biodiesel. Proses transesterifikasi mereaksikan minyak dan metanol untuk menghasilkan metil ester dan gliserol. Metil ester yang dihasilkan pada lapisan atas dipisahkan dari gliserol dan kemudian dicuci. Pengaruh dari berbagai variabel proses seperti jumlah katalis dan suhu diamati dalam percobaan ini. Sifat-sifat biodiesel seperti kadar metil ester, densitas, viskositas, dan titik nyala dievaluasi dan dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Di bawah kondisi terbaik, *yield* maksimum dari biodiesel lemak sapi adalah 82,43% yang didapat dengan menggunakan perbandingan mol metanol / lemak sapi adalah 9:1 pada suhu 55°C dengan waktu reaksi 1,5 jam dan katalis CaO 3 (b/b)%. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa lemak sapi cocok digunakan sebagai bahan baku berbiaya murah untuk memproduksi biodiesel.

Kata kunci: biodiesel, lemak sapi, kalsium oksida, esterifikasi, transesterifikasi

Abstract

Biodiesel is an alternative fuel for diesel engines consisting of the alkyl monoesters from vegetable oils or animal fats. Beef tallow waste is the non-edible raw material with low cost production and the availability is huge in the cattle production. The objective of the study was to utilize beef tallow waste for biodiesel production using solid oxide catalyst which derived from the industrial eggshells. The materials calcined with temperature 900°C and time 2 hours, transformed calcium species in the shells into active CaO catalysts. The oil contained high free fatty acid (FFA) content of 1.86%. The FFA content of the oil was reduced by acid-catalyzed esterification. The product from this stage was subjected to produce biodiesel. Transesterification process reacts oil and methanol to produce methyl ester and glycerol. The produced methyl ester on the upper layer was separated from the glycerol and then washed. Effect of various process variables such as amount of catalyst and temperature were investigated. The biodiesel properties like methyl ester content, density, viscosity, and flash point was evaluated and was found to compare well with Indonesian Standard (SNI). Under the best condition, the maximum yield of 82.43% beef tallow methyl ester was obtained by using 9:1 molar ratio of methanol to beef tallow oil at 55°C, for a reaction time 1.5 hours in the presence 3 wt% of CaO catalyst. The results of this work showed that the use of beef tallow is very suitable as low cost feedstock for biodiesel production.

Keywords: biodiesel, beef tallow, calcium oxide, esterification, transesterification

PENDAHULUAN

Penelitian tentang bahan bakar alternatif berada pada profil yang tinggi di dunia untuk beberapa waktu sekarang. Meningkatnya kebutuhan energi dan habisnya cadangan bahan bakar fosil merupakan masalah utama dalam hal ini [18]. Begitu juga dengan pemanasan global dan bahaya lingkungan lainnya yang mendorong untuk mengurangi ekstraksi energi dari bahan

bakar fosil. Dari bahan bakar alternatif yang digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil, biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang penting [19].

Biodiesel merupakan sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan. Sifatnya bervariasi tergantung pada bahan baku minyak dan alkohol yang digunakan tetapi selalu dapat

digunakan sebagai pengganti langsung untuk bahan bakar diesel. Biodiesel memiliki bilangan setana yang tinggi dibandingkan bahan bakar diesel, tidak mengandung bahan aromatik, hampir tidak mengandung sulfur, dan mengandung oksigen sekitar 10 sampai 11% berat. Biodiesel dapat diproduksi dari minyak tumbuhan dan lemak hewan [2,5,12,14].

Lemak sapi merupakan salah satu bahan sisadari rumah pemotongan hewan yang tujuan utamanya adalah industri sabun, tapi ketika pasar ini kelebihan bahan, lemak biasanya dibakar atau dibuang. Dalam kedua kasus ada dampak polutan yang ditimbulkan. Dengan demikian sisa lemak sapi dari rumah pemotongan hewan dapat digunakan untuk mengatasi masalah seperti pengurangan masalah limbah di lingkungan karena adanya pemanfaatan limbah tersebut [3].

Biodiesel dari lemak hewan dihasilkan dengan metode transesterifikasi. Reaksi tersebut membutuhkan alkohol yang berlebih untuk bereaksi dengan trigliserida dengan adanya katalis. Metanol merupakan alkohol yang umumnya digunakan karena murah dan cepat bereaksi dengan trigliserida [7,10]. Banyak faktor yang mempengaruhi *yield* biodiesel dan ekonomi proses. Faktor-faktor yang paling penting adalah jenis alkohol, perbandingan rasio mol alkohol dan minyak, suhu dan waktu reaksi, jenis dan jumlah katalis, dan kandungan air dari bahan baku [5].

Selain itu, kadar asam lemak bebas dari bahan baku juga merupakan faktor yang penting karena dapat mempengaruhi reaksi kimia. Asam lemak bebas yang tinggi dalam bahan baku dapat menyebabkan pembentukan sabun ketika bahan kimia alkali digunakan sebagai katalis karena bahan kimia alkali bereaksi untuk menetralkan asam lemak bebas dalam minyak. Pembentukan sabun dapat menurunkan *yield* biodiesel dan menghambat pemisahan dan pemurnian produk biodiesel. Pembentukan sabun dapat dihindari dengan perlakuan awal minyak dengan katalis asam untuk mengubah asam lemak bebas menjadi ester sebelum katalis alkali digunakan. Akan tetapi, reaksi dengan katalis asam jauh lebih lambat dibandingkan reaksi dengan katalis basa [5,15].

Penggunaan katalis homogen memiliki kelemahan seperti adanya limbah dari proses pencucian residu katalis dan katalis ini tidak dapat digunakan kembali. Penggunaan katalis heterogen dapat mengatasi kelemahan yang dimiliki katalis homogen [8,22]. Pemisahan

katalis heterogen dari produknya cukup sederhana yaitu dengan filtrasi dan katalis ini dapat dikembangkan untuk memberikan aktivitas yang lebih tinggi, selektivitas, dan katalis yang tahan lama. Selain itu, proses penetralan yang menghasilkan limbah dapat dihilangkan [4,20,23].

Beberapa contoh katalis heterogen misalnya CaO , MgO , SrO , Zeolit, Al_2O_3 , ZnO , TiO_2 , dan ZrO telah digunakan dalam proses transesterifikasi. Diantara katalis ini, logam alkali oksida (misalnya MgO , CaO , dan SrO) memiliki aktivitas tinggi untuk digunakan dalam proses transesterifikasi. Dari beberapa logam alkali oksida ini, CaO lebih mudah ditemukan di lingkungan. Umumnya, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, CaCO_3 , atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$ adalah bahan baku untuk memproduksi katalis CaO . Ada beberapa sumber kalsium alam yang berasal dari limbah untuk mensintesis katalis CaO seperti kulit telur, kulit moluska dan tulang. Alasan dipilih CaO dari limbah kulit telur ayam ini karena tidak hanya menghilangkan biaya pengelolaan limbah, tetapi juga katalis dengan efektivitas tinggi dapat secara bersamaan dicapai untuk industri biodiesel. Baru-baru ini, Jazie dkk. melaporkan penelitian tentang transesterifikasi dari minyak *rapeseed* dikatalisis dengan membakar kulit telur ayam pada suhu 900°C dan menemukan bahwa katalis ini aktif untuk memproduksi biodiesel [8,9].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan metode yang sederhana dan efektif untuk memproduksi biodiesel dari limbah lemak sapi dengan menggunakan katalis heterogen CaO dari kulit telur ayam dan untuk mengembangkan kondisi terbaik dari reaksi transesterifikasi untuk *yield* FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) maksimum dengan adanya katalis CaO . Pengaruh dari berbagai variabel reaksi seperti suhu reaksi dan jumlah katalis diamati dalam percobaan ini.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan Baku dan Preparasi Katalis

Limbah lemak sapi yang digunakan dalam produksi biodiesel diperoleh dalam beberapa rumah pemotongan hewan di daerah Petisah, Medan, Indonesia. Komposisi asam lemak dalam minyak lemak sapi diberikan dalam Tabel 1. Kulit telur ayam dikumpulkan dari restoran lokal di Medan, Indonesia. Kulit telur ayam ini diubah menjadi katalis CaO aktif dan dikalsinasi pada suhu 900°C dan waktu 2 jam dalam *muffle furnace* [9]. Fase kristal dari sampel hasil

kalsinasi dianalisis dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*). Komposisi dari kulit telur ayam diberikan dalam Tabel 2. Semua katalis disimpan dalam tempat tertutup untuk menghindari reaksi dengan CO₂ dan kelembaban di udara sebelum digunakan. Semua bahan kimia lain yang digunakan adalah reagen analitis.

Tabel 1. Komposisi Asam Lemak dari Minyak Lemak Sapi

Asam lemak	Komposisi(b/b%)
Laurat (C12:0)	0,24
Miristat (C14:0)	5,07
Palmitat (C16:0)	24,03
Palmitoleiat (C16:1)	0,88
Heptadekanoat (C17:0)	3,81
Stearat (C18:0)	27,26
Oleat (C18:1)	34,55
Linoleat (C18:2)	2,57
Linolenat (C18:3)	0,68
Arakidat (C20:0)	0,34
Eikosenoat (C20:1)	0,57

Tabel 2. Komposisi dari Kulit Telur Ayam

Parameter	Komposisi (b/b%)	Metode Analisis
CaO	66,16	AAS
Kadar air	0,12	Oven

Reaksi Esterifikasi

Tujuan utama dari esterifikasi menggunakan katalis asam adalah untuk mengurangi kadar asam lemak bebas dalam minyak. Kadar asam lemak bebas dalam minyak harus kurang dari 0,5% sehingga memudahkan reaksi transesterifikasi. Reaksi esterifikasi dilakukan dalam reaktor *batch*. Minyak (100 g) dituangkan ke dalam labu dan dipanaskan. Untuk ini, katalis asam (0,5 b/b%) H₂SO₄ ditambahkan, diikuti oleh metanol dan reaksi dilakukan selama 4 jam. Perbandingan mol metanol / minyak adalah 6:1 dan suhu reaksi 60°C dipilih berdasarkan penelitian dari Encinar dkk. [6]. Pada akhir reaksi, isi dari reaktor dituang ke dalam corong pemisah untuk didiamkan selama 2 jam. Setelah itu, pemisahan yang terjadi dari berbagai lapisan diamati.

Menurut Kombe dkk. [11], lapisan atas mengandung metanol yang tidak bereaksi, lapisan tengah mengandung asam lemak metil ester (sejumlah kecil yang diperoleh dari

konversi asam lemak bebas menjadi ester) dan minyak hasil esterifikasi, dan lapisan bawah mengandung air, asam, dan pengotor lainnya. Minyak hasil esterifikasi digunakan dalam tahap transesterifikasi.

Reaksi Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi dilakukan dalam reaktor *batch*. Minyak hasil esterifikasi yang berada dalam labu 500 cm³ dan dilengkapi dengan refluks kondensor diaduk pada suhu 60°C. Campuran metanol dan katalis CaO ditambahkan ke dalam minyak. Kemudian reaksi transesterifikasi dilakukan dalam berbagai kondisi suhu (50, 55, dan 60°C) dan jumlah katalis CaO (2, 3, dan 4 b/b%). Perbandingan mol metanol / minyak adalah 9:1 dan campuran reaksi diaduk dengan pengaduk mekanis pada 600 rpm. Reaksi dihentikan setelah 1,5 jam, dan campuran reaksi dituang ke dalam corong pemisah [9]. Campuran reaksi dibiarkan dingin dan terjadi pemisahan dari tiga lapisan. Lapisan atas terdiri dari metanol yang tidak bereaksi, metil ester, dan trigliserida yang tidak bereaksi, lapisan tengah terdiri dari gliserol, dan lapisan bawah terdiri dari campuran CaO padat dan sejumlah kecil gliserol. Setelah pemisahan dari tiga lapisan dengan sedimentasi, lapisan atas dicuci dengan air tiga kali. Tahap pencucian berfungsi untuk menghilangkan sisa metanol. Kemudian metil ester yang telah dicuci dipanaskan pada suhu 105°C selama 10 menit untuk menghilangkan sisa air. Produk sebelum dan sesudah pengeringan ditimbang untuk menghitung *yield* metil ester dengan membagi berat akhir metil ester dengan berat awal minyak.

Analisis Fatty Acid Methyl Ester (FAME)

Komposisi dari masing-masing metil ester ditentukan menggunakan kromatografer gas yang dilengkapi dengan detektor ionisasi api dan injector auto.

Analisis Lainnya

Densitas, viskositas kinematik, dan titik nyala dari masing-masing metil ester dievaluasi dan dibandingkan dengan standar SNI [1].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi Katalis

Sampel katalis kulit telur ayam yang dikalsinasi pada suhu 900°C adalah katalis yang paling aktif. *Yield* sebesar 82,43% diperoleh dengan adanya katalis kulit telur ayam yang

dikalsinasi pada suhu 900°C selama 2 jam. Kalsinasi pada suhu yang lebih tinggi menyebabkan desorpsi karbon dioksida dari katalis kulit telur, yang mengatalisis transesterifikasi dari lemak hewan dengan metanol [9].

Reaksi Esterifikasi

Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengurangi kadar asam lemak bebas dari minyak limbah lemak sapi kurang dari 0,5% [15]. Persentase awal FFA adalah 1,86%. Percobaan dilakukan menggunakan perbandingan mol metanol / minyak adalah 6:1 pada suhu 60°C selama 4 jam dengan adanya 0,5 b/b% katalis H₂SO₄ [6]. Kadar FFA dari produk ditentukan menggunakan prosedur titrasi kimia standar [1]. Reaksi berkembang pesat dan menunjukkan penurunan kadar FFA dalam minyak. Persentase FFA setelah reaksi adalah 0,35%.

Reaksi Transesterifikasi

Dengan transesterifikasi dalam proses heterogen, minyak lemak sapi atau trigliserida dicampur dengan metanol dan dikatalisis oleh kalsium oksida. Trigliserida akan terkonversi menjadi di- dan mono-gliserida, dan selanjutnya membentuk biodiesel (metil ester) dan gliserol. Tabel 3 merangkum kondisi percobaan transesterifikasi dari minyak lemak sapi dengan metanol dengan adanya katalis CaO dan perhitungan *yield*.

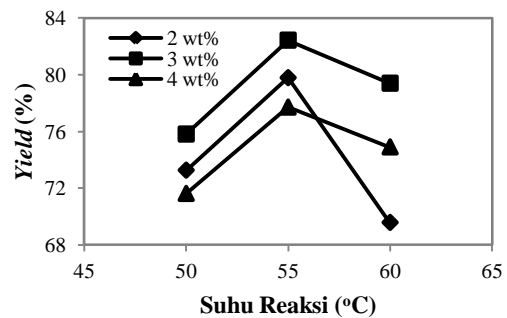
Tabel 3. Kondisi Reaksi dan Yield

Suhu (°C)	Jumlah katalis (b/b%)	Yield (b/b%)
50	2	73,26
50	3	75,81
50	4	71,62
55	2	79,78
55	3	82,43
55	4	77,71
60	2	69,58
60	3	79,39
60	4	74,90

Pengaruh Suhu Reaksi

Penelitian dilakukan pada variasi suhu reaksi dari 50, 55, dan 60°C dengan variasi jumlah katalis CaO dari 2, 3, dan 4 b/b% dari minyak dan perbandingan mol metanol / minyak adalah 9:1 dalam reaksi selama 1,5 jam. Gambar 1 menunjukkan hubungan antara suhu reaksi terhadap *yield* metil ester dengan variasi jumlah

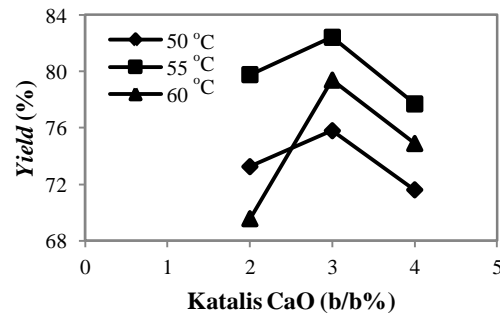
katalis CaO. Penelitian telah diamati bahwa suhu berpengaruh positif terhadap metanolisis dari lemak sapi. Laju reaksi lambat pada suhu rendah karena resistensi difusi, katalis heterogen membentuk sistem tiga fase, minyak-metanol-katalis. Suhu reaksi pada suhu tinggi dihindari karena ada kemungkinan besar metanol akan menguap. Suhu reaksi terbaik adalah pada 55°C dengan jumlah katalis CaO 3 (b/b)% dari minyak. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh oleh Omar dan Amin [16]. Tetapi, mereka menggunakan minyak goreng jelantah sebagai bahan baku untuk memproduksi biodiesel.



Gambar 1. Hubungan Antara Suhu Reaksi terhadap Yield pada Waktu Reaksi 1,5 jam dan Perbandingan Mol Metanol / Minyak adalah 9:1

Pengaruh Jumlah Katalis

Alkoholisis minyak lemak sapi dilakukan dengan CaO sebagai katalis pada konsentrasi 2, 3, dan 4 b/b% dari minyak selama 1,5 jam dengan perbandingan mol metanol / minyak adalah 9:1.



Gambar 2. Hubungan Antara Jumlah Katalis terhadap Yield pada Waktu Reaksi 1,5 jam dan Perbandingan Mol Metanol / Minyak adalah 9:1

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara jumlah katalis CaO terhadap *yield* metil ester dengan variasi suhu reaksi. Pengaruh jumlah katalis pada konversi minyak diabaikan ketika massa CaO dari minyak meningkat di atas 3

b/b%. Sebagai akibat dari meningkatnya jumlah katalis, campuran katalis dan reaktan menjadi terlalu kental sehingga bermasalah dalam pencampuran dan permintaan konsumsi daya yang lebih tinggi untuk pengadukan. Di sisi lain, ketika jumlah katalis tidak cukup, *yield* maksimum metil ester tidak dapat tercapai. Jumlah katalis CaO terbaik adalah 3 b/b% dari minyak dengan suhu reaksi 55°C. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh oleh Lee dkk. [13]. Tetapi, mereka menggunakan minyak kedelai sebagai bahan baku untuk memproduksi biodiesel.

Perbandingan Biodiesel dari Lemak Sapi dengan Biodiesel Lain

Biodiesel dari lemak sapi dengan menggunakan katalis heterogen CaO dari kulit telur ayam memiliki beberapa perbedaan sifat dan komposisi dari biodiesel berbahan baku minyak tumbuhan dengan menggunakan katalis heterogen lain. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Biodiesel dari Lemak Sapi dengan Biodiesel Lain

Pembanding	B ₁ [9]	B ₂ [17]	B ₃ [21]	B*
Yield (%)	96,00	75,02	88,58	82,43
Jenis katalis heterogen	CaO (kulit telur ayam)	CaO (CaCO ₃)	CaO murni	CaO (kulit telur ayam)
Suhu reaksi (°C)	60	60	60	55
Jumlah katalis (b/b%)	3	2	7	3
Waktu reaksi (menit)	180	90	60	90
Rasio mol alkohol / minyak	9:1	8:1	15:1	9:1

B₁, B₂, B₃ = biodiesel dari literatur
 B* = biodiesel dari penelitian ini

Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa biodiesel dari lemak sapi dengan menggunakan katalis heterogen CaO dari kulit telur ayam memiliki keunggulan dalam hal suhu reaksi, jumlah katalis, waktu reaksi, dan rasio mol alkohol / minyak. Selain itu, lemak sapi sebagai bahan baku merupakan limbah yang banyak tersedia di lingkungan. Bahan baku yang digunakan Jazie dkk. [9] adalah minyak *rapeseed*, bahan baku

yang digunakan Padil dkk. [17] adalah minyak kelapa, dan bahan baku yang digunakan Santoso dkk. [21] adalah minyak biji kapuk randu dimana ketiga bahan baku tersebut merupakan minyak tumbuhan yang berharga mahal karena kesulitan proses penyulingannya.

Sifat-Sifat Biodiesel dari Lemak Sapi

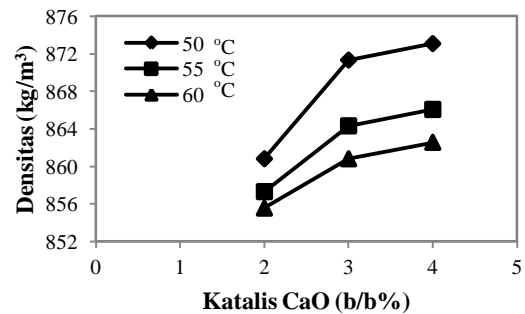
Sifat-sifat penting biodiesel dari lemak sapi seperti densitas, viskositas kinematik, kemurnian, dan titik nyala dievaluasi dan dibandingkan dengan standar SNI. Tabel 5 menunjukkan beberapa sifat biodiesel yang diperoleh pada kondisi terbaik dari penelitian ini. Pada kondisi terbaik tersebut, *yield* maksimum sebesar 82,43% diperoleh menggunakan perbandingan mol metanol / minyak adalah 9:1 pada suhu 55°C selama 1,5 jam dengan adanya 3 b/b% katalis CaO.

Tabel 5. Perbandingan Sifat-Sifat Biodiesel dari Lemak Sapi Kondisi Terbaik dengan Biodiesel Standar SNI

Sifat	Biodiesel standar SNI	Biodiesel lemak sapi
Densitas pada 40°C (kg/m ³)	850-890	864,31
Viskositas kinematik pada 40°C (mm ² /s)	2,3-6,0	4,92
Kemurnian (%)	minimum 96,5	97,31
Titik nyala (°C)	minimum 100	120

Densitas

Batas densitas tercantum dalam SNI (850-890 kg/m³ pada suhu 40°C) [1]. Densitas biodiesel dari kondisi terbaik adalah 864,31 kg/m³. Densitas biodiesel berada dalam lingkup rentang sifat biodiesel SNI.

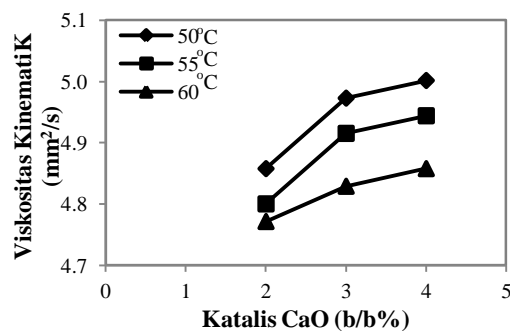


Gambar 3. Hubungan Antara Jumlah Katalis terhadap Densitas pada Waktu Reaksi 1,5 jam dan Perbandingan Mol Metanol / Minyak adalah 9:1

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara jumlah katalis terhadap densitas metil ester dengan suhu reaksi yang berbeda.

Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik adalah ukuran resistensi terhadap aliran bahan bakar dan juga dapat digunakan untuk memilih profil asam lemak dalam bahan baku yang digunakan untuk memproduksi biodiesel. Batas viskositas kinematik tercantum dalam SNI (2,3-6,0 mm²/s pada suhu 40°C) [1]. Viskositas adalah sifat bahan bakar utama karena mempengaruhi atomisasi bahan bakar pada injeksi ke dalam mesin diesel. Viskositas kinematik biodiesel dari kondisi terbaik adalah 4,92 kg/m³. Viskositas kinematik biodiesel berada dalam lingkup rentang sifat biodiesel SNI. Gambar 4 menunjukkan hubungan antara jumlah katalis terhadap viskositas kinematik metil ester dengan suhu reaksi yang berbeda.



Gambar 4. Hubungan Antara Jumlah Katalis terhadap Viskositas Kinematik pada Waktu Reaksi 1,5 jam dan Perbandingan Mol Metanol / Minyak adalah 9:1

Kemurnian

Batas kemurnian tercantum dalam SNI (minimum 96,5%) [1]. Kemurnian biodiesel dari kondisi terbaik adalah 97,31%. Kemurnian biodiesel berada dalam lingkup rentang sifat biodiesel SNI.

Titik Nyala

Sifat ini sebagai indikasi tindakan pencegahan yang harus diambil selama penanganan, transportasi, dan penyimpanan bahan bakar. Berkenaan dengan biodiesel, sifat titik nyala memiliki tujuan untuk membatasi jumlah alkohol dalam biodiesel. Batas titik nyala tercantum dalam SNI (minimum 100°C) [1].

Titik nyala biodiesel dari kondisi terbaik adalah 120°C. Titik nyala biodiesel berada dalam lingkup rentang sifat biodiesel SNI.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, kondisi terbaik untuk alkoholisis dari minyak limbah lemak sapi adalah 3 b/b% katalis CaO dari minyak, perbandingan mol metanol / minyak adalah 9:1, suhu reaksi 55°C selama 1,5 jam. Yield metil ester yang diperoleh adalah 82,43%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional, “Standar Nasional Indonesia”, www.bsn.com, SNI : 7182:2012, 2012.
- [2] Canakci, M. and Gerpen, J.V., “Biodiesel Production from Oils and Fats with High Free Fatty Acids”, *Transactions of the ASAE*, Vol. 44 (6), pp. 1429-1436, 2001.
- [3] Da Cunha, M.E., Krause, L.C., Moraes, M.S.A., Faccini, C.S., Jacques, R.A., Almeida, S.R., Rodrigues, M.R.A., Caramao, E.B., “Beef Tallow Biodiesel Produced in A Pilot Scale”, *Fuel Processing Technology*, 90, pp. 570-575, 2009.
- [4] Dias, J.M., Alvim-Ferraz, M.C.M., Almeida, M.F., Diaz, J.D.M., Polo, M.S., Utrilla, J.R., “Selection of Heterogeneous Catalysts for Biodiesel Production from Animal Fat”, *Fuel*, 94, pp. 418-425, 2012.
- [5] El-Mashad, H.M., Zhang, R., Avena-Bustillos, R.J., “A Two-Step Process for Biodiesel Production from Salmon Oil”, *Biosystems Engineering*, 99, pp. 220-227, 2007.
- [6] Encinar, J.M., Sanchez, N., Martinez, G., Garcia L., “Study of Biodiesel Production from Animal Fats with High Free fatty Acid Content”, *Bioresource Technology*, Vol. 102 No. 23, pp. 10907-10914, 2011.
- [7] Endalew, A.K., Kiros, Y., Zanzi, R., “Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production from Jatropha curcas Oil (JCO)”, *Energy*, pp. 1-8, 2011.
- [8] Hameed, B. H., Lai, L. F., Chin, L. H., “Production of Biodiesel from Palm Oil (*Elaeis guineensis*) Using Heterogeneous Catalyst : An Optimized Process”, *Fuel Processing Technology*, 90, pp. 606-610, 2009.
- [9] Jazie, A.A., Pramanik, H., Sinha, A.S.K., “Egg Shell As Eco-Friendly Catalyst for Transesterification of Rapeseed Oil :

- Optimization for Biodiesel Production”, *Special Issue of International Journal of Sustainable Development and Green Economics (IJS DGE)*, Vol. 2 No.1, pp. 27-32, 2013.
- [10] Kim, Hak-Joo., Kang, Bo-Seung., Kim, Min-Ju., Park, Young Moo., Kim, Deog-Keun., Lee, Jin-Suk., Lee, Kwan-Young., “Transesterification of Vegetable Oil to Biodiesel Using Heterogeneous Base Catalyst”, *Catalysis Today*, 93-95, pp. 315-320, 2004.
- [11] Kombe, G.G., Temu, A.K., Rajabu, H.M., Mrema, G.D., “High Free Fatty Acid (FFA) Feedstock Pre-Treatment Method for Biodiesel Production”, *Second International Conference on Advance in Engineering and Technology*, pp. 176-182, 2011.
- [12] Kouzu, M., Kasuno, T., Tajika, M., Yamanaka, S., Hidaka, J., “Active Phase of Calcium Oxide Used As Solid Base Catalyst for Transesterification of Soybean Oil with Refluxing Methanol”, *Applied Catalysis*, 334, pp. 357-365, 2008.
- [13] Lee, Dae-Won., Park, Young-Moo dan Lee, Kwan-Young., “Heterogeneous Base Catalysts for Transesterification in Biodiesel Synthesis”, *Catal Surv Asia*, 13, pp. 63-77, 2009.
- [14] Lengyel, J., Cvengrosova, Z., Cvengros, J., “Transesterification of Triacylglycerols Over Calcium Oxide As Heterogeneous Catalyst”, *Petroleum & Coal*, 51 (3), pp. 216-224, 2009.
- [15] Marchetti, J.M., Miguel, V.U., Errazu, A.F., “Heterogeneous Esterification of Oil With High Amount of Free Fatty Acids”, *Fuel*, 86, pp. 906-910, 2006.
- [16] Omar, W.N.N.W. and Amin, N.A.S., “Optimization of Heterogeneous Biodiesel Production from Waste Cooking Palm Oil Via Response Surface Methodology”, *Biomass and Bioenergy*, 35, pp. 1329-1338, 2011.
- [17] Padil., Wahyuningsih, S., Awaluddin, A., “Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa melalui Reaksi Metanolisis Menggunakan Katalis CaCO_3 yang Dipijarkan”, *Jurnal Natur Indonesia*, Vol. 13 No. 1, hal. 27-32, Universitas Riau, Pekanbaru, 2010.
- [18] Prateepchaikul, G., Allen, M.L., Leevijit, T., Thaveesinshopha, K., “Methyl Ester Production from High Free Fatty Acid Mixed Crude Palm Oil”, *Songklanakarinn J. Sci. Technol*, Vol. 29 No. 6, pp. 1551-1561, 2007.
- [19] Ramaraju, A. and Ashok, K.T.V., “Biodiesel Development from High Free Fatty Acid Punnakka Oil”, *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 6 No. 4, pp. 1-6, 2011.
- [20] Ranjan, M.S., Kumar, M.M., Kumar, P.A., “Preparation of Biodiesel from Crude Oil of Simarouba glauca Using CaO As A Solid Base Catalyst”, *Research Journal of Recent Sciences*, Vol. 1 (9), pp. 49-53, 2012.
- [21] Santoso, N., Pradana, F., Rachimoellah., “Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk Randu (Ceiba pentandra) melalui Proses Transesterifikasi dengan Menggunakan CaO Sebagai Katalis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2012.
- [22] Viriya-Empikul, N., Krasae, P., Nualpaeng, W., Yoosuk, B., Faungnawakij, K., “Biodiesel Production Over Ca Based Solid Catalysts Derived from Industrial Wastes”, *Fuel*, 92, pp. 239-244, 2011.
- [23] Watcharathamrongkul, K., Jongsomjit, B., Phisalaphong, M., “Calcium Oxide Based Catalysts for Ethanolysis of Soybean Oil”, *Songklanakarinn J. Sci. Technology*, 32 (6), pp. 627-634, 2010.