

Pengaruh Konsentrasi Katalisator dan Rasio Bahan terhadap Kualitas Biodiesel dari Minyak Kelapa

Erna Astuti*

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan
Jl. Prof. Dr. Soepomo, Yogyakarta, 55164

Abstract

The demand for energy in Indonesia has increased very fast in the recent years in the midst of fossil oil depletion. A lot of effort has been carried out to find alternative energies. One of the promising alternative energies is biodiesel. Indonesia, as the largest producer of vegetable oil in the world, has an opportunity to play a significant role as a biodiesel producer. Among various vegetable oils, coconut oil is a potential raw material in biodiesel production. The process was carried out in a three-neck round bottom flask equipped with motor stirrer and thermometer. The trans-esterification reaction was conducted by mixing heated coconut oil with a mixture of ethanol and KOH catalyst for two hours. The process variables studied in the present work were catalyst concentration and coconut oil – ethanol ratio. At the optimal condition when the KOH concentration in a range of 0.75-0.90% w/v and a coconut oil – ethanol ratio of 3:1 -5:1, the process produce biodiesel that meets the standard.

Key words: alternative energy, biodiesel, trans-esterification, reactant ratio, quality assurance

Abstrak

Kebutuhan energi di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat. Oleh karena itu perlu pengembangan energi alternatif, salah satunya adalah biodiesel. Indonesia sebagai negara penghasil minyak nabati terbesar dunia, juga sebagai negara penghasil minyak kelapa relatif besar dunia mempunyai peluang untuk menghasilkan dan memainkan peranan penting dalam produksi bahan bakar biodiesel. Di antara berbagai jenis minyak nabati, minyak kelapa mempunyai peluang besar untuk digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel. Penelitian dilakukan dalam labu leher tiga yang dilengkapi motor pengaduk dan termometer. Reaksi transesterifikasi diawali dengan mencampur minyak kelapa yang telah dipanaskan dengan campuran etanol dan katalisator KOH. Reaksi dilakukan selama dua jam dengan variabel proses konsentrasi katalisator 0,65 – 0,95 % b/v dan rasio minyak kelapa/etanol antara 2:1 dan 6:1. Kemudian dilakukan pemisahan biodiesel dari gliserol dan pengeringan. Selanjutnya dilakukan uji sifat biodiesel rapat massa, viskositas, *cloud point*, *flash point* dan angka asam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil minyak destilat yang relatif baik dan yang masuk dalam spesifikasi standar dan mutu biodiesel diperoleh pada pada konsentrasi katalisator KOH 0,75 – 0,90 %b/v dan rasio minyak kelapa/etanol 3:1 – 5:1.

Kata kunci: energi alternatif, biodiesel, transesterifikasi, rasio bahan, standar mutu

Pendahuluan

Kebutuhan energi di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat. Peningkatan konsumsi energi tidak hanya disebabkan oleh semakin berkembangnya sektor industri namun juga untuk keperluan kendaraan bermotor yang dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Sementara itu cadangan minyak bumi dunia semakin menipis. Polusi udara yang terjadi karena penggunaan minyak bumi berkualitas rendah (kandungan sulfur tinggi) mengharuskan usaha pencarian alternatif sumber energi kepada sumber energi yang ramah lingkungan, tidak menambah parah terjadinya polusi udara. Harapannya, alternatif sumber energi yang digunakan di masa depan

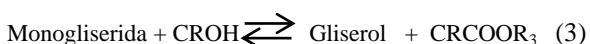
merupakan sumber energi yang terbarukan, yang lebih ramah lingkungan, yang tidak menambah pencemaran udara, terutama timbulnya emisi gas CO_x, NO_x dan SO_x (Supranto dkk., 2003). Salah satu energi alternatif adalah biodiesel. Bahan bakar biodiesel mulai diprioritaskan oleh pemerintah, ditandai dengan keluarnya INPRES No. 1 tahun 2006 pada tanggal 25 Januari 2006, yang menekankan perlunya penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (Pasae, 2006). *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025 menyatakan pada tahun 2011 – 2015 diharapkan pemanfaatan biodiesel sebesar 3% dari konsumsi solar 1,5 juta kL/hari. Oleh karena itu penelitian yang mengkaji hal-hal yang berpengaruh dalam proses, perancangan/desain pabrik dan pengoperasian pabrik biodiesel perlu

* Alamat korespondensi: email: erna_uad@yahoo.com

dilakukan agar diperoleh biodiesel kualitas standar.

Biodiesel merupakan alkil ester asam lemak yang diperoleh dari minyak nabati. Biodiesel merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan, karena pembakarannya tidak mengeluarkan SO_2 , sedikit asap dan mengandung kadar CO yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar solar. Hasil penelitian CRE-ITB menunjukkan, tingkat polusi yang dihasilkan solar 10 kali lebih tinggi dibandingkan dengan polusi yang dihasilkan biodiesel (Windria, 2002). Biodiesel dapat dibuat dari bermacam sumber, seperti minyak nabati, lemak hewani dan sisa dari minyak atau lemak (misalnya sisa minyak penggorengan). Biodiesel dapat diproduksi dari minyak-minyak tumbuhan seperti minyak kelapa (Purwono dkk, 2003; Hamid dan Hertanto, 2003), minyak jarak (Bakhtir dkk, 2003;), minyak kelapa sawit dan minyak goreng bekas (Utomo, 2004). Biodiesel juga dapat diproduksi dari berbagai minyak nabati lain seperti DALM (Destilat Asam Lemak Minyak) sawit hasil samping pengolahan proses pengolahan minyak kelapa sawit menjadi minyak makan / minyak goreng (Chongkhong dkk, 2007; Makertihartha, 2005; Supranto dkk, 2003).

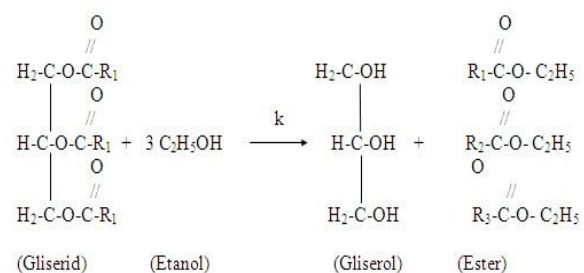
Produksi biodiesel dari tumbuhan umumnya dilaksanakan melalui proses yang disebut dengan transesterifikasi. Transesterifikasi terkadang disebut alkoholisis, atau mengacu pada jenis alkohol yang digunakan maka disebut metanolisis atau etanolisis. Transesterifikasi merupakan reaksi pemindahan alkohol dari suatu ester oleh alkohol lain yang meliputi rangkaian tiga reaksi dapat balik yang berurutan. Pertama adalah konversi trigliserida menjadi digliserida, diikuti konversi digliserida menjadi monogliserida dan yang terakhir monogliserida menjadi gliserin. Tiap tahap menghasilkan satu molekul ester (Demirbas, 2005).



Biasanya pembuatan biodiesel diklasifikasi menjadi dua : menggunakan katalisator dan tanpa katalisator. Reaksi esterifikasi konvensional menggunakan berbagai macam katalisator seperti sodium atau kalium hidroksida, asam sulfat, ion exchange resin, dan enzim lipase (Yin dkk, 2008). Selain itu digunakan katalisator heterogen seperti lempung (Makertihartha, 2005), katalis Cu(II) dan Co(II) yang diadsorpsi oleh chitosan

(Silva dkk., 2008), dan zeolit (Noiroj dkk., 2008). Reaksi dengan katalisator basa berlangsung sekitar satu jam pada suhu kamar, sedangkan reaksi dengan katalisator asam dan enzim memerlukan waktu 3 sampai 4 hari untuk menyelesaikan reaksi. Selain itu reaksi dengan katalisator asam memerlukan panas (Turner, 2005). Katalisator basa yang sering dipergunakan adalah sodium hidroksida dan kalium hidroksida. Katalisator ini dipilih karena harganya murah dan prosesnya ekonomis.

Alkohol yang digunakan berupa metanol, propanol, butanol, amil alkohol atau jenis yang lain seperti minyak fusel yang banyak mengandung amil alkohol seperti yang dilakukan Rahayu dan Rarasmedi (2003). Bisa juga dilakukan proses transesterifikasi menggunakan metanol superkritik (Demirbas, 2005; Yin dkk, 2008). Proses ini memerlukan tekanan tinggi dan suhu tinggi ($260\text{-}350^\circ\text{C}$). Tidak adanya katalis pada proses dengan metanol superkritik ini memberikan keuntungan tidak diperlukannya proses purifikasi metil ester terhadap katalis yang biasanya terikut pada produk proses transesterifikasi konvensional menggunakan katalis asam/basa. Untuk meningkatkan konversi dan menurunkan tekanan dan suhu operasi digunakan *cosolvent* seperti heksana, karbon dioksida dan kalium hidroksida (Yin dkk, 2008). Namun metode ini menggunakan metanol yang sangat banyak, rasio mol metanol dan minyak adalah 42:1, sehingga merupakan proses yang sangat mahal. Metanol paling umum digunakan dalam pembuatan biodiesel. Metanol biasanya diproduksi dari gas alam, sedangkan etanol diperoleh dari pabrik gula. Etanol dapat diproduksi dengan fermentasi gula dan umbi-umbian, serta biokonversi selulosa (Demirbas, 2005). Penggunaan etanol menjadikan biodiesel sebagai bahan bakar yang keberlanjutannya lebih tinggi (Turner, 2005). Reaksi transesterifikasi minyak nabati menggunakan etanol terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme reaksi transesterifikasi minyak nabati dengan etanol

Faktor yang mempengaruhi *yield* biodiesel meliputi tipe katalisator (basa, asam, enzim), rasio alkohol/minyak nabati, suhu reaksi, kadar air dan kadar asam lemak bebas (Demirbas, 2005). Penggunaan alkohol berlebihan akan memastikan semua minyak terkonversi menjadi biodiesel. Suhu sangat mempengaruhi reaksi dan *yield* biodiesel. Suhu yang tinggi akan menurunkan viskositas minyak dan mempercepat reaksi. Konsentrasi katalisator mempengaruhi *yield* biodiesel.

Biodiesel mempunyai sifat-sifat fisik yang mirip dengan solar biasa sehingga dapat diaplikasikan langsung untuk mesin-mesin diesel yang ada hampir tanpa modifikasi. Pengujian sifat yang dilakukan pada biodiesel mengacu pada pengujian yang biasa dilaksanakan untuk minyak solar. Sifat-sifat biodiesel secara umum dapat diuji dengan beberapa jenis pengujian berikut ini : *specific gravity, viscosity, flash point, pour point, color, dan carbon residu*. Standar mutu biodiesel Indonesia mengikuti Surat Keputusan Kepala Badan Standardisasi Nasional No. 73/KEP/BSN/2/2005 tentang Biodiesel (SNI 04-7182-2006).

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan biodiesel dari minyak kelapa dan etanol dengan katalisator kalium hidroksida (KOH). Etanol dipilih dengan harapan bahan bakar yang diperoleh lebih *sustainable*. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh dari konsentrasi katalisator kalium hidroksida dan rasio minyak kelapa dan etanol terhadap kualitas biodiesel yang didapat dari reaksi transesterifikasi dan mendapatkan kondisi operasi yang sesuai untuk mendapatkan kualitas biodiesel yang memadai sebagai pengganti bahan bakar solar. Konsentrasi katalisator dapat mempengaruhi *yield* biodiesel. Jika konsentrasi katalisator meningkat maka konversi trigliserida dan *yield* biodiesel akan meningkat. Hal ini terjadi karena katalisator akan mengaktifkan trigliserida (Leung dan Guo, 2006). Beberapa peneliti menyatakan bahwa salah satu faktor utama yang mempengaruhi *yield* biodiesel adalah molar rasio antara alkohol dan trigliserida (Demirbas, 2005; Freedman dkk, 1986; Leung dan Guo, 2006; Ma dan Hanna, 1999; Zhang dkk, 2003). Alkohol yang berlebihan pada pembuatan biodiesel digunakan untuk memastikan bahwa minyak atau lemak akan terkonversi sempurna menjadi ester dan semakin besar rasio akan mengakibatkan konversi lebih besar dalam waktu yang singkat. Kebutuhan stoikiometri reaksi transesterifikasi membutuhkan 3 mol alkohol untuk setiap mol

trigliserida untuk menghasilkan 3 mol ester dan 1 mol gliserol.

Metode Penelitian

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah: minyak kelapa yang mempunyai rapat massa 0,8831 kg/L, asam lemak bebas 0,0146 mgek/g minyak dan asam lemak total 2,026 mgek/g minyak; etanol p.a. mempunyai kadar 99,8% dan rapat massa 0,79 kg/L, serta KOH dengan kadar 85%.

Alat

Digunakan rangkaian alat berupa labu leher tiga yang dilengkapi dengan pemanas, motor pengaduk, termometer dan pengambil sampel.

Variabel penelitian

Penelitian dilakukan dengan waktu reaksi 2 jam dan suhu reaksi 60°C. Suhu optimal berkisar 50 – 60°C, tergantung dari jenis minyak yang digunakan (Freedman, 1984; Leung dan Guo, 2006; Ma dan Hanna, 1999). Suhu reaksi yang lebih tinggi akan menurunkan viskositas minyak dan mengakibatkan kenaikan kecepatan reaksi. Variabel penelitian ini adalah konsentrasi katalisator kalium hidroksida dan rasio minyak kelapa dan etanol. Konsentrasi KOH divariasikan antara 0,65– 0,95 % b/v. Pada konsentrasi KOH di atas 0,95 % b/v terjadi pengarang. Perbandingan minyak kelapa dan etanol bervariasi antara 2:1 dan 6:1. Pada perbandingan di atas 6:1 diperoleh *yield* sama.

Metode penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan memanaskan minyak kelapa hingga mencapai suhu reaksi 60°C. Selanjutnya mencampur etanol dengan katalisator KOH. Pada variabel konsentrasi katalisator, konsentrasi KOH divariasikan antara 0,65– 0,95 % b/v. Campuran direaksikan dengan minyak kelapa selama 1 jam pada labu leher tiga yang diaduk dengan kecepatan 1300 rpm. Perbandingan etanol dan minyak kelapa bervariasi antara 2:1 dan 6:1. Kemudian memasukkan larutan ke dalam corong pemisah dan mendiamkan larutan selama 12-24 jam sampai terbentuk 2 lapisan. Selanjutnya memisahkan biodiesel dari gliserol dan mencuci biodiesel yang diperoleh dengan akuades secara perlahan-lahan. Penguapan air pencuci dilakukan dalam pemanas elektrik. Langkah terakhir adalah menganalisa sifat fisis biosiesel. Sifat fisis biodiesel yang dianalisa adalah :

- Rapat massa, dianalisa dengan ASTM D 941
- Viskositas, dianalisa dengan ASTM D 445

- c. *Flash Point* (Titik Nyala), dianalisa dengan ASTM D 93
- d. *Cloud Point* (Titik Kabut), dianalisa dengan ASTM D 2500
- e. Angka asam, dianalisa dengan AOCS Cd 3d-63

Analisis rapat massa dan angka asam dilakukan di laboratorium Satuan Operasi Universitas Ahmad Dahlan, sedangkan viskositas, *flash point* dan *cloud point* diuji di Laboratorium Minyak Bumi Gas dan Batubara Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh dari konsentrasi katalisator kalium hidroksida dan rasio minyak kelapa dan etanol terhadap kualitas biodiesel yang didapat dari reaksi transesterifikasi minyak kelapa dan mendapatkan kondisi operasi yang sesuai untuk mendapatkan kualitas biodiesel yang memadai sebagai pengganti bahan bakar solar. Hasil transesterifikasi minyak kelapa menggunakan etanol adalah biodiesel yang disebut etil ester. Setelah didapatkan sampel dan dianalisa sifat fisisnya, kemudian disusun dalam bentuk tabel, dianalisa dan dibandingkan dengan standar mutu biodiesel Indonesia (SNI 04 – 7182 – 2006). Kondisi optimum diperoleh pada kondisi operasi yang menghasilkan biodiesel dengan kuantitas terbanyak dan memenuhi standar mutu.

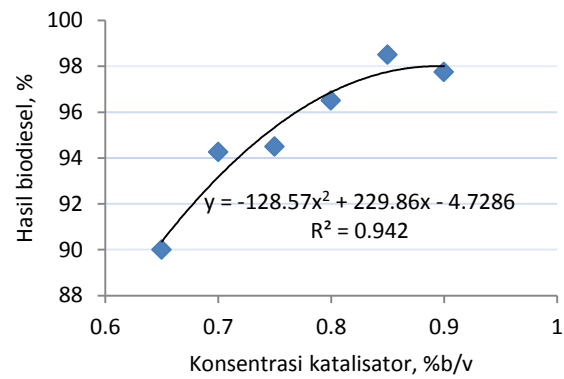
Pengaruh konsentrasi KOH

Percobaan dilakukan selama 2 jam, dengan rasio minyak kelapa /etanol 4:1, suhu 60°C, dan kecepatan pengadukan 1300 rpm. Konsentrasi katalisator KOH divariasikan antara 0,65– 0,95 % b/v. Hasil penelitian terlihat pada tabel 1 dan gambar 2.

Tabel 1. Hasil analisa sifat biodiesel pada berbagai konsentrasi katalis KOH

No	Katalis KOH, %b/v	Hasil Biodiesel, %	Rapat massa, kg/L	Viskositas, mm ² /s	Flash Point, °F	Cloud Point, °C	Angka asam, mg KOH/g
1	0,65	90,00	0,8738	5,1817	248	24	0,0499
2	0,70	94,25	0,8787	6,2745	244	9	0,0271
3	0,75	94,50	0,8709	5,1394	241	9	0,0418
4	0,80	96,50	0,8758	5,1899			0,0440
5	0,85	98,50	0,8797	5,0634	241	11	0,0257
6	0,90	97,75	0,8621	4,4625	237	11	0,0242

Hasil uji menunjukkan nilai rapat massa berkisar 862-880 kg/m³. Standar mutu biodiesel untuk parameter rapat massa adalah 850-890 kg/m³.



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara konsentrasi Katalis KOH dan hasil biodiesel

Nilai rapat massa yang diperoleh relatif tetap, berarti konsentrasi katalisator tidak mempengaruhi nilai rapat massa. Nilai tersebut memenuhi spesifikasi standar mutu biodiesel. Sedangkan nilai viskositas yang dihasilkan naik dari konsentrasi 0,65% ke 0,7% dan setelah konsentrasi 0,7% menurun. Kenaikan konsentrasi katalisator justru menurunkan viskositas biodiesel. Viskositas biodiesel pada konsentrasi 0,70% tidak memenuhi spesifikasi, sedangkan pada semua konsentrasi yang lain memenuhi. Pada saat viskositas turun maka kecepatan reaksi akan naik. Kenaikan kecepatan reaksi ini ditandai dengan naiknya *yield* biodiesel dari 94,5% pada konsentrasi KOH 0,70% menjadi 98,5% pada konsentrasi KOH 0,85%.

Hasil uji *flash point* berkisar 237-248°F, nilai ini berada jauh di atas nilai minimal sebesar 100°F yang dipersyaratkan untuk standar mutu biodiesel. Standar mutu *cloud point* adalah maksimum 18°C. Hasil uji *cloud point* menunjukkan semua variabel memenuhi spesifikasi (diperoleh *cloud point* sebesar 9 dan 11°C), kecuali pada konsentrasi 0,65% diperoleh *cloud point* sebesar 24°C. Standar angka asam sebesar 0,8 mg KOH/g. Hasil uji angka asam berkisar 0,024-0,050 mg KOH/g. Nilai ini menunjukkan bahwa semua sampel memenuhi standar mutu biodiesel untuk parameter angka asam.

Pengaruh konsentrasi katalisator KOH terhadap hasil biodiesel terlihat pada gambar 2. Hubungan antara jumlah katalis yang digunakan dengan perolehan biodiesel dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$y = -128,5 x^2 + 229,8 x - 4,728$$

dengan y adalah *yield* biodiesel (%) dan x konsentrasi katalis KOH (% b/v). Persamaan ini berlaku untuk harga $x = 0,65-0,90$ dengan nilai-nilai $R^2 = 0,942$. Persamaan di atas bisa dipakai untuk menghitung besarnya *yield* biodiesel yang diperoleh untuk konsentrasi katalisator KOH tertentu dalam kisaran yang diperbolehkan. Nilai

R^2 sebesar 0,942 menunjukkan bahwa model persamaan yang dibuat cukup merepresentasikan proses yang terjadi.

Penggunaan katalisator pada suatu reaksi akan mempercepat reaksi untuk mencapai kesetimbangan. Penambahan jumlah katalis akan memperbesar peluang reaktan untuk saling bertumbukan menghasilkan produk. Dari Tabel 1 dan Gambar 2 terlihat bahwa untuk konsentrasi KOH 0,65% sampai dengan 0,85% semakin banyak jumlah katalisator yang digunakan maka biodiesel yang diperoleh semakin banyak. Namun pada konsentrasi 0,9% diperoleh biodiesel yang lebih sedikit. Dengan demikian terdapat kemungkinan kesetimbangan reaksi transesterifikasi ini tercapai pada konsentrasi KOH antara 0,85% - 0,9%. Jumlah katalisator optimal yang diperlukan dalam transesterifikasi minyak kelapa adalah 0,85% b/v dengan hasil biodiesel sebesar 98,5% setelah mengalami proses pemurnian.

Dengan demikian bisa disimpulkan bahwa penggunaan katalisator KOH yang menghasilkan biodiesel yang memenuhi standar mutu adalah pada kisaran 0,75 - 0,90% b/v dan kuantitas terbesar diperoleh pada konsentrasi 0,85% b/v.

Pengaruh perbandingan bahan

Percobaan dilakukan selama 2 jam dengan suhu reaksi 60°C, KOH sebanyak 0,85% b/v, dengan perbandingan volum minyak kelapa dan etanol bervariasi antara 2:1 dan 6:1. Hasil uji biodiesel tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisa sifat biodiesel pada berbagai ratio minyak kelapa/etanol

No	Rasio bahan	rapat massa, kg/L	Viskositas, mm ² /s	Flash Point, °F	Cloud point, °C	angka asam, mg KOH/g
1	2 : 1	0,8243	2,9210	281	21	0,0660
2	3 : 1	0,8262	3,3778	274	18	0,0642
3	4 : 1	0,8885	4,4919	244	9	0,0293
4	5 : 1	0,8291	4,5519	350	15	0,0365
5	6 : 1	0,8565	8,1938	303	21	0,0393

Rasio minyak kelapa dan etanol yang digunakan dalam reaksi transesterifikasi sangat mempengaruhi nilai *yield* yang diperoleh. Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi dapat balik.

Asas Le Chatelier menyatakan penggunaan salah satu reaktan berlebihan akan menyebabkan reaksi bergeser ke kanan. Hal ini terlihat pada hasil percobaan yang tertera pada Tabel 2. Semakin banyak etanol yang digunakan, maka biodiesel yang diperoleh semakin banyak, ditandai dengan semakin besarnya *yield* yang diperoleh.

Uji viskositas biodiesel menyatakan bahwa hasil biodiesel yang memenuhi standar mutu

(antara 2,3-6,0 cP) adalah biodiesel pada kisaran rasio 2:1 sampai dengan 6:1. Pada rasio 6:1 viskositas biodiesel terlalu tinggi. Rapat massa biodiesel yang memenuhi kualifikasi biodiesel berada pada kisaran rasio 4:1 sampai 6:1. Semakin banyak penggunaan alkohol, rapat massa biodiesel semakin rendah. Hal ini terjadi karena alkohol sisa (yang tidak bereaksi) terikut pada produk biodiesel sehingga rapat massa biodiesel menjadi rendah, demikian pula dan viskositasnya. Hasil uji *flash point* (244 – 301°F) dan angka asam (0,029 – 0,066 mg KOH/g) menunjukkan bahwa semua sampel memenuhi standar mutu biodiesel yaitu minimal 100°F (untuk *flash point*) dan maksimum 0,8 mg KOH/g (untuk angka asam). Sedangkan hasil uji *cloud point* yang memenuhi spesifikasi (maksimum 18°C) berada pada kisaran rasio 3:1 sampai dengan 5:1. Dengan demikian bisa disimpulkan bahwa biodiesel yang memenuhi standar mutu dihasilkan pada kisaran rasio minyak kelapa/etanol 3:1 sampai dengan 5:1.

Kesimpulan

Berdasarkan data- data tersebut diatas, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar konsentrasi katalisator maka jumlah biodiesel yang diperoleh semakin besar sehingga tercapai kondisi kesetimbangan.
2. Semakin besar rasio etanol/minyak kelapa yang digunakan, maka biodiesel yang diperoleh semakin banyak, ditandai dengan semakin besarnya *yield* yang diperoleh.
3. Hasil biodiesel yang relatif baik dan yang masuk dalam spesifikasi standar dan mutu biodiesel diperoleh pada konsentrasi katalis KOH 0,75-0,90% b/v dan rasio minyak kelapa/etanol 3:1 – 5:1.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DP2M Direktorat Jenderal Perguruan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiayai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Bakhtir, A. dkk, 2003. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak dengan Basa Kuat, Prosiding Seminar Rekayasa dan Proses 2003, Semarang.
- Chongkhong, S., Tongurai, C., Chetpattananondh, P. And Bunyakan, C., 2007. Biodiesel production by esterification of palm fatty acid distillate, Biomass and Bioenergy 31, 563–568.
- Demirbas, A., 2005. Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical methanol transesterification methods,

- Progress in Energy and Combustion Science 31, 466–487.
- Freedman, B., Butterfield, R.O., and Pryde, E.H., 1986. Transesterification kinetics of soybean oil, *J Am Oil Chem Soc* 63, 1375–1380.
- Freedman B., Pryde, E.H., Mounts T.L., 1984. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *J Am Oil Chem Soc* 61, 1638–1643.
- Hamid, T. dan Hertanto, Y., 2003. Preparasi Biodiesel dari Minyak Kelapa "BARCO" dengan Variasi Jumlah NaOH, *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia V* 2003.
- Leung, D.Y.C., and Guo, Y., 2006. Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiesel production, *Fuel Process Technol* 87, 883–890.
- Ma, F., Hanna, M.A., 1999. Biodiesel production: a review, *Bioresour Technol* 70, 1–15.
- Makertihartha, IGBN, 2005. Pengembangan Katalis Lempung Aktif untuk Sintesis Biodiesel, *Prosiding Seminar Rekayasa dan Proses 2005*, Semarang.
- Noiroj, K., Intarapong, P., Luengnaruemitchai, A. and Jai-In, S., 2008. A comparative study of KOH/Al₂O₃ and KOH/NaY catalysts for biodiesel production via transesterification from palm oil, *Renewable Energy* xxx, 1–6.
- Pasae, Y., 2006. Biodiesel Tanaman Tradisional Membangun Masa Depan, *BaktiNews* 1 (11), 7-8.
- Purwono, S., Yulianto, N. dan Pasaribu, R., 2003. Biodiesel dari Minyak Kelapa, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia*, Yogyakarta.
- Supranto dkk, 2003. Biodisel bahan bakar mesin disel produk Esterifikasi Destilat Asam Lemak Minyak Sawit, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia*, Yogyakarta.
- Utomo, J., 2004. Studi pembuatan biodiesel sawit dengan katalis asam-basa, *Prosiding STNPK VI*.
- Windria, N.H., 2002. Biodiesel : Alternatif Pendamping Solar, *BEI NEWS Edisi 12 Tahun IV*, Desember 2002-Januari 2003.
- Yin, J.Z., Xiao, M. and Song, J.B., 2008. Biodiesel from soybean oil in supercritical methanol with co-solvent, *Energy Conv. Manage* 49, 908–912.
- Zhang ,Y., Dube, M.A., McLean, D.D., and Kates, M., 2003. Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis, *Bioresour Technol* 90, 229–240.