

KINETICS OF PALM OIL TRANSESTERIFICATION IN METHANOL WITH POTASSIUM HYDROXIDE AS A CATALYST

Kinetika Transesterifikasi Minyak Sawit dengan Metanol Menggunakan Katalis Kalium Hidroksida

Yoeswono^{1,*}, Triyono², and Iqmal Tahir²

¹ Training Center BP Migas, Jl. Sorogo no 1, Cepu, Central Java, Indonesia

² Physical Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara Yogyakarta, Indonesia 55281

Received 22 January 2008; Accepted 25 February 2008

ABSTRACT

A study on palm oil transesterification to evaluate the effect of some parameters in the reaction on the reaction kinetics has been carried out. Transesterification was started by preparing potassium methoxide from potassium hydroxide and methanol and then mixed it with the palm oil. An aliquot was taken at certain time interval during transesterification and poured into test tube filled with distilled water to stop the reaction immediately. The oil phase that separated from the glycerol phase by centrifugation was analyzed by ¹H-NMR spectrometer to determine the percentage of methyl ester conversion. Temperature and catalyst concentration were varied in order to determine the reaction rate constants, activation energies, pre-exponential factors, and effective collisions. The results showed that palm oil transesterification in methanol with 0.5 and 1 % w/w KOH/palm oil catalyst concentration appeared to follow pseudo-first order reaction. The rate constants increase with temperature. After 13 min of reaction, More methyl esters were formed using KOH 1 % than using 0.5 % w/w KOH/palm oil catalyst concentration. The activation energy (E_a) and pre-exponential factor (A) for reaction using 1 % w/w KOH was lower than those using 0.5 % w/w KOH.

Keywords: palm oil, transesterification, catalyst, first order kinetics, activation energy, pre-exponential factor

PENDAHULUAN

Penelitian tentang bahan bakar alternatif dari bahan minyak nabati, termasuk biodiesel telah banyak dilakukan. Krisis energi dan isu lingkungan mendorong penemuan dan penggunaan bahan bakar alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan (*environment friendly fuels*) atau bahan bakar bersih (*clean fuels*) dan biomassa adalah salah satu sumber energi alternatif yang dijadikan pilihan. Konsep bahan bakar bersih antara lain meliputi: pengurangan kadar belerang, penambahan senyawa-senyawa oksigenat, pengurangan senyawa aromatik, dan peningkatan angka cetana atau oktana [1]. Berbagai jenis minyak nabati telah dikaji kesesuaiannya sebagai biodiesel. Jenis minyak nabati yang dikaji pada umumnya sesuai dengan ketersediaannya di negara tersebut [2]. Indonesia, sebagai negara penghasil minyak sawit, memiliki potensi besar untuk memproduksi biodiesel dengan bahan baku minyak sawit.

Minyak nabati merupakan sumber energi terbarukan dan memiliki karakter kadar energi yang hampir sama dengan minyak diesel berbasis minyak bumi. Namun demikian masih terdapat karakter-karakter lain yang harus dipertimbangkan terutama karakter yang berkaitan dengan pembakaran, kegagalan sistem pemompaan/*nozzle injector* dan kebuntuan filter [3].

Penggunaan minyak nabati secara langsung sebagai bahan bakar memiliki berbagai kendala, antara lain: viskositas tinggi dan penguapan rendah yang mengakibatkan pembakaran tidak sempurna dan cenderung terbentuk deposit pada mesin [4]. Untuk mengatasi kendala-kendala tersebut maka dibuat senyawa-senyawa turunan minyak nabati yang mempunyai sifat mirip dengan bahan bakar diesel konvensional [3].

Biodiesel pada umumnya disintesis melalui transesterifikasi dengan alkohol ringan menggunakan katalis basa, misal: natrium alkoksida, natrium dan kalium hidroksida, atau natrium dan kalium karbonat [5]. Natrium dan kalium hidroksida merupakan katalis basa yang paling sering digunakan karena harganya murah [6]. Sumber katalis basa lainnya adalah abu sisa pembakaran cangkang atau serat pohon kelapa sawit yang mengandung K_2CO_3 atau Na_2CO_3 . Yoeswono *et al.* melaporkan kajian sintesis metil ester dari minyak biji sawit menggunakan abu tandan kosong sawit sebagai sumber katalis basa [7].

Terdapat beberapa metode analisis untuk mendeteksi dan mengkuantifikasi asam lemak dan trigliserida dalam biodiesel. Metode analisis yang umum digunakan adalah kromatografi gas (*gas chromatography* = GC), seperti yang digunakan Foon *et al.* [8] dan Darnoko dan Cheryan [9] dan

* Corresponding author. Tel. 0296421888 ext. 165/163, Fax. 0296421891, Email address : yoesseoy@yahoo.com

kromatografi cair kinerja tinggi (*high performance liquid chromatography* = HPLC), seperti yang digunakan Encinar *et al.* [10] dan Nouredini dan Zhu [11]. Dengan GC dapat dilakukan pemisahan, kuantifikasi, dan analisis asam lemak dengan terlebih dahulu dibuat turunan asam lemak tersebut untuk meningkatkan volatilitas dan menghindari pembentukan *tailing* puncak. Analisis dengan GC yang dilanjutkan analisis dengan spektrometer massa (*mass spectrometer* = MS) akan dapat ditentukan fragmentasi asam lemak jenuh dan tak jenuh dan juga letak ikatan rangkap yang ada dalam asam lemak tersebut [5]. Kurata *et al.* menggunakan *electrospray ionization-mass spectrometer* (ESI-MS) untuk menentukan komposisi kimia minyak nabati dan lemak hewani [12]. Daun *et al.* dalam Knothe [13] telah melaporkan penggunaan spektrometer infra merah dekat (*near infra red* = NIR) untuk menganalisis asam lemak. Knothe menyatakan bahwa dengan menggunakan spektrometer NIR, spektra metil ester dan trigliserida (minyak nabati) muncul pada daerah 6005 dan 4425-4430 cm^{-1} [13]. Hal ini dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan konsentrasi trigliserida sisa dalam produk metil ester (biodiesel). May menggunakan kromatografi lapis tipis (*thin layer chromatography* = TLC) untuk memonitor proses transesterifikasi dan spektrometer resonansi magnetik inti karbon (*carbon nuclear magnetic resonance* = ^{13}C -NMR) untuk menentukan komposisi metil ester, trigliserida dan asam lemak pada transesterifikasi minyak sawit [14]. Selain dengan spektrometer ^{13}C -NMR, resonansi magnetik inti proton (*proton nuclear magnetic resonance* = ^1H -NMR) juga dapat digunakan untuk menentukan persentase konversi metil ester dalam transesterifikasi [13].

Kajian biodiesel mengenai sintesis, pengaruh parameter-parameter reaksi, bahan baku, katalis, emisi, nilai ekonomi, dan kesesuaian dengan mesin diesel telah banyak dipublikasikan. Tetapi masih sedikit literatur yang mengkaji tentang kinetika transesterifikasi dalam sintesis biodiesel. Nouredini dan Zhu melaporkan kajian kinetika transesterifikasi minyak kedelai dengan metanol menggunakan katalis kalium hidroksida [11]. Reaksi diamati sampai dengan menit ke-90 pada temperatur 30, 40, 50, 60, dan 70 °C. Mereka mengusulkan mekanisme reaksi yang meliputi daerah kendali transfer massa yang diikuti dengan daerah kendali kinetika. Untuk daerah kendali kinetika sesuai dengan mekanisme reaksi order dua. Darnoko dan Cheryan melaporkan kajian kinetika transesterifikasi minyak sawit dengan metanol menggunakan katalis kalium hidroksida [9]. Reaksi diamati sampai dengan menit ke-30 pada temperatur 50, 55, 60, dan 65 °C. Tinjauan kinetika reaksi order dua menunjukkan kesesuaian dengan data yang diperoleh. Freedman *et al.* dalam Ma dan Hanna [6] melaporkan transesterifikasi minyak kedelai dengan butanol dan metanol. Mereka mengusulkan kinetika order satu-semu dalam kondisi

alkohol sangat berlebih dan kinetika order dua dalam kondisi alkohol sedikit berlebih dengan mekanisme *shunt reaction* (tiga molekul alkohol secara serempak menyerang satu molekul trigliserida).

Dalam penelitian ini dikaji kinetika transesterifikasi minyak sawit dengan metanol menggunakan katalis kalium hidroksida pada tahap awal reaksi, meliputi pengaruh temperatur dan konsentrasi katalis terhadap konversi metil ester, order reaksi, energi aktivasi dan faktor praeksponensial, dengan maksud untuk mengurangi pengaruh pengurangan reaktan, keberadaan produk dalam sistem, dan deaktivasi katalis, sehingga diharapkan dapat menggambarkan kinetika transesterifikasi minyak sawit dengan baik.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah: minyak sawit, bahan kimia dari Merck terdiri atas: metanol (CH_3OH) p.a., kalium hidroksida (KOH) p.a., dan natrium sulfat anhidrat (Na_2SO_4) p.a.

Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini: seperangkat alat gelas laboratorium, satu set alat refluks (labu leher tiga kapasitas 1000 mL, termometer, *impeller* diameter 2 cm, *constant temperature bath* yang mampu menjaga temperatur dalam rentang 0,2 °C, dan sistem pendingin), *stopwatch*, *suction* 50 mL, *tachometer* dan timbangan elektrik; GC-MS (QP2010S SHIMADZU) dan spektrometer ^1H -NMR (JEOL JNM-MY60).

Prosedur Kerja

Preparasi

Air yang mungkin terkandung dalam minyak sawit dihilangkan dengan natrium sulfat anhidrat, kemudian disaring. Transesterifikasi minyak sawit (pada rasio molar metanol terhadap minyak sawit 6:1 dan konsentrasi katalis 0,5 % b/b KOH/minyak sawit) dilakukan dengan menimbang 500 g minyak sawit bebas air dalam labu leher tiga. Larutan kalium metoksida dibuat dengan cara melarutkan 2,5 g kalium hidroksida p.a (0,5 % b/b kalium hidroksida/minyak sawit) dalam 141 mL metanol p.a (BM = 32,04 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, massa jenis = 0,7907 $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ pada 15 °C). Larutan yang diperoleh dituang ke dalam labu leher tiga yang sudah berisi minyak sawit tersebut dan dimulai pencatatan waktu. Kecepatan pengadukan 2140 rpm dan temperatur 30 °C dijaga konstan.

Pengambilan dan perlakuan sampel

Diambil 10 mL sampel pada selang waktu tertentu (1, 2, 3 5, 7, 9, 11, 13, 15, 20, 30 dan 60 menit) selama

proses transesterifikasi dan segera dituang ke dalam botol yang telah diisi 10 mL air distilat untuk menghentikan reaksi. Waktu reaksi untuk sampel tersebut adalah sampai sampel dituang ke dalam botol sampel. Kemudian sampel dimasukkan lemari pendingin (pada suhu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) sampai perlakuan lebih lanjut. Lapisan metil ester dan lapisan air dipisahkan dengan cara sentrifugasi dengan kecepatan putaran 1600 rpm selama 15 menit. Lapisan metil ester diambil dengan pipet dan kemudian dikeringkan dengan natrium sulfat anhidrat untuk menghilangkan sisa air yang mungkin masih ada dan sentrifugasi kembali.

Analisis

Komposisi metil ester minyak sawit dianalisis dengan menggunakan GC-MS kolom Rtx-5MS panjang 30 m, diameter dalam kolom 0,25 mm, dengan kondisi operasi sebagai berikut: temperatur injektor: $300\text{ }^{\circ}\text{C}$; tekanan gas pembawa: 22 kPa; laju alir total: $80\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$; laju alir kolom: $0,50\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$; rasio *split*: 153; program temperatur: $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ditahan selama 5 menit), dinaikkan dengan laju $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ sampai dengan $270\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ditahan selama 8 menit); temperatur sumber ion: $250\text{ }^{\circ}\text{C}$; temperatur *interface*: $300\text{ }^{\circ}\text{C}$; dan rentang deteksi: $m/z = 30 - 600$. Massa molekul minyak sawit ditentukan berdasarkan nilai rata-rata dari seluruh massa molekul komponen minyak sawit dalam bentuk trigliseridanya. Massa molekul masing-masing trigliserida adalah tiga kali massa molekul metil esternya dikurangi 4,032 yang merupakan selisih jumlah proton antara trigliserida dan metil esternya.

Persentase konversi metil ester dianalisis dengan spektrometer $^1\text{H-NMR}$ (60 MHz, pelarut CDCl_3). Puncak metoksi dari metil ester tampak pada $\delta = \pm 3,7\text{ ppm}$, dan puncak pada $\delta = \pm 4,2\text{ ppm}$ merupakan tipe proton gliseril [13]. Konversi metil ester (%) dihitung menggunakan persamaan (1).

$$C_{\text{ME}}, \% = 100 \times \frac{5 I_{\text{ME}}}{5 I_{\text{ME}} + 9 I_{\text{TG}}} \quad (1)$$

di mana C_{ME} = konversi metil ester, %, I_{ME} = nilai integrasi puncak metil ester, %, dan I_{TG} = nilai integrasi puncak trigliserida, %. Faktor 5 dan 9 adalah jumlah proton yang terdapat pada gliseril dalam molekul trigliserida mempunyai 5 proton dan tiga molekul metil ester yang dihasilkan dari satu molekul trigliserida (TG) mempunyai 9 proton [13]. Persentase TG yang masih ada dalam produk dapat ditentukan dengan persamaan (2).

$$C_{\text{TG}}, \% = 100 - C_{\text{ME}} \quad (2)$$

dimana C_{TG} = trigliserida yang tidak terkonversi, %.

Dalam penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi katalis (0,5 dan 1 % b/b KOH/minyak sawit) dan temperatur (30, 40, dan $50\text{ }^{\circ}\text{C}$) untuk mengkaji kinetika transesterifikasi minyak sawit meliputi pengaruh konsentrasi katalis dan temperatur terhadap konversi metil ester, penentuan order reaksi, energi aktivasi, dan faktor praekponensial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Bahan Baku

Analisis komposisi kimia minyak sawit menggunakan GC-MS terhadap metil ester hasil transesterifikasi minyak sawit diperoleh data seperti disajikan dalam Tabel 1. Berdasarkan data komposisi metil ester minyak sawit dapat ditentukan bahwa berat molekul minyak sawit (dalam bentuk trigliseridanya) adalah $856,1\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. Tampak bahwa asam lemak yang dominan dalam minyak sawit adalah asam palmitat (36,49 %) dan asam oleat (56,32 %). Secara umum komposisi kimia minyak sawit ini mirip dengan hasil penelitian Darnoko dan Cheryan [9].

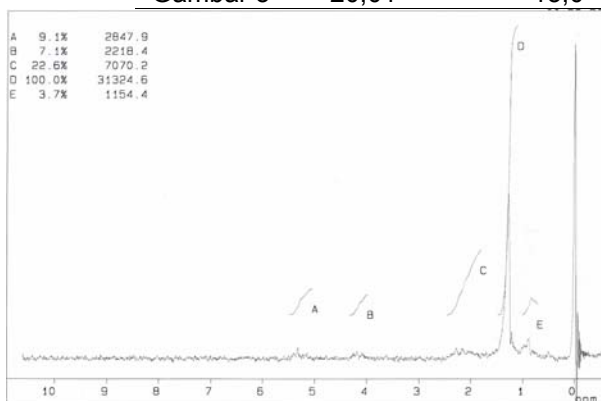
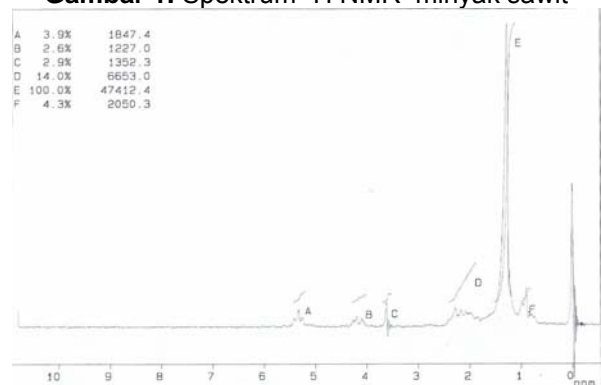
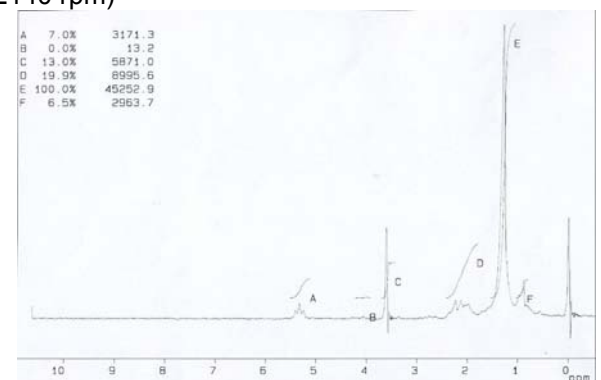
Tabel 1. Komposisi kimia minyak sawit yang digunakan sebagai bahan baku

Nama trivial (sistematik); akronim	Asam lemak dalam minyak sawit, %	
	Bahan baku	Darnoko dan Cheryan [9]
Asam laurat (asam dodekanoat); C12:0	-	0,35
Asam miristat (asam tetradekanoat); C14:0	0,97	1,08
Asam palmitat (asam heksadekanoat); C16:0	36,49	43,79
Asam palmitoleat (asam heksadekenoat); C16:1	0,15	0,15
Asam margarat (asam heptadekanoat); C17:0	0,09	-
Asam stearat (asam oktadekanoat); C18:0	5,36	4,42
Asam oleat (asam oktadekenoat); C18:1	56,32	39,90
Asam linoleat (asam oktadekadienoat); C18:2	-	9,59
Asam linolenat (asam oktadekatrienoat); C18:3	-	0,17
Asam arakidat (asam eikosanoat); C20:0	0,46	0,38
Asam gadoleat (asam eikosenoat); C20:1	0,16	-
Total	100,00	99,83

Keterangan : Tanda --- menunjukkan komponen tidak terdeteksi

Tabel 2. Penentuan persentase konversi metil ester

	Waktu, menit	Integrasi		Metil ester, %	
		$\delta = \pm 3,7$ ppm	$\delta = \pm 4,2$ ppm		
	a	b	c	d	e = 100(5c/(5c+9d))
Gambar 1	-	-	-	7,1	0
Gambar 2	1,01	-	2,9	2,6	38,26
Gambar 3	20,01	-	13,0	0,0	100,00

**Gambar 1.** Spektrum ^1H NMR minyak sawit**Gambar 2.** Spektrum ^1H NMR saat transesterifikasi berlangsung 1 menit (konsentrasi katalis 0,5% b/b KOH/minyak sawit, $T = 40$ °C, rasio molar metanol/minyak sawit = 6:1, dan kecepatan pengadukan = 2140 rpm)**Gambar 3.** Spektrum ^1H NMR saat transesterifikasi berlangsung 20 menit (konsentrasi katalis 0,5% b/b KOH/minyak sawit, temperatur = 40 °C, rasio molar metanol/minyak sawit = 6:1, dan kecepatan pengadukan = 2140 rpm)

Penentuan Persentase Konversi Metil Ester dengan Spektrometer ^1H NMR

Beberapa contoh spektrum ^1H NMR (60 MHz, pelarut CDCl_3) yang diperoleh dalam penelitian ini seperti disajikan dalam Gambar 1-3. Proses penentuan persentase konversi metil ester menggunakan persamaan (1) seperti disajikan dalam Tabel 2.

Pengaruh Temperatur

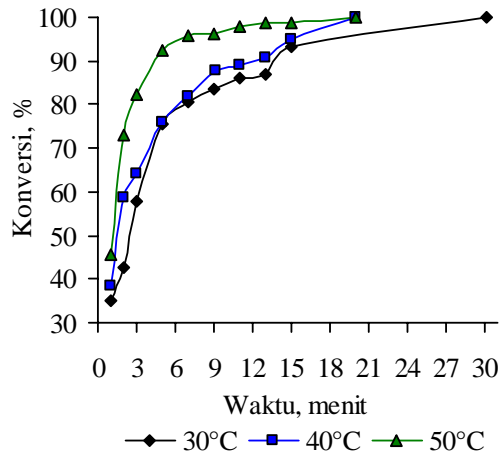
Pengaruh temperatur terhadap transesterifikasi minyak sawit dikaji pada konsentrasi katalis 0,5 dan 1 % b/b KOH/minyak sawit, rasio molar metanol/minyak sawit 6:1 dan kecepatan pengadukan 2140 rpm. Temperatur divariasi mulai dari 30, 40, dan 50 °C.

Data yang diperoleh seperti disajikan dalam Gambar 4 dan 5. Gambar 4 menunjukkan bahwa pada transesterifikasi dengan konsentrasi katalis 0,5 % b/b KOH/minyak sawit, metil ester terbentuk dengan cepat pada menit ke-1 sampai dengan menit ke-5, kemudian mulai melambat pada menit ke-7 dan menit-menit selanjutnya. Pada transesterifikasi dengan konsentrasi katalis 1% b/b KOH/minyak sawit (Gambar 5) metil ester terbentuk dengan cepat sampai dengan menit ke-3. Hal ini mengindikasikan pada tahap awal reaksi kecenderungan tumbukan antara ion metoksida dengan molekul trigliserida lebih besar sehingga laju pembentukan metil ester terjadi dengan cepat.

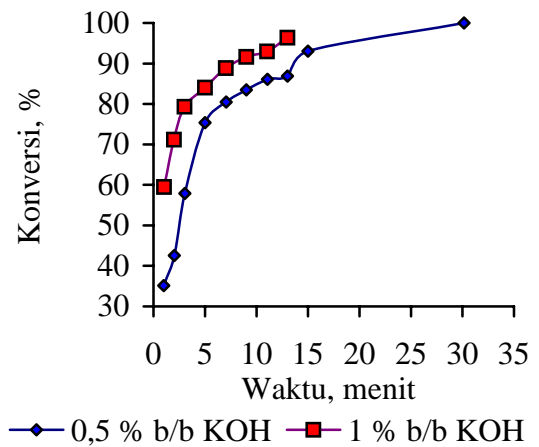
Pengaruh Konsentrasi Katalis

Pengaruh konsentrasi katalis terhadap konversi metil ester dalam transesterifikasi minyak sawit dikaji pada rasio molar metanol terhadap minyak sawit 6:1, kecepatan pengadukan 2140 rpm, dan temperatur 30 °C. Konsentrasi katalis yang digunakan adalah 0,5 dan 1% b/b KOH/minyak sawit.

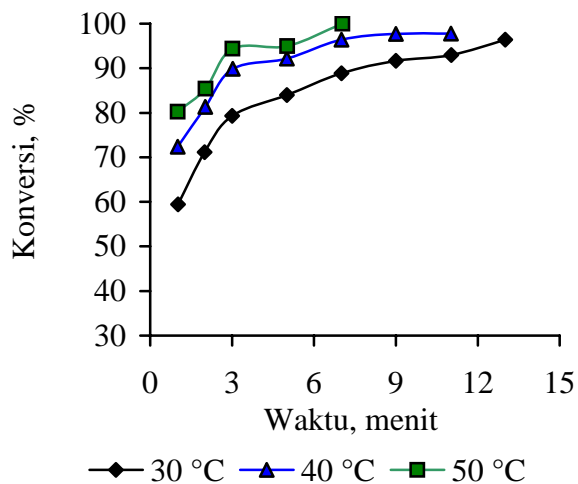
Gambar 6 menunjukkan hubungan produk metil ester dengan waktu untuk masing-masing konsentrasi katalis. Pembentukan metil ester lebih cepat pada konsentrasi katalis 1% b/b KOH/minyak sawit dibandingkan pada konsentrasi katalis 0,5% b/b KOH/minyak sawit. Pada menit ke-13 untuk konsentrasi katalis 1% b/b KOH/minyak sawit telah menghasilkan konversi metil ester 96,39 %, sedangkan untuk konsentrasi katalis 0,5% b/b KOH/minyak sawit



Gambar 4. Pengaruh temperatur terhadap konversi metil ester pada transesterifikasi minyak sawit dengan konsentrasi katalis 0,5% b/b KOH/minyak sawit



Gambar 6. Pengaruh konsentrasi katalis KOH terhadap konversi metil ester dalam transesterifikasi minyak sawit dengan metanol



Gambar 5. Pengaruh temperatur terhadap konversi metil ester pada transesterifikasi minyak sawit dengan konsentrasi katalis 1% b/b KOH/minyak sawit

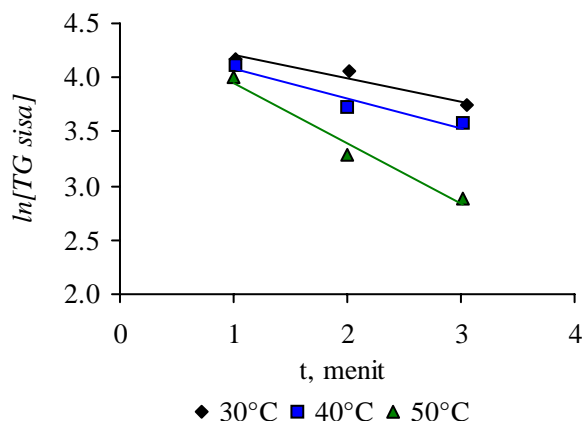
pada menit ke-13 baru menghasilkan konversi metil ester 86,86%. Hal ini terkait dengan jumlah spesies ion metoksida dalam sistem. Konsentrasi katalis 1% b/b KOH/minyak sawit akan menghasilkan spesies ion metoksida yang lebih banyak dibandingkan konsentrasi katalis 0,5% b/b KOH/minyak sawit, sehingga terdapat ion metoksida yang lebih banyak untuk menyerang molekul-molekul trigliserida.

Kinetika Transesterifikasi

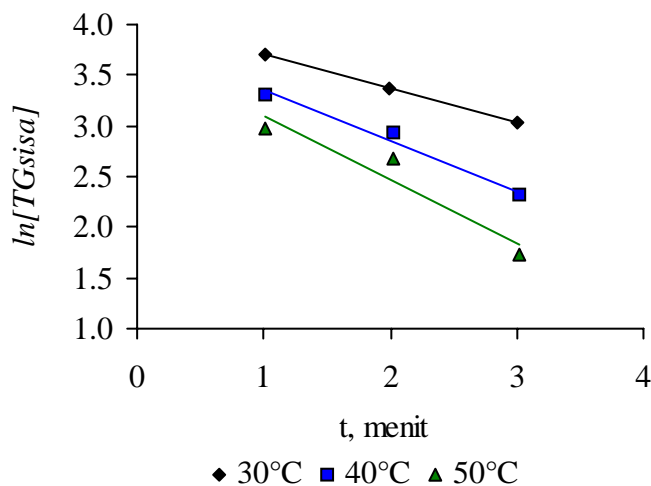
Telah dilakukan transesterifikasi minyak sawit dengan rasio molar metanol terhadap minyak sawit 6 : 1, konsentrasi katalis 0,5 dan 1% b/b KOH/minyak sawit, kecepatan pengadukan 2140 rpm, dan variasi temperatur 30, 40, dan 50 °C. Proses transesterifikasi

diamati dari pembentukan metil ester dari waktu ke waktu. Dalam tinjauan ini pembentukan metil ester diamati setiap menit sampai menit ke-3. Hal ini dilakukan untuk memperoleh data yang lebih representatif, di mana sampai dengan menit ke-3 terjadi pembentukan metil ester dengan cepat (Gambar 4 dan 5). Trigliserida yang belum bereaksi (TG_{sisal}) ditentukan dengan melakukan pengurangan trigliserida awal dengan metil ester yang terbentuk. Dalam transesterifikasi trigliserida dengan metanol, 1 mol trigliserida bereaksi dengan 3 mol metanol untuk menghasilkan 3 mol metil ester dan 1 mol gliserol melalui reaksi kesetimbangan. Dalam penelitian ini transesterifikasi dilakukan pada rasio molar metanol terhadap minyak sawit 6:1. Dengan kondisi metanol berlebih, maka konsentrasi metanol dianggap konstan dan reaksi diasumsikan mengikuti kinetika orde satu-semu. Berdasarkan asumsi tersebut maka dapat dibuat hubungan antara $\ln[TG_{\text{sisal}}]$ dengan t sehingga diperoleh garis linear dengan kemiringan garis sebagai konstanta laju transesterifikasi untuk masing-masing temperatur, seperti yang disajikan pada Gambar 7 dan 8.

Berdasarkan kemiringan garis pada Gambar 7 dan 8 tampak bahwa laju transesterifikasi minyak sawit semakin besar seiring dengan peningkatan temperatur. Konstanta laju reaksi untuk masing-masing temperatur seperti disajikan dalam Tabel 3. Secara keseluruhan hubungan antara $\ln[TG_{\text{sisal}}]$ dengan t menghasilkan garis lurus dengan koefisien determinasi (R^2) di atas 0,9 sehingga dapat dikatakan bahwa asumsi transesterifikasi minyak sawit dengan metanol menggunakan katalis KOH (kecepatan pengadukan 2140 rpm, rasio molar metanol terhadap minyak sawit 6 : 1, variasi temperatur 30, 40, dan 50 °C dan variasi konsentrasi katalis 0,5 dan 1% b/b KOH/minyak sawit)



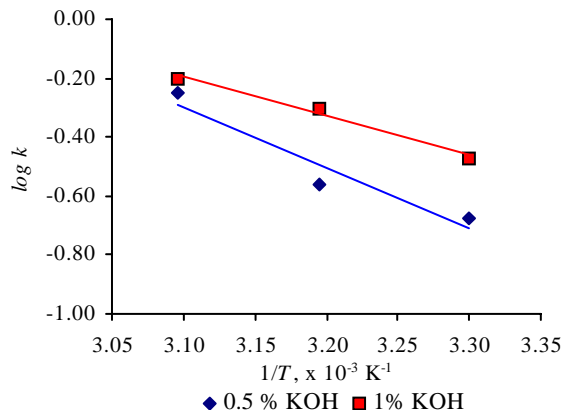
Gambar 7. Hubungan $\ln[TG_{sisa}]$ dengan t pada transesterifikasi minyak sawit dengan konsentrasi katalis 0,5% b/b KOH/minyak sawit



Gambar 8. Hubungan $\ln[TG_{sisa}]$ dengan t pada transesterifikasi minyak sawit dengan konsentrasi katalis 1% b/b KOH/minyak sawit

mengikuti reaksi order satu-semu didukung oleh data eksperimen.

Energi aktivasi dan faktor praeksponensial Arrhenius ($k = Ae^{-E_a/RT}$) ditentukan dengan melakukan plot antara $\log k$ dengan $1/T$, di mana T adalah



Gambar 9. Hubungan $\log k$ dengan $1/T$ pada transesterifikasi minyak sawit

temperatur absolut, seperti disajikan pada Gambar 9. Energi aktivasi dihitung berdasarkan kemiringan garis ($-E_a/2,303R$) dan diperoleh energi aktivasi untuk transesterifikasi dengan konsentrasi katalis 0,5 % b/b KOH/minyak sawit = 9,38 kkal. mol^{-1} dan untuk konsentrasi katalis 1% b/b KOH/minyak sawit = 6,01 kkal. mol^{-1} . Data tersebut memberikan penjelasan bahwa dengan konsentrasi katalis 1% b/b KOH/minyak sawit reaksi berjalan lebih cepat dibandingkan dengan konsentrasi katalis 0,5% b/b KOH/minyak sawit (ditunjukkan oleh energi aktivasi yang lebih rendah).

Faktor praeksponensial (A) ditentukan dari intersep garis ($\log A$) dan diperoleh faktor praeksponensial untuk transesterifikasi dengan konsentrasi katalis 0,5 % b/b KOH/minyak sawit = $8,74 \times 10^{13} \text{ min}^{-1}$ dan untuk konsentrasi katalis 1 % b/b KOH/minyak sawit = $8,36 \times 10^8 \text{ min}^{-1}$. Penurunan nilai faktor praeksponensial dari konsentrasi katalis 0,5% b/b KOH/minyak sawit dibandingkan dengan konsentrasi katalis 1% b/b KOH/minyak sawit terjadi karena jumlah spesies metanol dalam sistem pada konsentrasi katalis 1% b/b KOH/minyak sawit lebih sedikit dibandingkan spesies metanol dalam sistem pada konsentrasi katalis 0,5% b/b KOH/minyak sawit.

Tabel 3. Konstanta laju reaksi transesterifikasi minyak sawit

Temperatur, °C	Konstanta laju reaksi (k), min^{-1} dan koefisien determinasi (R^2)			
	0,5% b/b KOH/minyak sawit	R^2	1% b/b KOH / minyak sawit	R^2
30	0,2119	0,9439	0,3386	0,9997
40	0,2733	0,9292	0,4972	0,9834
50	0,5586	0,9773	0,6279	0,9126

Keterangan : R^2 terkait dengan plot $\ln\{TG\}$ lawan t .

KESIMPULAN

Berdasarkan data eksperimen dalam kajian kinetika transesterifikasi minyak sawit dengan metanol menggunakan katalis KOH ini dapat disimpulkan bahwa transesterifikasi minyak sawit dengan rasio molar metanol terhadap minyak sawit 6:1, kecepatan pengadukan 2140 rpm, variasi temperatur: 30, 40, dan 50 °C dan variasi konsentrasi katalis: 0,5 dan 1% b/b KOH/minyak sawit menunjukkan kesesuaian dengan kinetika reaksi order satu-semu. Laju reaksi meningkat seiring dengan peningkatan temperatur dan konsentrasi KOH. Energi aktivasi (E_a) transesterifikasi minyak sawit dengan konsentrasi katalis 1% b/b KOH/minyak sawit lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi katalis 0,5% b/b KOH/minyak sawit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PUSDIKLAT MIGAS CEPU yang telah memberikan dukungan dan bantuan dana dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Sayles, S., and Ohmes, R., 2005, *Hydrocarbon Process.*, 2, 84, 39-43.
- Knothe, G., Dunn, R. O., and Bagby, M. O., 1997, *Biodiesel: The Use of Vegetable Oils and Their Derivatives as Alternative Diesel Fuels*, Fuels and Chemicals from Biomass, *ACS Symposium Series*, V, 666.
- Srivastava, A. and Prasad, R., 2000, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 4, 111-133.
- Schuchardt, U., Sercheli R., and Vargas, R. M., 1998, *J. Braz. Chem. Soc.*, 9, 1, 199-210.
- Pinto, A. C., Guarieiro, L. L. N., Rezende, M. J. C., Ribeiro, N. M., Torres, E. A., Lopes, W. A., de P. Pereira, P. A., and de Andrade, J. B., 2005, *J. Braz. Chem. Soc.*, 16, 6B, 1313-1330.
- Ma, F., and Hanna, M. A., 1999, *Bioresour. Technol.*, 70, 1-15.
- Yoeswono, Tahir, I., and Triyono, 2007, *The Use of Ash of Palm Empty Fruit Bunches as a Source of Base Catalyst for Synthesis of Biodiesel from Palm Kernel Oil*, Proc. of the 1st International Conference on Chemical Sciences, Yogyakarta.
- Foon, C. S., May, C. Y., Ngan, M. A., and Hock, C. C., 2004, *J. Oil Palm Res.*, 16, 2, 19-29
- Darnoko, D., and Cheryan, M., 2000, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 77, 19574, 1263-1267.
- Encinar, J. M., Gonzalez J. F., Rodriguez, J. J., and Tejedor A., 2002, *Energy Fuels*, 16, 443-450.
- Noureddini, H. and Zhu, D., 1997, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 74, 11, 1457-1463.
- Kurata, S., Yamaguchi, K., and Nagai, M., 2005, *Jpn. Soc. Anal. Chem.*, 21, 1457-1465.
- Knothe, G., 2000, *M J. Am. Oil Chem. Soc.*, 77, 9483, 489-493.
- May, C. Y., 2004, *J. Oil Palm Res.*, 16, 2, 1-11.