SEMINAR NASIONAL TEKNIK KIMIA INDONESIA 2006 **ISBN 979-97893-0-3**
Palembang, 19-20 Juli 2006
bersamaan dengan Seminar Nasional
Rekayasa Kimia dan Proses 2006 (Undip), Soehadi Reksowardojo 2006 (ITB)
Fundamental & Aplikasi Teknik Kimia 2006 (ITS), Teknologi Proses Kimia 2006 (UI),
dan Seminar Teknik Kimia Anggota APTEKINDO 2006

EFFECT OF CATALYST AND FEED RATIO TO CPO CONVERSION IN BIODIESEL PROCESS

Tuti Indah Sari, M. Said, dan Mulkan Hambali
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Prabumulih Km. 32 Inderalaya OKI, Sumatera-Selatan
E-mail: ty_indahsari@yahoo.co.id

Abstract

Process of alcoholises between Crude Palm Oil (CPO) and methanol with HCl as catalyst was conducted in a batch reactor equipped with heater, thermometer, and sampling apparatus to produce methyl ester for bio diesel. Bio diesel produced could be used as alternative fuel regarding with energy diversification using renewable fuel.

Process variables included ratio of CPO and methanol, that is 1 : 3, 1 : 5, and 1 : 7, reaction temperature of 70, 90 , and 110 ^{0}C, and reaction time of 20, 40, 60 minutes. HCL 37 % was used as catalyst with the amount of 2 % from volume of CPO and agitation of 100 rpm. The amount of glycerol formed, free fatty acid, and total fatty acid were analyzed to determine conversion of the reaction.

The amount of conversion was influenced by ratio of CPO and methanol, temperature, and reaction time. The conversion increased with the increase of ratio of CPO and methanol, temperature, and reaction time. The highest conversion of 70.4 % was found at the ratio of CPO and methanol, temperature, and reaction time of 1:7, 110 0C, and 60 minutes, respectively. Reaction kinetic constant increased as reaction temperature elevated. The highest reaction constant of 1,080x10^{-2} minutes^{-1} was found at 110 ^{0}C.

Keywords: *CPO, bio diesel, alcoholises, kinetic reaction.*

1. PENDAHULUAN

Minyak tumbuh-tumbuhan (vegetable oil) dan turunan ester telah menjadi perhatian para peneliti untuk dipertimbangkan sebagai bahan bakar mesin-mesin diesel. Rudolf Diesel 1912, dalam Downey (1989) memperkenalkan minyak tumbuh-tumbuhan sebagai bahan bakar "compression ignition engine". Minyak kelapa sawit merupakan minyak tumbuh-tumbuhan yang memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi bahan bakar diesel alternatif. Pertimbangan penggunaan minyak kelapa sawit sebagai bahan baku untuk pembuatan bahan bakar diesel karena minyak kelapa sawit merupakan komoditi untuk menghasilkan sumber energi yang terbarukan (renewable). Selain minyak kelapa sawit yang digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan bahan bakar diesel, minyak bunga matahari dan minyak jarak dapat pula digunakan sebagai bahan bakar diesel.

Indonesia mempunyai potensi yang besar untuk mengembangkan biodiesel dari minyak kelapa sawit. Hal ini dikarenakan Negara ini memiliki perkebunan kelapa sawit yang besar dengan produksi CPO (Crude Palm Oil) sebesar 10,68 juta ton/tahun. Dengan semakin tingginya harga minyak bumi akhir-akhir ini yang mencapai US$ 70 per barrel, sudah saatnya Indonesia mengembangkan biodiesel, baik untuk konsumsi dalam negeri maupun untuk ekspor. Biodiesel dapat mengurangi impor solar Indonesia yang kini sudah mencapai sekitar 30% dari kebutuhan (7,2 juta ton per tahun).

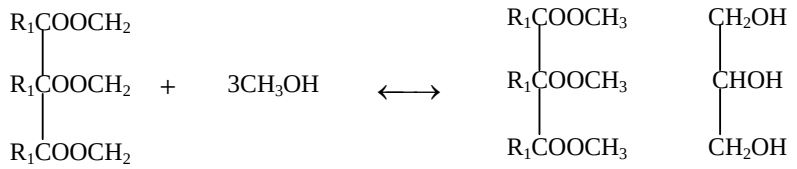
Minyak kelapa sawit dapat diolah menjadi bahan bakar diesel yang bersifat ramah lingkungan. Biodiesel dinilai memiliki banyak keunggulan dibanding bahan bakar minyak bumi (fosil). Selain lebih ramah lingkungan, biodiesel lebih efisien karena memiliki cetane number yang tinggi (melebihi 50) sehingga mesin dapat bekerja lebih halus dan emisi buangnya jauh lebih sedikit. Kehadiran biodiesel, juga diharapkan dapat mengurangi beban pemerintah dalam pengeluaran subsidi terhadap bahan bakar minyak (BBM). Minyak kelapa sawit mengandung asam lemak bebas yang dapat dimanfaatkan dalam

pembuatan oleokimia dasar seperti metil ester yang dapat menggantikan minyak diesel sebagai bahan bakar alternative.

Minyak kelapa sawit merupakan komoditi yang potensial dalam meningkatkan devisa negara dan telah diproduksi dalam jumlah yang besar terutama di Provinsi Sumatera Selatan. Minyak kelapa sawit mengandung asam lemak bebas yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan oleokimia dasar seperti metil ester yang dapat menggantikan minyak diesel sebagai bahan bakar alternatif. Maka permasalahan yang dihadapi dalam penelitian ini adalah bagaimana mendapatkan konversi yang maksimal melalui pengaturan kondisi operasi seperti waktu reaksi, temperatur dan rasio reaktan, serta mendapatkan data kinetika reaksi yang dibutuhkan dalam desain reaktor.

2. Fundamental

Reaksi antara minyak kelapa sawit dan metanol berlangsung menurut reaksi sebagai berikut:



Trigliserida	+	3 Alkohol	⟷	Metil Ester	+	Gliserol
A	+	3 B	⟷	C	+	D

Karena reaksi ini berlangsung dalam waktu yang singkat dan metanol yang digunakan berlebihan maka kecepatan reaksi ke kiri dapat diabaikan, sehingga reaksinya menjadi :

A + 3 B → C + D

Persamaan kecepatan reaksi dengan asumsi orde 1 terhadap minyak maka :

$$-r_A = -\frac{d\,C_A}{d\,t} = k\,C_A$$

$$-\int_{C_{A_0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = k\int_0^t dt$$

$C_A = C_{Ao}\,(1 - x) = C_{Ao} - C_{Ao}\,x$

$$d\,C_A = -C_{A_0}\,dx$$

$$-\int_0^x \frac{-C_{Ao}\,dx}{C_{A_0}\,(1-x)} = k\,t$$

$$\int_0^x \frac{dx}{1-x} = k\,t$$

Dengan memisalkan 1- x = u, du = - dx

$$-\int_0^x \frac{du}{u} = k\,t$$

$$-\ln u\,\Big|_o^x = k\,t$$

$$-\ln(1-x)\,\Big|_o^x = k\,t$$

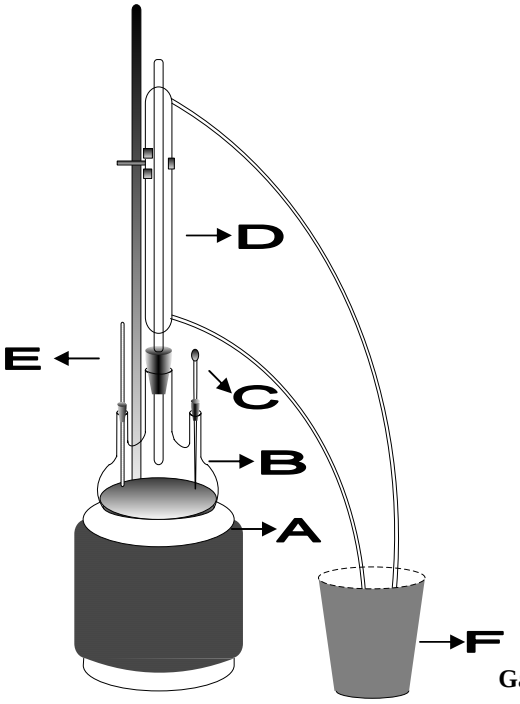
$$-\ln(1-x) = k\,t$$

Nilai konstanta kinetika reaksi, k ditentukan dari slope kurva -ln (1- x) versus waktu t.

3. Metodologi

Bahan baku yang digunakan adalah minyak kelapa sawit (CPO) yang didapat dari PT. Sinar Mas Sejahtera, metanol 96 %, HCl yang digunakan sebagai katalis, asam asetat anhidrida, natrium asetat, NaOH dan Phenolphtalin.

Peralatan yang digunakan meliputi Labu Leher Tiga dengan pengaduk, Heating Mantle, Water Bath, Condenser, Pompa, Thermometer, Gelas Ukur, Centrifuge, Neraca Analitis, Erlenmeyer, Buret Digital, dan alat-alat lainnya seperti pipet dan erlenmeyer. Rangkaian peralatan yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Gambar 1.



Keterangan :

A = Heating Mantle
E = Thermometer
B = Labu Leher Tiga
F = Air Es
C = Pipet Tetes
D = Kondenser

Gambar 1. Rangkaian Alat dalam Proses Pembuatan Metil Ester

Perlakuan dan Rancangan Percobaan Kajian

Perlakuan Percobaan

Proses Alkoholisis minyak kelapa sawit dilakukan dengan memberikan perlakuan minyak kelapa sawit dengan metanol dengan perbandingan 1:3, 1:5, 1:7 dan ditambahkan katalis HCl 37 % sebanyak 2 % dalam reaktor berpengaduk. Temperatur reaksi divariasikan dari, 70 ^{o}C, 90 ^{o}C, dan 110 ^{o}C, sedangkan waktu reaksi divariasikan dari 20, 40, 60 menit. Konversi reaksi ditentukan pada berbagai variasi temperatur dan waktu reaksi serta katalis.

Rancangan Penelitian

Konversi reaksi merupakan fungsi waktu reaksi dan temperatur reaksi. Waktu reaksi divariasikan dari 20 sampai 60 menit dengan interval waktu 20 menit; sedangkan temperatur reaksi divariasikan dari 70 sampai 110 ^{o}C dengan interval 20 ^{o}C dan rasio reaktan minyak sawit dengan metanol 1 : 3, 1 : 5, 1 : 7. Jumlah run penelitian adalah 27.

Prosedur Penelitian

1. Masukkan minyak kelapa sawit dan metanol dengan perbandingan minyak kelapa sawit dan metanol 1 : 3.
2. Tambahkan katalis HCl ke dalam campuran minyak kelapa sawit dan metanol 2 % dari volume minyak sawit. Asam Klorida yang digunakan 37 % dan rapat massanya 1,19 gr/ml
3. Temperatur pada heating mantle diset pada 70°C dan heating mantle dinyalakan.
4. Setelah temperatur yang diinginkan tercapai, ambil sampel setiap 20 menit selama 60 menit sebanyak kurang lebih 15 ml, kemudian didinginkan.
5. Masukkan ke dalam tabung reaksi dan biarkan selama satu malam agar terjadi dua lapisan, yaitu metil ester yang berada di lapisan atas dan gliserol yang berada di lapisan bawah, agar pemisahan lebih bagus maka campuran dipisahkan lagi dengan Centrifuge. Metil ester yang berada di lapisan atas diambil dengan menggunakan pipet.
6. Metil ester dan gliserol yang didapat dianalisa sifat-sifat fisik dan kimianya.
7. Prosedur 1 sampai dengan 6 diulangi untuk perbandingan minyak kelapa sawit dan metanol 1 : 5 dan 1:7 dan temperatur reaksi 90^{0}C dan 110 ^{0}C.

Analisa Hasil

1. Kadar gliserol yang akan dianalisa dengan metode Asetin (Griffin, 1955).

2. Metil ester yang akan dianalisa spesifikasinya sebagai bahan bakar diesel dengan menggunakan metode ASTM (American Society for Testing Material).

4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian yang dilakukan meliputi pengaruh temperatur, rasio reaktan, dan waktu reaksi terhadap konversi. Hasil dari penelitian yaitu berupa metil ester yang sifat-sifat fisisnya diuji dengan metode ASTM (*American Society for Testing Material)* di Laboratorium penguji Pertamina UP-III Palembang. Hasil uji fisis methyl ester yang diperoleh dibandingkan dengan spesifikasi minyak diesel.

Pada penelitian ini, variasi temperatur yang digunakan adalah 70, 90, dan 110 ^{o}C. Rasio reaktan yang divariasikan adalah rasio Minyak : Metanol adalah 1 : 3, 1 : 5 dan 1 : 7 (mgek methanol/mgek minyak). Persentase katalis yang digunakan adalah 2 % dari volume minyak kelapa sawit. Variasi temperatur, waktu reaksi dan rasio Methanol dan Minyak digunakan untuk mendapatkan konversi yang paling tinggi dari semua variasi yang digunakan.

Konversi Reaksi

Pengaruh Waktu Reaksi

Hasil penelitian dengan variasi waktu dibuat dalam bentuk grafik antara konversi dan waktu sebagaimana yang disajikan pada Gambar 3.1 sampai dengan Gambar 3.3. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin lama waktu reaksi maka nilai konversi akan semakin bertambah. Hal ini disebabkan karena kesempatan tumbukan antar molekul akan semakin besar dengan bertambahnya waktu reaksi, dengan kondisi tersebut mengakibatkan konversi reaksi semakin bertambah.

Seperti pada Gambar 3.1, 3.2, dan 3.3, dapat dilihat kenaikan konversi akibat pertambahan waktu dengan memvariasikan rasio reaktan dan temperatur reaksi. Dari Gambar 3.1, pada temperatur 70 ^{0}C dengan variasi rasio reaktan, konversi yang didapat adalah 21,5 % sampai 43,1 % dalam waktu 60 menit. Pada gambar 3.2, untuk temperatur 90 ^{0}C dengan variasi rasio reaktan, konversi yang dihasilkan adalah 21,8 % sampai 49,2 % dalam waktu 60 menit. Sedangkan pada Gambar 3.3, untuk temperatur 110 ^{0}C dengan variasi rasio reaktan, konversi yang dihasilkan adalah 24,6 % sampai 70,4 % dalam waktu 60 menit.

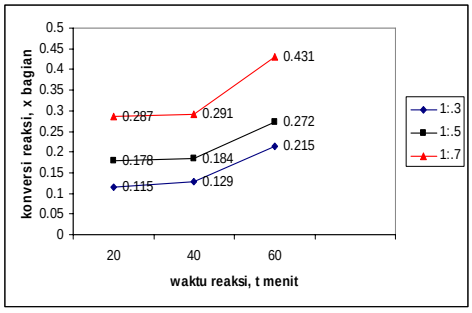
Pengaruh Rasio Reaktan

Dari Gambar 3.1 sampai dengan 3.3 dapat dilihat dengan jelas bagaimana hubungan antara konversi dan waktu dengan variasi rasio reaktan, sedangkan variabel yang lain seperti katalis dibuat tetap. Rasio antara reaktan minyak : metanol yang divariasikan adalah 1 : 3 , 1 : 5, 1 : 7, sedangkan waktu reaksi adalah 20 sampai 60 menit. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin besar rasio reaktan maka konversi reaksi pun akan semakin meningkat. Hal ini terjadi karena dengan adanya peningkatan rasio reaktan maka tumbukan antara molekul yang menghasilkan produk juga akan semakin meningkat. Sesuai dengan teori kinetika, bahwa semakin besar konsentrasi pereaksi maka jumlah tumbukan antara molekul pereaksi semakin besar pula.

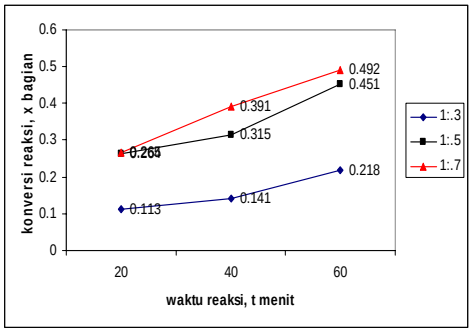
Dari Gambar 3.1, pada temperatur 70 ^{0}C dengan variasi rasio reaktan, konversi yang didapat adalah 21,5 % sampai 43,1 % dalam waktu 60 menit. Pada Gambar 3.2, untuk temperatur 90 ^{0}C dengan variasi rasio reaktan, konversi yang dihasilkan adalah 21,8 % sampai 49,2 % dalam waktu 60 menit. Sedangkan pada Gambar 3.3, untuk temperatur 110 ^{0}C dengan variasi rasio reaktan, konversi yang dihasilkan adalah 24,6 % sampai 70,4 % dalam waktu 60 menit. Pada ratio reaktan 1:7 dan temperatur 110 oC, diperoleh konversi reaktan tertinggi yaitu 70,4 %.

Pengaruh Temperatur

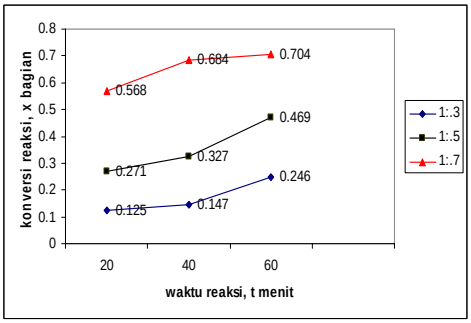
Konversi dipengaruhi oleh temperatur reaksi sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 3.1 sampai dengan Gambar 3.3. Konversi reaksi mengalami kenaikan sejalan dengan peningkatan temperatur reaksi. Pada rasio reaktan 1:7 dan waktu reaksi 60 menit, konversi mengalami peningkatan dari 43,1 % sampai dengan 70,4 % dengan meningkatnya suhu reaksi dari 70 ^{0}C sampai dengan 110 ^{0}C. Hal ini disebabkan oleh peningkatan laju reaksi pada temperatur yang lebih tinggi sehingga reaktan yang terkonversi menjadi lebih banyak.



Gambar 2. Pengaruh Waktu Reaksi terhadap Konversi pada Temperatur 70 ^{o}C dengan berbagai Rasio Reaktan



Gambar 3. Pengaruh Waktu Reaksi terhadap Konversi pada Temperatur 90 ^oC dengan berbagai Rasio Reaktan



Gambar 4. Pengaruh Waktu Reaksi terhadap Konversi pada Temperatur 110 ^oC dengan berbagai Rasio Reaktan

Kinetika Reaksi

Reaksi antara minyak kelapa sawit dan metanol berlangsung menurut reaksi sebagai berikut:

$$\begin{array}{l} R_1COOCH_2 \\ | \\ R_1COOCH_2 \\ | \\ R_1COOCH_2 \end{array} + 3CH_3OH \longleftrightarrow \begin{array}{l} R_1COOCH_3 \\ | \\ R_1COOCH_3 \\ | \\ R_1COOCH_3 \end{array} \quad \begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OH \end{array}$$

Trigliserida + 3 Alkohol $\longleftrightarrow$ Metil Ester + Gliserol

A + 3 B $\rightarrow$ C + D

Nilai konstanta kinetika reaksi, k ditentukan dari slope kurva -ln (1- x) versus waktu t. Nilai k pada temperatur 70, 90, dan 110 ^oC untuk rasio reaktan 1 : 7 disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Konstanta Kinetika Reaksi

Temperatur (^oC)	k (1/menit)
70	5.380×10^{-3}
90	9.225×10^{-3}
110	1.080×10^{-2}

Energi aktivasi ditentukan dari persamaan Arrhenius:

$$k = A\, e^{-E/RT}$$

$$\ln k = \ln A - E/RT$$

dimana :

E = energi aktivasi, dan

A = faktor frekuensi.

Dengan membuat grafik antara ln k versus 1/T menggunakan data pada Tabel 3.2.2 didapat nilai E dari slope dan A dari intersep.

Tabel 2. Tabel Untuk menentukan Nilai Energi Aktivasi.

T (K)	1/T	k (1/menit)	ln k
343.15	0.00291	0.00538	-5.225
363.15	0.00275	0.00922	-4.686
383.15	0.00261	0.0108	-4.528

$$\text{Slope} = \frac{\Delta \ln k}{\Delta(1/T)}$$

$$\text{Slope} = \frac{-5.225 - (-4.528)}{0.003 - 0002675}$$

$$= \frac{-0{,}697}{0{,}000325}$$

$$= -2144{,}6 \text{ K/ menit}$$

Energi aktivasi didapat dari : Slope = $-\dfrac{E}{R}$

dimana R = konstanta gas = 8.314 J/mol K. E = -(Slope) R = 17830, 20 J/mol.menit

Sedangkan untuk mendapatkan nilai faktor frekuensi (A) didapat dari nilai interseptnya atau menggunakan persamaan :

$$\text{Intercept} = A = \frac{\Sigma X^2 \Sigma Y - \Sigma X \ \Sigma XY}{n \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$$

dimana X = 1/T dan Y = ln k.

No.	X	Y	X^2	XY
1	0.00291	-5.225	8.468×10^{-6}	-0.0152
2	0.00275	-4.686	7.562×10^{-6}	-.0.0129
3	0.00261	-4.528	6.812×10^{-6}	-0.0118
Σ	0.00827	-14.439	2.2842×10^{-5}	-0.0399

$$A = \frac{2.2842 x10^{-5} (-14.439) - 0.00827 (-0.0399)}{3 (2.2842 x10^{-5}) - (0.00827)^2}$$

= 1,587 1/menit.

Pengujian Sifat Fisis Metil Ester

Metil ester yang dihasilkan kemudian diuji sifat fisisnya dengan metode ASTM (American Society for Testing and Materials) di laboratorium Pertamina UP-III Plaju. Lalu hasil pengujian sifat fisis tersebut dibandingkan dengan spesifikasi bahan bakar Diesel dari Pertamina.

a. Spesific gravity

Bahan bakar mesin Diesel mempunyai specific gravity 0,820 – 0,920. Metil ester yang dihasilkan mempunyai specific gravity 0,9099, dengan demikian jika ditinjau dari specific gravity metil ester maka sudah termasuk dalam standar sifat fisis bahan bakar mesin Diesel. Penggunaan specific gravity ini adalah untuk mengukur massa minyak bila volumenya telah diketahui. Specific gravity juga berhubungan dengan nilai kalor. Jika nilai specific gravity rendah, maka nilai kalornya semakin besar jika dinyatakan dalam persatuan berat (sesuai dengan standar mutu sifat fisis bahan bakar mesin Diesel).

b. Kinematic viscosity

Viskositas kinematik pada 100^0F bahan bakar mesin Diesel adalah 1,6 – 5,8 cSt. Sedangkan viskositas metil ester yang dihasilkan adalah 2,961 cSt. Hal ini sudah memenuhi standar sifat fisis bahan bakar mesin Diesel. Viskositas bahan bakar minyak sangat penting artinya terutama bagi mesin-mesin Diesel maupun ketel uap. Jika terlalu viscous, bahan bakar tidak akan terbakar dalam waktu singkat dan unjuk kerja mesin akan menurun. Sedangkan jika viskositas terlalu rendah maka akan merusak sistem injektor dan terjadi penyalaan sendiri (self ignition).

c. Pour point

Titik tuang bahan bakar mesin Diesel maksimum 65 ^{0}F, sedangkan titik tuang metil ester 60 ^{0}F dengan demikian telah memenuhi standar sifat fisis bahan bakar Diesel. Titik tuang adalah suatu angka yang menyatakan temperatur terendah dari bahan bakar minyak, sehingga minyak masih dapat mengalir karena adanya gaya gravitasi.

d. Flash point

Titik nyala bahan bakar mesin Diesel minimum 150 ^{0}F dan titik nyala metil ester sendiri adalah 88 ^{o}F, dengan demikian belum memenuhi standar. Titik nyala dibutuhkan untuk pertimbangan-pertimbangan keamanan dari penimbunan dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap bahaya kebakaran.

e. Colour ASTM

Warna ASTM bahan bakar minyak diesel minimum 6, sedangkan warna ASTM metil ester hasil penelitian adalah 7.5 dengan demikian telah memenuhi standar. Warna ASTM tidak berpengaruh terhadap persyaratan pemakaian bahan bakar minyak untuk mesin diesel atau ketel uap.

f. Water content

Sifat fisis ini berpengaruh terhadap persyaratan pemakaian bahan bakar minyak solar dan minyak diesel atau ketel uap, karena dapat menyebabkan pembakaran yang kurang sempurna. Dan bila kontak dengan oksida belerang akan menyebabkan korosi terhadap logam-logam dalam ruang bakar. Water content minyak diesel max 0,25 %wt, sedangkan air yang terkandung didalam metil ester adalah 0,00786 %wt. Nilai ini sangat kecil sehingga sudah memenuhi standar spesifikasi minyak diesel.

g. Nilai Kalori

Nilai kalor dari metil ester yang dihasilkan dari penelitian ini adalah 19.054 btu/lb setelah dikonversi = 10.575 kkal/kg sedangkan nilai kalor bahan bakar minyak pada umumnya antara 10.160 – 11.000 kkal/kg maka nilai kalor metil ester ini sudah memenuhi standar. Nilai

kalor adalah suatu angka yang menyatakan jumlah kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara/oksigen. Nilai kalor ini dibutuhkan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan untuk suatu mesin dalam suatu periode.

h. Ash Content

Kadar abu adalah jumlah sisa dari minyak yang tertinggal, apabila suatu minyak dibakar sampai habis. Ash content minyak diesel dalam spesifikasi maksimum 0.02 % wt, sedangkan metil ester mempunyai ash content 0,001 % wt sehingga telah memenuhi standar.

i. Sulfur Content

Sulfur content minyak diesel maksimum 1,5 % wt. Metil Ester hasil penelitian memiliki sulfur content 0,002 %wt sehingga telah memenuhi standar. Keberadaan belerang dalam bahan bakar minyak tidak diharapkan, karena dapat merusak. Sehingga jumlah belerang dalam bahan bakar minyak harus diatasi. Selama pembakaran, belerang teroksidasi oleh oksigen menjadi belerang oksida. Jika terjadi kontak antara oksida belerang dengan air, maka akan menyebabkan korosi terhadap logam-logam didalam ruang bakar.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan seperti yang telah diuraikan diatas, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Reaksi alkoholisis minyak kelapa sawit dan metanol dengan menggunakan katalis HCl 37 % dapat menghasilkan Metil Ester yang merupakan bahan bakar alternatif.
2. Semakin tinggi temperatur maka konversi yang dihasilkan semakin besar, demikian pula dengan rasio reaktan. Pada penelitian ini, konversi tertinggi yaitu sebesar 70,4 % dicapai pada temperatur 110°C dengan rasio reaktan metanol : minyak kelapa sawit 7 : 1.
3. Semakin lama waktu reaksi maka semakin besar konversi yang dihasilkan. Pada penelitian ini, konversi terbesar adalah 70,4 % yang berlangsung selama 60 menit.
4. Konstanta kinetika reaksi mengalami peningkatan sejalan dengan kenaikan temperatur reaksi. Pada temperatur 110 0C dicapai konstanta kinetika reaksi tertinggi yaitu sebesar 1,080x10^{-2} menit^{-1}.
5. Berdasarkan hasil pengujian sifat fisis dengan cara ASTM (American Society for Testing and Materials) terhadap metil ester hasil penelitian, ternyata hasil tranesterifikasi minyak kelapa sawit mendekati sifat fisis bahan bakar mesin Diesel produksi Pertamina.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Boyke, L. " Produk Sawit sebagai Bahan Olah Industri", Buletin Perkebunan Kelapa Sawit, 1984-1985.

[2] Faris, Rp.D. "Methyl Ester in The Fatty Acid Industry", Journal of America Oil Chemistry Society 1999.

[3] Hui, Y.H.1996. Bailey's Industrial Oil and Fat Product. Vol. 5, 5 ed. Jhon wiley and sons, New York. P. 33-46.

[4] Meyer, L.H.1976. Food Chemistry. Reinhold Publishing Corporation, New York.

[5] Pertamina, 1997. Bahan Bakar Minyak. Direktorat Pembekalan dan Pemasaran Dalam Negeri.

[6] Perry,R.H. and Green,D. Perrys Chemical Enginering Handbook, 6 ed. P. 3-38.

[7] Puppung, P.L.1985. Beberapa Minyak Nabati yang memiliki Potensi sebagai bahan bakar Alternatif untuk motor diesel. Lembaran Publikasi lemigas, 4. Hal. 34-36.

[8] Puppung, P.L. 1986. Penggunaan Minyak Kelapa Sebagai Bahan Bakar Motor Diesel. Lembaran Publikasi lemigas, 4. Hal. 39-54.