

**KINETIKA REAKSI TRANSESTERIFIKASI
MINYAK BIJI NYAMPLUNG (*Calophyllum inophyllum*)
PADA PROSES PRODUKSI BIODIESEL**

***(Kinetics of Transesterification Reaction of Nyamplung Seed Oil
(Calophyllum inophyllum) in Biodiesel Process Production)***

Oleh/By :

Sahirman¹⁾, A. Suryani²⁾, D. Mangunwidjaja²⁾, Sukardi²⁾ & R. Sudradjat³⁾

¹⁾Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Pertanian (P4TKP), Cianjur

²⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB Bogor

³⁾Pusat Litbang Hasil Hutan, Jl. Gunung Batu No. 5 Bogor Telp./Fax. 8632378/8633413

Diterima 28 Januari 2008, disetujui 9 Desember 2008

ABSTRACT

Biodiesel is an alternative fuel for diesel engines obtained from vegetable oils, animal fats, or waste oils by transesterifying the oil or fat with alcohol such as methanol that can be used directly or mixed with diesel oil. The aim of this research was to determine kinetics transesterification reaction of nyamplung seed oil for biodiesel processing. Kinetics of transesterification was determined at molar ratio of methanol from oil 6:1, catalyst NaOH 1% weight from oil, rate of rotation 400 rpm and time 30 minutes. Results showed that the constants of transesterification reaction rate order one (k) at temperature 302K, 318 K, 333 K and 343 K each successively are 0.0546 minute⁻¹, 0.0663 minute⁻¹, 0.0883 minute⁻¹ and 0.1174 minute⁻¹. Activation energy (E_a) was 3870.5 cal / mol. The rate of reaction transesterification was $r_{(t)} = 32.23 e^{3870.5 / RT} [ME]$. At isothermal temperature 333 K and $k = 0,0883 \text{ minute}^{-1}$, to obtain methyl ester with concentration 2.82 mol / liter (95.17%) the time was required 15.27 minutes.

Keywords : Biodiesel, nyamplung oil, kinetics of transesterification, activation energy, enthalphy.

ABSTRAK

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang dibuat dari minyak sayur, lemak hewan, atau minyak bekas melalui proses transesterifikasi dengan alkohol seperti metanol yang dapat digunakan secara langsung maupun dicampur dengan minyak diesel. Tujuan penelitian ini adalah menentukan kinetika reaksi transesterifikasi minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) pada proses pembuatan biodiesel. Kinetika transesterifikasi digunakan untuk membuat rancangan proses khususnya berkaitan dengan kinerja reaktor. Kinetika reaksi ditentukan pada nisbah molar metanol terhadap minyak 6:1, konsentrasi katalisator NaOH terhadap berat minyak 1%, kecepatan pengadukan 400 rpm, waktu 30 menit dan suhu 302K, 318 K, 333K dan 343 K. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tetapan laju reaksi transesterifikasi orde satu pada suhu 302K, 318 K, 333 K dan 343 K masing-masing berturut-turut adalah 0,0546 menit⁻¹, 0,0663 menit⁻¹, 0,0883 menit⁻¹ dan 0,1174 menit⁻¹. Energi aktivasi

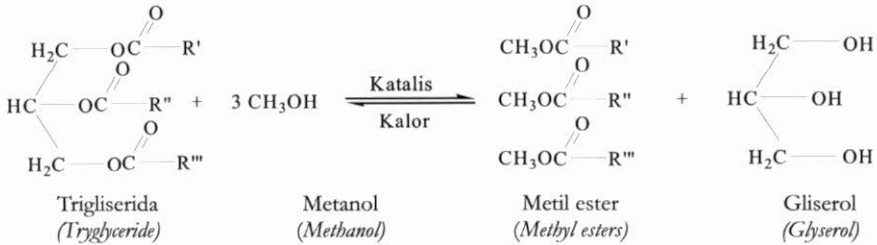
(Ea) adalah 3870,5 cal/mol dan laju reaksi transesterifikasi (r) = $32,23 e^{(-3870,5 / RT)}$ [ME]. Pada kondisi isothermal suhu 333 K dengan harga $k = 0,0883 \text{ menit}^{-1}$, untuk mendapatkan metil ester sebesar 2,82 mol/liter atau 95,17% dibutuhkan 15,27 menit.

Kata kunci : Biodiesel, minyak biji nyamplung, kinetika reaksi transesterifikasi, energi aktivasi, entalpi.

I. PENDAHULUAN

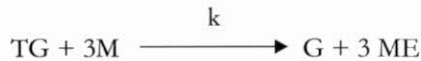
Indonesia memiliki banyak spesies tanaman penghasil minyak yang dapat digunakan sebagai bahan baku biodiesel, akan tetapi minyak yang dihasilkan secara tradisional oleh petani mempunyai kualitas jelek dengan asam lemak bebas atau *Free Fatty Acid* (FFA) yang tinggi. Salah satu jenis minyak tersebut adalah minyak nyamplung yang dihasilkan oleh petani di Kecamatan Ambal, Kabupaten Kebumen, Provinsi Jawa Tengah yang memiliki kadar FFA mencapai 30%. Tanaman nyamplung mempunyai nama daerah bintangor, bintol dan mentangur di Sumatera; bunut, nyamplung, sulatri punaga di Jawa, bentangur, jampelung dan maharunuk di Kalimantan, betau, bintula, pude dan wetai di Sulawesi; serta bintao, bitaur dan petale di Maluku (Martawijaya, *et al.*, 1981). Daerah penyebaran di Indonesia meliputi Sumatera Barat, Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Lampung, Jawa, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Sulawesi, Maluku dan Nusa Tenggara Timur (Martawijaya, *et al.*, 1981). Tanaman nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) termasuk famili: *Clusiaceae*. Inti biji nyamplung mempunyai kandungan minyak yang tinggi yaitu sebesar 75% (Dweek dan Meadows, 2002), 71,4% pada kondisi kering dengan kadar air 3,3% (Heyne, 1987), 40-73% (Soerawidjaja, *et al.*, 2005) dan 55,5% (Wilde, *et al.*, 2004). Minyak nyamplung mempunyai kualitas rendah dengan bilangan asam 59,94 mg KOH/g dan kadar asam lemak bebas 29,53% (Sudradjat, *et al.*, 2007). Pada kondisi demikian minyak nyamplung tidak dapat diproses menjadi biodiesel melalui proses satu tahap (transesterifikasi) akan tetapi harus melalui esterifikasi dan transesterifikasi.

Kualitas minyak nyamplung sebagai bahan baku biodiesel telah berhasil ditingkatkan dengan cara menurunkan kadar FFA dari 26,76% menjadi 6,5% melalui proses esterifikasi pada suhu 60°C selama 1 jam (Sahirman, *et al.*, 2006). Proses esterifikasi yang optimum diperoleh pada kondisi nisbah molar metanol terhadap FFA 20:1, katalis HCl terhadap FFA 6% dan suhu 60°C (Sudradjat, *et al.*, 2007). Proses transesterifikasi dapat dilakukan secara curah (batch) atau sinambung (kontinu) pada suhu 50-70°C (Darnoko, *et al.*, 2001). Menurut Lele (2005) transesterifikasi minyak nabati dapat dilakukan dengan katalis KOH atau NaOH 0.5-1%, temperatur 60-80°C, tekanan 1 atmosfer dan nisbah molar metanol minyak 6:1. Kinetika reaksi transesterifikasi dengan orde dua antara minyak kelapa sawit dan metanol dengan mengabaikan reaksi penguraian metil ester ditentukan oleh Darnoko dan Cheryan (2000) dan Cheng, *et al.*, (2004) sedangkan pada transesterifikasi minyak nyamplung dengan orde 1 ditentukan oleh Sofiah (1999). Reaksi transesterifikasi dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 1. Reaksi transesterifikasi antara trigliserida dengan metanol
Figure 1. Transesterification reaction of triglyceride with methanol

Kinetika reaksi transesterifikasi dilakukan dengan reaktor batch mengikuti order satu menurut Sofiah (1999) digambarkan sebagai berikut :



$$r = \frac{d C_{\text{ME}}}{dt} = -k C_{\text{ME}}$$

$$\int \frac{d C_{\text{ME}}}{C_{\text{ME}}} = \int -k dt$$

$$-\ln(1-C_{\text{ME}}) = kt$$

atau

$$kt = -\ln (C_{\text{ME}} / C_{\text{ME}0})$$

TG = Triglieserida (*Tryglyceride*); M = Metanol (*Methanol*); G : Gliserol (*Glycerol*); C_{ME} = konsentrasi metil ester (*methyl ester concentration*); k : tetapan laju reaksi pembentukan metil ester (*constant of rate methyl ester formation*); r : laju reaksi transesterifikasi (*rate of transesterification*); t : waktu (*time*).

Gambar 2. Kinetika reaksi transesterifikasi antara trigliserida dengan metanol
Figure 2. Kinetics of transesterification reaction between triglyceride and methanol

II. BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2006 sampai dengan Juli 2007 di Laboratorium Pengujian Mutu Vocational Education Development Center for Agriculture (VEDCA), Cianjur dan Laboratorium Pengolahan Kimia dan Energi, Pusat Litbang Hasil Hutan, Bogor.

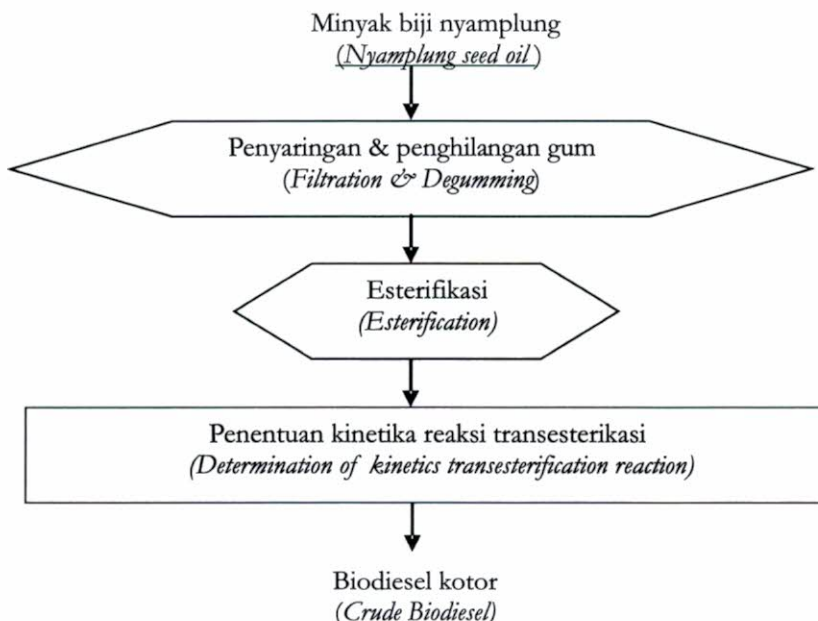
Minyak biji nyamplung yang digunakan dalam percobaan ini dibeli dari petani di Kecamatan Ambal, Kabupaten Kebumen, Provinsi Jawa Tengah, dengan karakteristik kadar

air 0,25%, densitas suhu 20°C adalah 0,944 g/ml, viskositas suhu 40°C adalah 56,70 cP, bilangan asam 59,94 mg KOH/g, kadar asam lemak bebas 29,53%, bilangan penyabunan 198,1 mg KOH/g, bilangan iod 86,42 mg/g dan indek refraksi 1,477. Bahan kimia yang digunakan terdiri dari asam fosfat teknis, metanol pa, asam klorida pa, NaOH pa, dan standar metil ester dari C8-C22. Peralatan yang digunakan adalah satu rangkaian reaktor transesterifikasi gelas yang terdiri dari: labu mulut dua, pendingin balik, termokopel, pengaduk, statif, klem penjepit dan *hot plate stirrer*, corong pemisah, buret, dan alat Gas Chromatography Mass Spektrofotometri (GC-MS).

B. Metode

1. Diagram alir penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penentuan kinetika reaksi transesterifikasi
Figure 3. Flow diagram of determination of transesterification reaction

2. Prosedur kerja

a. Penyaringan dan degumming

Minyak biji nyamplung disaring dengan penyaring vakum dengan menggunakan filter kertas saring. Proses pemisahan gum (*degumming*) dilakukan dengan cara menimbang 400 gram minyak kemudian dipanaskan di atas *hotplate* hingga mencapai 80°C sambil diaduk dengan menggunakan *magnetik stirrer*. Ditambahkan larutan asam fosfat konsentrasi 20% sebanyak

0,2-0,3% (v/w) dan diaduk selama 15 menit. Minyak dimasukkan dalam corong pemisah 500 ml dan ditambahkan air hangat (50-60°C) dengan cara penyemprotan. Corong pemisah digoyang sebentar agar air menyebar mengikat gum dalam minyak berupa getah atau lendir yang terdiri dari fosfatida, protein, residu, karbohidrat dan resin lalu didiamkan agar air dengan gum yang terikat turun dan terpisah dari minyak. Penyemprotan air dilakukan hingga air buangan netral (diukur dengan kertas pH pada kisaran pH 6,5-7). Air yang tersisa dalam minyak dihilangkan dengan cara memanaskan dengan *hot plate* pada suhu 105°C selama 10 menit kemudian dilanjutkan dengan pengeringan vakum pada suhu 80°C selama 10 menit sampai tidak terdapat gelembung uap air.

b. Esterifikasi

Esterifikasi dilakukan pada suhu 60°C, waktu 30 menit, kecepatan pengadukan 300 rpm, nisbah molar metanol terhadap FFA 20:1, katalis HCl 6% dari kadar FFA sehingga diperoleh kadar FFA akhir sekitar 4,6%.

c. Pengukuran kinetika reaksi transesterifikasi

Pengukuran kinetika reaksi transesterifikasi dilakukan dengan menggunakan reaktor transesterifikasi dari gelas. Sebanyak 300 ml minyak biji nyamplung yang telah mengalami proses *degumming* dan esterifikasi dimasukkan dalam reaktor transesterifikasi yang dilengkapi dengan kondesor untuk mengkondensasi uap metanol agar masuk kembali ke dalam reaktor. Minyak biji nyamplung dipanaskan hingga mencapai suhu 28°C (301K), 45°C (318 K), 60°C (333 K) dan 70°C (343 K), kemudian ditambahkan larutan metanol yang telah dilarutkan NaOH terlebih dahulu. pada nisbah molar metanol terhadap minyak 6:1, katalis NaOH 1% dari berat minyak, kecepatan pengadukan 400 rpm dan waktu transesterifikasi 30 menit dengan pengambilan sampel dilakukan setiap 5 menit sekali. Konstanta laju reaksi transesterifikasi diukur pada suhu 301K, 318 K, 333 K dan 343 K, dengan menggunakan pendekatan reaksi orde satu dengan persamaan $\ln C = -kt + \ln C_0$. Penentuan Energi aktivasi (E_a) dilakukan dengan menggunakan persamaan *Arrhenius* yang merupakan gradien (slope) grafik antara k dengan (1/T) persamaan berikut :

$$k = A \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right)$$

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

$$-\ln k = \frac{E_a/R}{T} - \ln A$$

$$-\ln k = \frac{E_a}{R} \cdot 1/T - \ln A$$

$$Y = a x + b$$

Dimana : k = konstanta laju reaksi; E_a = energi aktivasi; R = konstanta gas (1.987 kal/gmol K); T = suhu mutlak dan A = konstanta proporsionalitas.

Entalpi reaksi (H_R) ditentukan dengan menggunakan persamaan *transitionstate theory* (Levenspiel, 1972) pada suhu 333 K dengan rumus sebagai berikut:

$$\Delta H = E (1 - \Delta n) RT$$

dimana : $R = 1.987 \text{ kal/gmol K}$; $E =$ Energi aktivasi; $T =$ Temperatur (K) dan $n =$ perbedaan jumlah koefisien reaksi antara produk dan reaktan, untuk reaksi transesterifikasi $n = 4 - 4 = 0$.

d. Perancangan waktu ideal

Massa dalam reaktor *batch* isothermal (endotermis/eksotermis) digunakan untuk menentukan waktu *batch* ideal :

Rate of input-rate of output-rate of reaction = rate of accumulation

$$0 - 0 - V r_t = d [ME] / dt$$

Kering volume (V) konstan, sehingga :

$$\frac{d[ME]}{dt} = -r_t$$

Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsentrasi metil ester sebesar [ME]_t pada kondisi isothermal adalah :

$$t = \int_{[ME]_0}^{[ME]_t} \frac{d[ME]}{-r_t}, r_t = k [ME]$$

$$t = (1/k) \times \ln \frac{[ME]_0}{[ME]_t}$$

$$- t = (1/k) \times \ln ([ME]_0 / [ME]_t)$$

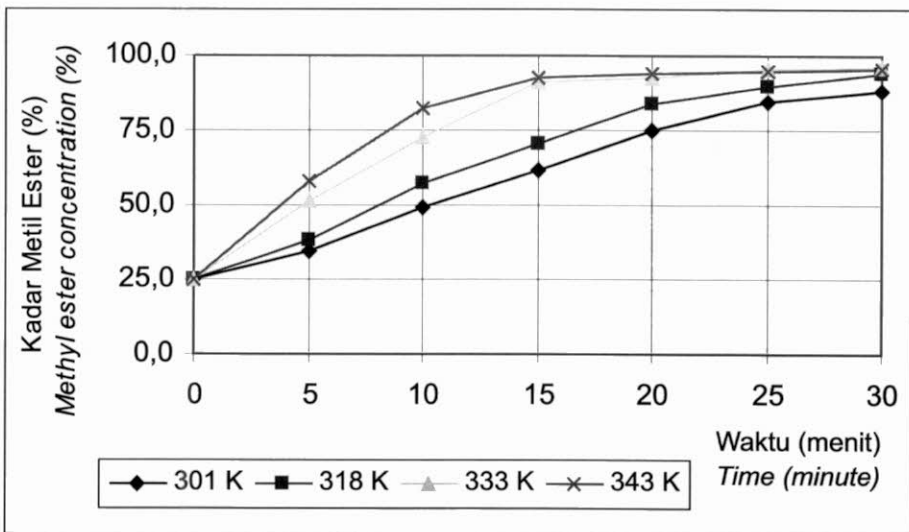
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Konstanta Laju Reaksi

Konsentrasi metil ester hasil transesterifikasi minyak biji nyamplung pada suhu 301K, 318 K, 333 K dan 343 K, dengan nisbah molar metanol 6:1, konsentrasi katalis NaOH 1%, kecepatan pengadukan 400 rpm dan waktu 30 menit disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 4.

Tabel 1. Kadar metil ester selama proses transesterifikasi pada berbagai suhu
Table 1. Methyl ester content during transesterification process at various temperature.

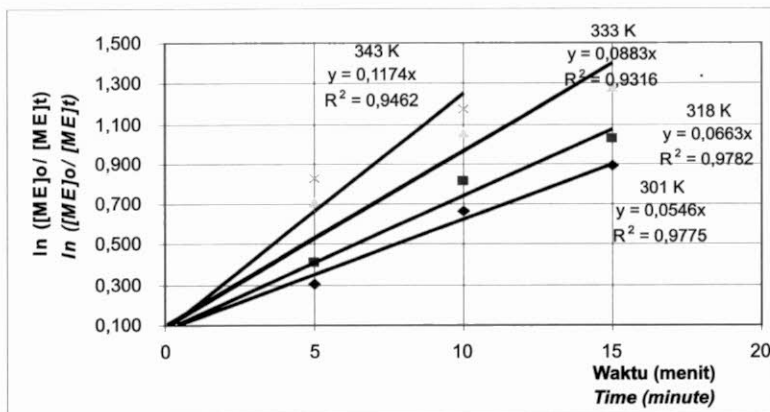
Waktu (<i>menit</i>) / Time (<i>minute</i>)	Kadar metil ester (%) Methyl ester content (%)			
	301K	318 K	333 K	343 K
0	25,34	25,34	25,34	25,34
5	34,39	38,19	51,51	58,09
10	49,26	57,17	72,66	82,00
15	61,71	70,91	91,50	92,94
20	75,32	84,07	92,77	94,10
25	84,88	89,73	95,25	94,94
30	88,33	94,07	96,18	95,78



Gambar 4. Hubungan antara kadar metil ester dengan waktu pada proses transesterifikasi

Figure 4. Relationship of methyl ester concentration with time of transesterification process

Dengan menggunakan pendekatan kinetika reaksi transesterifikasi orde satu semu (Freedman, *et al.*, 1984 dan Sofiah, 1999) maka dilakukan perhitungan kinetika dengan menggunakan metode grafik hubungan antara $\ln([ME]_0/[ME]_t)$ dengan t dan nilai k diambil dari slope grafik tersebut. Hubungan antara Nilai $\ln([ME]_0/[ME]_t)$ dengan t pada berbagai suhu reaksi menunjukkan tidak linier maka nilai k diambil pada kemiringan garis awal yang mendekati linier sesuai dengan Goud *et al.* (2006). seperti yang disajikan pada Gambar 5.

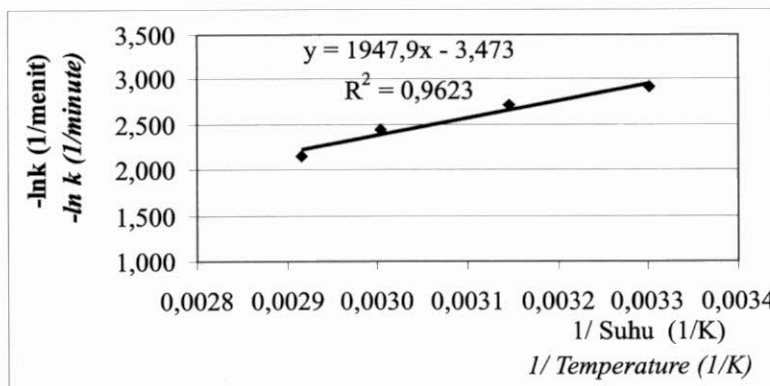


Gambar 5. Hubungan $\ln ([Me]_0/[ME]_t)$ dengan waktu untuk menentukan nilai k
 Figure 5. Relationship between $\ln ([Me]_0/[ME]_t)$ and to determine k

Hasil perhitungan Nilai k pada suhu 301 K adalah 0.0546 menit^{-1} , suhu 318 K 0.0663 menit^{-1} , suhu 333 K 0.0883 menit^{-1} dan pada suhu 343K adalah 0.1174 menit^{-1} .

B. Energi Aktivasi

Grafik hubungan antara $-\ln k$ dengan $1/T$ proses transesterifikasi pada suhu 301 K, 318 K, 333 K dan 343 K dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan antara $\ln k$ ($1/T$) pada proses transesterifikasi
 Figure 6. Relationship between $\ln k$ and time in transesterification process

Penentuan energi aktivasi proses transesterifikasi dengan menggunakan grafik linier hubungan antara $-\ln k$ dengan $1/T$ juga dilakukan oleh Nouredini dan Zhu, (1997), Darnoko dan Cheryan (2000) dan Cheng, *et al.*, (2004). Berdasarkan persamaan $\ln k = (E_a/R) \times 1/T + \ln A$, maka diperoleh persamaan $y = 1947,9x - 3,473$ dengan $R^2 = 0,9623$ dengan demikian diperoleh $\ln A = 3,473$ dan nilai E_a/R adalah 1947,9. Karena nilai $R = 1,987 \text{ cal/g mol K}$ maka energi aktivasi reaksi tersebut adalah 3870,5 cal/mol dan nilai $A = 32,23 \text{ liter/mol menit}$.

Nilai k pada berbagai suhu transesterifikasi dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan Arrhenius $k = A \exp^{(-E_a/RT)}$ dengan $R = 1,987 \text{ cal/g mol K}$, $E_a = 3870,5 \text{ cal/mol}$ dan $A = 32,23 \text{ liter/mol menit}$. Dengan demikian persamaan tetapan laju reaksi menjadi (k) $= 32,23 \exp^{(-E_a/RT)} = 32,23 e^{(-3870,5/RT)}$. Karena laju reaksi transesterifikasi minyak nyamplung adalah $r_T = k [\text{ME}]$ dengan k adalah laju reaksi transesterifikasi dan $[\text{ME}]$ adalah konsentrasi metil ester yang terbentuk maka diperoleh $r_T = 32,23 e^{(-3870,5/RT)} [\text{ME}]$.

C. Entalpi

Penentuan entalpi digunakan untuk mengetahui energi yang dibutuhkan dalam proses pembentukan metil ester. Harga entalpi reaksi (ΔH) ditentukan dengan menggunakan persamaan *transitionstate theory* $H = E + (1 - \Delta n) RT$ (Levenspiel, 1972), dimana : $R = 1,987 \text{ kal/gmol K}$, $E = \text{Energi aktivasi}$, $T = \text{Temperatur (K)}$ dan $n = \text{perbedaan jumlah koefisien sebelum dan sesudah reaksi yaitu } 4-4=0$. Untuk reaksi transesterifikasi pada suhu 301 K harga entalpi reaksi adalah:

$$\Delta H = 3870,5 ((1-0) \times (1,987 \times 301)) = 3271,9 \text{ cal/mol.}$$

Dengan cara yang sama maka dapat ditentukan entalpi pada suhu 318 K, 333 K dan 343 K masing-masing adalah 3238,1 cal/mol, 3208,0 cal/mol dan 3188,5 cal/mol.

D. Perancangan Waktu Ideal

Pada kondisi isothermal suhu 301 K harga $k = 0,0546 \text{ menit}^{-1}$, untuk mendapatkan konsentrasi ME sebesar 2,82 mol/liter atau 96,18% dari bahan baku minyak nyamplung hasil transesterifikasi yang mengandung metil ester 0,751 mol/liter (25,34%) diperoleh konversi (X) = 2,07 mol/liter, dibutuhkan waktu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} -t &= (1/k) \times \ln ([\text{ME}]_0 / [\text{ME}]_t) \\ -t \times 0,0546 &= \ln (0,751 / 2,82) \\ &= 24,25 \text{ menit.} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka untuk suhu 318 K, 333 K dan 343 K diperlukan waktu masing-masing adalah 19,97 menit, 15,27 menit dan 11,28 menit.

Perhitungan waktu ideal proses berdasarkan model kinetika divalidasi dengan percobaan laboratorium pada suhu 333 K waktu 15 menit. Konsentrasi metil ester akhir transesterifikasi hasil perhitungan kinetika reaksi (prediksi) dengan hasil percobaan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar metil ester hasil perhitungan model kinetika dibandingkan dengan percobaan

Table 2. Methyl ester content from account of kinetic model and eksperiment

Ulangan (Replication)	Kadar metil ester hasil percobaan (%) <i>Methyl ester content from Eksperiment</i>	Kadar metil ester hasil perhitungan kinetika (%) <i>Methyl ester content from account of kinetic model</i>
1	92,17	93,02
2	92,46	
3	92,64	
4	91,84	
5	91,62	

Berdasarkan data tersebut menunjukkan bahwa kadar metil ester hasil percobaan mendekati kadar metil ester hasil perhitungan. Hasil validasi transesterifikasi dengan suhu 333K selama 15 menit sebesar 93,02% mendekati rata-rata hasil percobaan sebesar 92,28%. Dengan demikian model kinetika reaksi transesterifikasi dapat digunakan untuk meprediksi produk hasil reaksi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Konstanta laju reaksi transesterifikasi (k) minyak biji nyamplung orde satu pada suhu 301 K, 318 K, 333 K dan 343 K masing-masing berturut-turut adalah 0,0546 menit⁻¹, 0,0663 menit⁻¹, 0,0883 menit⁻¹, dan 0.1174 menit⁻¹.
2. Energi aktivasi reaksi transesterifikasi minyak biji nyamplung (Ea) adalah 3870,5 cal/mol, konstanta proporsionalitas (A) adalah 32,23 liter/mol menit dan laju reaksi transesterifikasi adalah $(r_p) = 32,23 e^{(3870,5/RT)}$ [ME].
3. Entalpi (H) reaksi transesterifikasi minyak biji nyamplung pada suhu 301 K, 318K, 333 K dan 343 K masing-masing berturut-turut adalah 3271,9 cal/mol. 3238,1 cal/mol, 3208,0 cal/ mol dan 3188,5 cal/ mol.
4. Pada kondisi isothermal suhu 301 K, 318 K, 333 K dan 343 K, untuk mendapatkan konsentrasi ME sebesar 2,82 mol /liter atau 96,18% dari bahan baku minyak nyamplung hasil esterifikasi yang mengandung metil ester 0,751 mol/liter (25,34%) sehingga diperoleh konversi (X) = 2,07 mol/liter, dibutuhkan waktu masing-masing berturut-turut adalah 24,25 menit, 19,97 menit, 15,27 menit dan 11,28 menit.
5. Rata-rata hasil verifikasi laboratorium terhadap kadar metil ester hasil transesterifikasi pada suhu isothermal 333 K, waktu 15 menit, k = 0,0867 menit⁻¹ adalah 92.28% mendekati hasil perhitungan berdasarkan kinetika reaksi yaitu 93,02%.
6. Pengukuran kinetika reaksi transesterifikasi pada percobaan ini menggunakan reaktor gelas dengan ukuran kecil oleh karena itu untuk dapat digunakan pada perancangan pembuatan reaktor transesterifikasi skala besar perlu dilakukan penelitian perbesaran skala.

DAFTAR PUSTAKA

- Cheng, S.F., V.M. Choo, A.N. Ma, and C.H. Chuah. 2004. Kinetics study on transesterification of palm oil. *J. Oil Palm Res.* 16(2):19-29. Kuala Lumpur.
- Darnoko, D. M. Cheryan. 2000. Kinetics of palm oil transesterification in a batch reaktor. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 77:1263-1267. Champaign, Illinois.
- Darnoko, T. Herawan dan P. Guritno. 2001. Teknologi produksi biodiesel dan prospek pengembangannya di Indonesia. *Warta PPKS* 9(1):17-27.
- Dweek, A.C., T.Meadows. 2002. Tamanu (*Calophyllum inophyllum*) the Africa, Asian Polynesian and Pasific Panacea. *Int. J. Cos. Sci.* 24:1-8. North Orchard Street, Ormond Beach, USA.
- Freedman, B., E.H. Pryde, and T.L. Mounts. 1984. Variable affecting the yields of fatty esters from transesterificatied vegetable oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 61:1638-1643. Champaign, Illinois.
- Goud, V.V., A.V. Patwardhan, N.C. Pradhan. 2006. Studies on the epoxidation of mahua oil (*Madhumica indica*) by hydrogen peroxide. *Bioresource Technology* 97: 1365-137. Orlando.
- Heyne, K. 1987. Tumbuhan berguna Indonesia. Balai Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Departemen Kehutanan. Jakarta.
- Lele, S. 2005. Biodiesel in India. Website: <http://www.svlele.com/biodiesel>. Diakses tanggal 27 Juli 2005.
- Levenspiel, O. 1972. Chemical reaction engineering. Wiley International Edition. New York.
- Martawijaya, A., I. Kartasujana, K. Kadir., dan S.A.Prawiro. 1981. Atlas Kayu Indonesia. Jilid 1. Jakarta: Balai Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Departemen Kehutanan Jakarta.
- Noureddini, H, and Zhu. 1997. Kinetics of transesterification of soybean oil. *JAOCS* 74, 1457-1463.
- Sofiah, 1999. Alkoholisis minyak biji nyamplung dengan katalisator natrium hidroksida dan asam sulfat. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, Semarang, 27-28 Juli 1999. Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia. UNDIP.
- Soerawidjaja, T.H., T. Adrisman, U.W. Siagian, T. Prakoso, I.K. Reksowardojo, K.S. Permana. 2005. Studi kebijakan penggunaan biodiesel di Indonesia, di dalam: P Hariyadi, N. Andarwulan, L. Nuraida, Y. Sukmawati. editor. *Kajian Kebijakan dan Kumpulan artikel penelitian biodiesel*. Kementrian Ristek dan Teknologi RI MAKSI IPB. Bogor.
- Sahirman. 2006. Perbaikan kualitas minyak nabati sebagai bahan baku biodiesel (studi kasus minyak nyamplung (*Calophyllum inophyllum*)). *Journal Universitas Djuanda* 1:11-18. Bogor.

- Sudradjat, R., Sahirman, dan D. Setiawan. 2007. Pembuatan biodiesel dari minyak biji nyamplung *Journal Penelit. Has. Hut.* 25: 41-56. P3HH. Bogor.
- Wilde, J.E., S. M.Linton, and P.Greenaway. 2004. Dietary assimilation and the digestive strategy of the omnivorous anomuran land crab *birgus latro* (*Coenobitidae*) *J. Comp. Physiol Biochem.* 174:299-308. Sydney.