

Kinetika Reaksi Esterifikasi Minyak Biji Bintangur (*Calophyllum inophyllum*) untuk meningkatkan Kualitas Bahan Baku Biodiesel

Sahirman¹, Ani Suryani², Djumali Mangunwidjaja², Sukardi² dan R Sudradjat³

¹Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Pertanian Cianjur

²Departemen Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian IPB Bogor

³Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Bogor

E-mail : sahir_hirman@yahoo.com

Abstract

Biodiesel is an alternative fuel for diesel engines that is receiving great attention world wide. Biodiesel is defined as the mono-alkyl esters of fatty acids derived from vegetable oils or animal fats. Aim of this research is to determine reaction kinetics parameters of bintangur seed oil to be used as raw material making of biodiesel. Esterification has been required because the quality of bintangur seed oils that produced by farmer in Kebumen Central Java has bad quality with rate of Free Fatty Acid (FFA) reach 30 %. Kinetics of esterification reaction bintangur seed oil is determined at mol ratio of methanol 20:1, catalyst HCL 6%, speed of squealer 300 rpm and time 60 minute with after intake of sample 5 minute once. Result of research showed that constantans of esterification reaction speed order one (k) at temperature 301K, 318 K, 333 K and 341 K each successively is 0.0470 M / second, 0.0546 M / second, 0.0575 M / second and 0.0627 M / second, activation energy (Ea) = 1375.28 kal / M K, proportionalities constantan (A) = 2.6406M/second, speed of reaction of esterification (V) = 2.6406e^{-1.375 RT}[FFA], Enthalpy (ΔH) = 571.99. cal/mol, Entropy (ΔS) = 41.85 cal/mol. Result of verification: esterification kinetics reaction at temperature isothermal 60 C, time 30 minute, k = 0.0575 M /second indicate that result of calculation of concentration of FFA final of esterification 0.186 mol / liter near to with laboratory verification 1.705 mol / liter.

Key word : Biodiesel, Bintangur, Free Fatty Acid, Esterification, Transesterification

Pendahuluan

Kebutuhan solar Indonesia dari tahun ke tahun terus naik, tahun 1995 15.84 miliar liter, tahun 2000 21.39 miliar liter, tahun 2005 27.05 miliar liter dan pada tahun 2010 diperkirakan 34.71 miliar liter (Soerawidjaja *et al.* 2005). Konsumsi bahan bakar diesel Indonesia sekitar 163.52 juta barel, pada hal produksi domestik hanya 97.08 juta barel sehingga terjadi defisit 66.44 juta barel (Pakpahan 2001). Impor solar pada tahun 1999 sebesar 5 milyar liter atau 25% dari kebutuhan nasional meningkat menjadi 8 milyar liter atau 34% pada tahun 2001 dan pada tahun 2005 mencapai 40% dari kebutuhan (US Embassy 2004 dalam Wirawan 2005). Departemen Energi Sumber Daya Mineral

(ESDM) pada tahun 2005 mengeluarkan *blue print* pengelolaan energi nasional yang memuat *roadmap* pengelolaan energi yang menjelaskan bahwa pada tahun 2005-2009 produksi biodiesel ditargetkan 2 % dari solar (0.72 juta kl) dan pada tahun 2010-2015 3 % dari solar (1.5 juta kl). Sasaran kebijakan energi nasional yang dituangkan pada Peraturan Presiden No 5 tahun 2006 menargetkan terwujudnya energi yang optimal pada tahun 2025 yaitu: minyak bumi 20%, gas bumi 30%, batubara 33%, batubara yang dicairkan 2%, panas bumi 5 %, bahan bakar nabati 5 % dan energi terbarukan lainnya 5 % .

Biodiesel adalah metil ester yang diturunkan dari minyak/lemak alami, seperti minyak nabati, lemak hewan atau minyak goreng bekas yang dapat digunakan

langsung atau dicampur dengan minyak diesel. Alkil ester mempunyai titik leleh antara 3-4 °C hingga 30-32 °C, bilangan ester antara 133,98-191,90 mgKOH/g, viskositas antara 5,99-19,56 cP dan densitas antara 0,8509-0,8785 mg/ml (Herawan dan Sadi, 1977).. Keuntungan penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar diantaranya adalah: bahan baku dapat diperbarui (*renewable*), dapat menggantikan bahan bakar diesel dan turunannya dari petroleum, dapat digunakan kebanyakan peralatan diesel tanpa modifikasi atau hanya modifikasi kecil, dapat mengurangi emisi/ pancaran gas yang menyebabkan pemanasan global, dapat mengurangi emisi udara beracun, bersifat *biodegradable*, cocok untuk lingkungan sensitif dan mudah digunakan (Tyson, 2004).

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 (FFA) yang tinggi. Salah satu jenis minyak tersebut adalah minyak bintangur atau minyak nyamplung yang dihasilkan oleh petani di Kecamatan Ambal Kabupaten Kebumen Jawa Tengah dengan FFA mencapai 30 %. Pada kondisi demikian minyak bintangur tidak dapat diproses menjadi biodiesel melalui proses satu tahap (transesterifikasi) karena selama proses akan terbentuk emulsi sabun yang menyulitkan proses pemisahan metil ester. Salah satu cara untuk mengatasi hal itu adalah melakukan proses produksi biodiesel melalui proses dua tahap yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Proses esterifikasi bertujuan untuk mengurangi kadar asam lemak bebas dan transesterifikasi bertujuan untuk mengubah trigliserida, monogliserida dan digliserida menjadi metil ester (biodiesel).

Bintangur mempunyai nama daerah bintangor, bintol, dan mentangur di Sumatera, bunut, nyamplung, sulatri, punaga di Jawa, bataoh, bentangur, butoo, jampeiung, maharunuk di Kalimantan,

betau, bintula, dinggale, pude, wetai di Sulawesi, oalitoko, bintao, bitaur, petaule di Maluku, dan bentango, gentangir, mantau, samplong di NTT (Martawijaya *et al.* 1981) Daerah penyebaran di Indonesia meliputi Sumatera Barat, Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Lampung, Jawa, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara Timur (Martawijaya *et al.* 1981). Taksonomi bintangur (*Calophyllum inophyllum L*) menurut National Tropical Botanical Garden (2005) adalah sebagai berikut:

- *Kingdom: Plantae-Plants*
- *Subkingdom: Tracheobionta-Vascular plants*
- *Superdivision: Spermatophyta-Seed plants*
- *Division: Magnoliophyta-Flowering plants*
- *Class: Magnoliopsida-Dicotyledons*
- *Subclass: Dilleniidae*
- *Order: Theales*
- *Family: Clusiaceae - Mangosteen*
- *Genus: Calophyllum L. -Calophyllum*
- *Species: Calophyllum inophyllum L.*

Buah bintangur mengandung abu 1,7%, protein kasar 6,2%, lemak 55,5 %, pati 0,34%, hemi selulosa 19,4 %, selulosa 6,1% dan bagian terlarut 59,3% (Wilde *et.al.* 2004). Biji bintangur (*Tamanu kernel*) mempunyai kandungan minyak yang sangat tinggi yaitu 75% (Dweek dan Meadows 2002) dan 55 % pada inti biji yang segar serta 70,5% pada inti biji yang benar-benar kering (Heyne (1987) dan 40-73 % (Soerawidjaja 2002).Tanaman bintangur dapat ditampilkan pada Gambar 1.

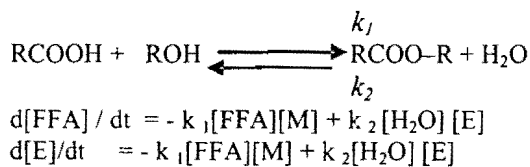


Gambar 1. Tanaman dan buah bintangur (nyamplung)

Minyak bintangur hasil pengepresan dengan alat kempa hidrolis mempunyai karakteristik kadar air 0.25 %, densitas 0.944 gr/ml), bilangan asam 59.94 mg KOH/g, kadar asam lemak bebas 29.53%, bilangan penyabunan 198.1 mg KOH/g dan bilangan iod 86.42 mg I₂/g (Sudradjat *at al.* 2007). Minyak nyamplung mengandung empat jenis asam lemak utama yaitu asam palmitat 15.89%, asam stearat 12.30%, asam oleat 48.49% dan asam linoleat 20.70% (Sudradjat *at al.* 2007).

Proses esterifikasi pada suhu 60 °C dengan menggunakan katalis HCl menunjukkan bahwa konsentrasi katalis 6-12 % adalah kisaran penggunaan katalis yang terbaik (Sahirman, 2006). Esterifikasi dengan katalis HCl 1% dan methanol 20% kecepatan pengadukan 400 rpm terjadi sangat cepat pada 30 menit pertama kemudian lambat bahkan tidak ada perbedaan yang nyata setelah esterifikasi selama 120 menit. (Sahirman, 2006). Esterifikasi minyak biji bintangur yang paling optimum diperoleh pada suhu 60 °C, konsentrasi katalis 6% dari FFA dan rasio mol methanol terhadap FFA 20:1 (Sudradjat *at al.* 2007)

Reaksi esterifikasi antara metanol dengan asam lemak bebas dapat digambarkan sebagai berikut:



$$\frac{d[\text{FFA}]}{dt} = d[\text{E}] dt$$

Esterifikasi yang dilakukan dengan rasio mol metanol terhadap FFA sangat besar (20:1) menyebabkan kelebihan metanol sangat besar. Karena metanol yang bereaksi sangat kecil dibandingkan dengan metanol sisa ($[\text{M}]_0 \gg \gg [\text{M}]_0 - X$) maka konsentrasi metanol diasumsikan tetap sehingga reaksi mengikuti ordo pseudo satu. Menurut Brezonik (1993) reaksi ordo dua dapat dinyatakan sebagai ordo pseudo satu dengan cara membuat konsentrasi reaktan menjadi konstan dengan menggunakan konsentrasi reaktan jauh lebih besar dari yang diperlukan. Perhitungan kinetika reaksi esterifikasi ordo pseudo satu dilakukan oleh Breitenlechner dan Bach (2006) pada reaksi esterifikasi antara asam heksanoat dengan *N,N*-Dialkylamino alkohol. Reaksi esterifikasi ordo satu berlaku rumus sebagai berikut:

$$-\frac{d[\text{FFA}]}{dt} = k_1^1[\text{FFA}]$$

$$-\int_0^t \frac{d[\text{FFA}]}{[\text{FFA}]} = \int_0^t k_1^1 dt$$

$$-(\ln [\text{FFA}]_t - \ln [\text{FFA}]_0) = k_1^1 t$$

$$\ln [\text{FFA}]_0 - \ln [\text{FFA}]_t = k_1^1 t$$

$$\ln \left(\frac{[\text{FFA}]_0}{[\text{FFA}]_t} \right) = k_1^1 t$$

Nilai k_1^1 merupakan slope atau gradien hubungan antara $\ln \left(\frac{[\text{FFA}]_0}{[\text{FFA}]_t} \right)$ dengan t . $\frac{[\text{FFA}]_0}{[\text{FFA}]_t}$ adalah

konsentrasi FFA awal dan [FFA], konsentrasi FFA setelah esterifikasi t menit.

Metode Penelitian

Bahan dan Alat.

Minyak biji bintangur yang digunakan dalam percobaan ini dibeli dari pengrajin di Kecamatan Ambal Kabupaten Kebumen Jawa Tengah. Bahan kimia yang digunakan: Metanol pa, Asam Clorida pa, NaOH pa, KOH pa, Asam phosphat, dan bahan kimia lainnya untuk analisa. Peralatan yang digunakan: satu rangkaian reaktor esterifikasi-transesterifikasi yang terdiri atas: labu mulut dua, pendingin balik, termokopel, pengaduk, statif, klem penjepit dan hot plate stirer, dan alat lain seperti mesin pengepres hidrolis, corong pemisah, buret, dan alat-alat lain. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei sampai dengan November 2006, di Laboratorium Pengujian Mutu VEDCA Cianjur.

Prosedur

Minyak biji bintangur sebelum diesterifikasi dilakukan proses degumming terlebih dahulu. Ditimbang 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 lalu dibiarkan 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 pengeringan dengan pemanasan 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.

Pengukuran kinetika reaksi esterifikasi dilakukan dengan menggunakan reaktor esterifikasi dari gelas. Sebanyak 300 ml minyak biji bintangur yang telah mengalami proses *degumming* dimasukkan dalam reaktor esterifikasi yang dilengkapi dengan kondesor untuk mengkondensasi uap metanol agar masuk kembali ke dalam reaktor. Minyak biji bintangur dipanaskan hingga mencapai suhu yang dikehendaki kemudian ditambahkan larutan metanol dan HCl. Digunakan rasio mol metanol 20:1 dari FFA, katalis HCl 6% dari FFA, kecepatan pengadukan 300 rpm dan waktu esterifikasi 60 menit dengan pengambilan sampel dilakukan setiap 5 menit sekali. Konstanta kecepatan reaksi esterifikasi diukur pada suhu 301°K, 318 °K, 333 °K dan 341 °K dengan menggunakan pendekatan reaksi ordo 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).

$$k = A \exp(-E_a/RT)$$

- k : Konstanta laju reaksi
E_a : Energi aktivasi
R : Konstanta gas
T : Suhu mutlak
A : Konstanta proporsionalitas

Penentuan Entalpi reaksi (ΔH_R) dan entropi (ΔS) ditentukan dengan menggunakan persamaan *transition-state theory* (Levenspiel, 1972) pada suhu 60 °C (333 °K)

$$\Delta H = E - (1 - \Delta n) RT \text{ dan}$$

$$\Delta S/R = \ln (A / (k_B T / h)) - (E - \Delta H) / RT$$

k_B : konstanta Boltzman = 1.38×10^{-16}

h : konstanta Planck = 6.624×10^{-27}

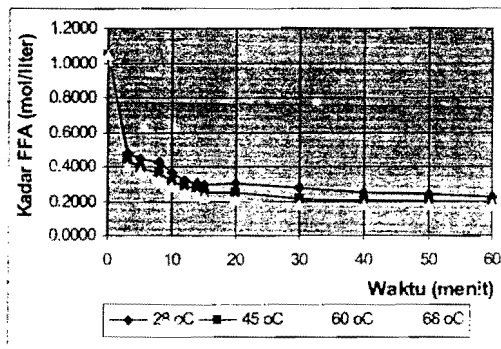
R : 1.987 kal/gmol K

E : Energi aktivasi

T : Temperatur (°K)

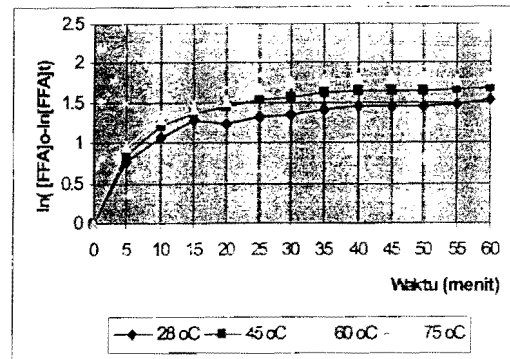
Hasil dan Pembahasan

Hubungan antara kadar asam lemak bebas dengan waktu esterifikasi ditampilkan pada Gambar 2. Kadar FFA terus menerus menurun sampai dengan mendekati konstan dan tidak ada peningkatan kadar reaktan kembali. Dengan demikian Nilai k_2 adalah sangat kecil dibandingkan nilai k_1 ($k_2 \ll k_1$), oleh karena itu dalam perhitungan kecepatan reaksi nilai k_2 diabaikan dan diasumsikan reaksi berlangsung secara irreversibel.



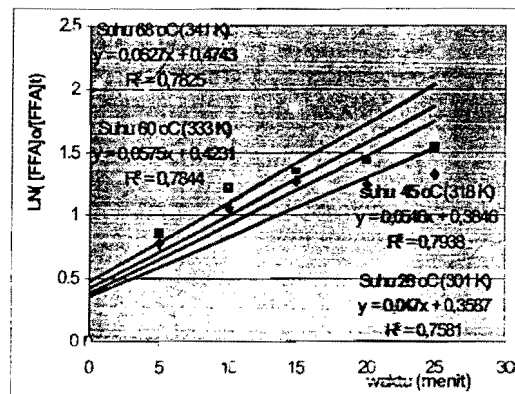
Gambar 2. Hubungan antara kadar FFA dengan waktu esterifikasi

Nilai k_2 yang diabaikan dalam perhitungan konstanta kecepatan reaksi dilakukan pada reaksi esterifikasi asam heksanoat dengan etanol (Nijhuis *et al.* 2001) dan reaksi esterifikasi antara asam malat anhidrat dengan n-hexanol (Grzesik 2003). Hubungan antara $\ln ([\text{FFA}]_0 / [\text{FFA}]_t)$ dengan waktu (t) pada esterifikasi yang dilakukan pada rasio mol metanol 20:1, katalis HCl 6 % keduanya dihitung berdasarkan jumlah FFA, kecepatan pengadukan 300 rpm, dan suhu 28 °C, 45 °C, 60 °C dan 75 °C ditampilkan pada gambar 3



Gambar 3. Hubungan antara waktu esterifikasi dengan $\ln ([\text{FFA}]_0 / [\text{FFA}]_t)$

Melihat fenomena hubungan antara t dengan nilai $\ln ([\text{FFA}]_0 / [\text{FFA}]_t)$ ternyata tidak menunjukkan hubungan linier maka nilai k reaksi esterifikasi dihitung berdasarkan slope (kemiringan) garis awal grafik antara $\ln [ffa]_0/[ffa]_t$ dengan t sesuai dengan Vaibhav *et al.* (2005). Grafik linier hubungan antara $\ln [ffa]_0/[ffa]_t$ dengan t pada berbagai suhu esterifikasi dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.

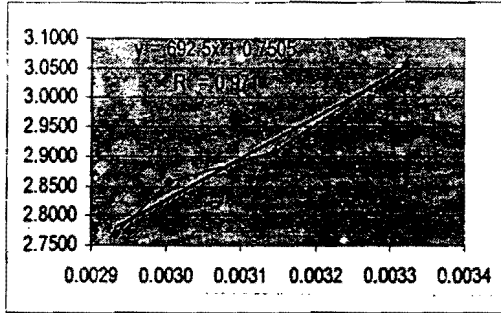


Gambar 4. Grafik linier hubungan antara $\ln [ffa]_0/[ffa]_t$ dengan waktu esterifikasi

Berdasarkan gambar 4 maka nilai k dapat ditentukan konstanta kecepatan reaksi suhu 348 °K 0.0627 M /detik, suhu 333 °K 0.0575 M /detik, suhu 318 °K 0.0546 M /detik dan suhu 301 °K 0.0470 M /detik.

Energi aktivasi.

Energi aktivasi proses esterifikasi minyak bintangur dihitung berdasarkan hubungan antara $-\ln k$ dengan $1/T$ pada suhu 301 K, 318 K, 333 K dan 341 K (lihat Gambar 5).



Gambar 5. Plot hubungan antara $-\ln k$ dengan $1/T$ pada proses esterifikasi minyak bintangur suhu 301 °K, 318 °K, 333 °K dan 348 °K

Dari gambar 5 diperoleh persamaan $y = 692.5 x + 0.7505$ dengan $R^2 = 0.971$ dengan demikian diperoleh $\ln A = 0.7505$ dan nilai E_a/R adalah 692.5. Karena nilai $R = 1.987 \text{ kal/gmolK}$ maka energi aktivasi reaksi tersebut adalah 1375.998 kal/M K dan nilai $A = 2.6406 \text{ M/detik}$.

Nilai k pada berbagai suhu esterifikasi dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan Arrhenius

$$k = A \exp(-E_a/RT)$$

$$R = 1.987 \text{ kal/gmol K}$$

$$E = 1375.998 \text{ kal/M } ^\circ\text{K} = 1.376 \text{ kkal/M}^\circ\text{K}$$

$$A = 2.6406 \text{ liter / mol menit}$$

Persamaan konstanta kecepatan reaksi esterifikasi minyak biji bintangur adalah :

$$k = 2.6406 e^{-1.376/RT}$$

Persamaan kecepatan reaksi esterifikasi minyak bintangur adalah:

$$V = k [FFA]$$

$$V = 2.6406 e^{-1.233/RT} [FFA]$$

Enthalpi dan Entropi.

Harga Entalpi reaksi (ΔH_R) dan entropi (ΔS) ditentukan dengan menggunakan persamaan *transition-state*

theory (Levenspiel, 1972) pada suhu 60 °C (333 °K)

$$\ln A - E/RT = \ln (k_B T / h) - \Delta H/RT + \Delta S/R$$

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

$$\Delta n = 2 - 2 = 0$$

$$\Delta H = 1375.998 - ((1 - 0) \times (1.987 \times 333))$$

$$= -714.3265 \text{ kal / gmol}$$

$$\Delta S/R = \ln (A / (k_B T / h)) - (E - \Delta H)/RT$$

$$k_B = \text{konstanta Boltzman} = 1.38 \times 10^{-16}$$

$$h = \text{konstanta Planck} = 6.624 \times 10^{-27}$$

$$R = 1.987 \text{ kal/gmol K}$$

$$E = 1375.998 \text{ kal/M } ^\circ\text{K} = 1.376 \text{ kkal/M}^\circ\text{K}$$

$$A = 2.6406 \text{ liter / mol menit}$$

$$\Delta H = -714.3265 \text{ kal / gmol}$$

$$\Delta S/R = 21.0599$$

$$\Delta S = 41.85 \text{ (kal/gmol K)}$$

Waktu Batch Ideal untuk Proses Esterifikasi

Neraca Massa dalam reaktor *batch* isothermal (endotermis/eksotermis) digunakan untuk menentukan waktu *batch* ideal pada volum (V) konstan :

$$\text{Rate of input} - \text{rate of output} - \text{Rate of Reaction} = \text{Rate of accumulation}$$

$$0 - 0 - V r_{[FFA]} = d [FFA]/dt$$

$$V d [FFA]/dt = - r_{[FFA]} V_r$$

Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsentrasi FFA sebesar $[FFA]_t$ pada kondisi isothermal adalah :

$$t = \int_{[FFA]_0}^{[FFA]_t} d ([FFA]_0 / r_{[FFA]})$$

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

Pada kondisi isothermal suhu 60 °C harga $k = 0.0575 \text{ M/detik}$, untuk mendapatkan

konsentrasi FFA sebesar 0.1812 mol / liter (4.6375 %) dari bahan baku minyak bintangur yang mengandung FFA 1.0458 mol / liter (26.7581%) sehingga diperoleh konversi 0.871 mol / liter, dibutuhkan waktu 30.4 menit. Jika menggunakan waktu esterifikasi 30 menit maka diprediksi akan diperoleh konsentrasi FFA akhir sebesar 0.1863 mol/liter. Konsentrasi FFA akhir esterifikasi hasil prediksi dengan kinetika reaksi hasil verifikasi laboratorium ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Prediksi kadar FFA akhir esterifikasi berdasarkan perhitungan kinetika reaksi dan hasil percobaan

Ulangan	Konsentrasi FFA akhir esterifikasi	
	Percobaan (M)	Perhitungan (M)
2	0.162	0.186
3	0.168	
4	0.187	
5	0.173	
6	0.171	
Rata-rata	0.172	0.186

Kadar FFA akhir esterifikasi hasil verifikasi laboratorium menunjukkan tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan.

Kesimpulan

1. Konstanta kecepatan reaksi esterifikasi (k) minyak biji bintangur ordo satu pada suhu 301°K, 318 °K, 333 °K and 341 °K masing-masing berturut-turut adalah 0.0470 M/detik, 0.0546 M detik, 0.0575 M/detik dan 0.0627 M/detik.
2. Energi aktivasi reaksi esterifikasi (Ea) minyak biji bintangur adalah 1375.28 kal/MK dan konstanta proporsionalitas (A) adalah 2.6406 M/detik, kecepatan reaksi esterifikasi (V) = $2.6406e^{1.375 / RT}$ [FFA].
3. Entalpi reaksi esterifikasi minyak biji bintangur pada suhu 60 °C (333 K)

adalah — 714.3265 kal/gmol dan entropy 41.85 kal/mol.

4. Rata-rata hasil verifikasi laboratorium terhadap kadar FFA akhir esterifikasi pada suhu isothermal 60 °C, waktu 30 menit, k = 0.0575 M/detik adalah 0.172 mol/liter mendekati hasil perhitungan berdasarkan kinetika reaksi yaitu 0.186 mol / liter.

Daftar Pustaka

1. Brezonik PL. 1993. *Chemical Kinetics and Process Dynamics In Aquatic System*. Lewis Publishers. London
2. Breitenlechner S dan Thorsten Bach 2006. *Kinetic Study on The Esterification of Hexanoic Acid with N,N-Dialkylamino Alcohols: Evidence for an Activation by Hydrogen Bonding*. Technische Universität Munchen.
3. Darnoko 2005. Keunggulan Sawit Sebagai Bahan Baku Industri Surfaktan. Seminar Peluang Pengembangan Industri Surfaktan Berbasis Sawit di Indonesia Jakarta 12 Agustus 2005.
4. Dweek AC. and T Meadows. Dweek. 2002. *Tamanu (Calophyllum inophyllum) the African, Asian Polynesian and Pasific Panacea*. International Journal of Cosmetic Science. 24 :1-8
5. Herawan T dan Sadi S. 1977. Sifat Fisiko-Kimia dan Beberapa Jenis Alkil Ester Asam Lemak Sawit dan Kemungkinan Aplikasinya. Warta PPKS 5:131-136.
6. Heyne K. 1987. Tumbuhan Berguna Indonesia. Balai Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Departemen Kehutanan
7. Legowo, EH. Lutfi A., P. La Pupung, dan Chairil A. 2006. Pengalaman Lemigas dalam Proses Pembuatan Biodiesel. M&E. Vol 4 No.3 Sept. 2006
8. Levenspiel O. 1972. *Chemical Reaction Engineering*. Wiley International Edition
9. Martawijaya A, IK Sujana, Kosasi K, Soewanda AP. 1981. Atlas Kayu Indonesia. Jilid 1

10. National Tropical Botanical Garden 2005. *Meet the Plants*. www.Ntbg.org/plants
11. Pakpahan A. 2001. *Palm Biodiesel: Its Potency, Technology, Business Prospect, and Environmental Implication in Indonesia*. Proceedings of the International Biodiesel Workshop, Enhancing Biodiesel Development and Use Medan Oktober 2-4, 2001.
12. Priyanto U. 2005. *State of the Art Pengembangan Teknologi Bio Oil*. P3TPSE-TPSA BPPT
13. Reksowardojo, R.P. Buddy K., I.Made MTP, Brodjonegoro, T.H. Soerawidjaja, I. Syahrudin dan W. Arismunandar, 2005. *The Effect of Biodiesel Fuel from Physic Nut (Jatropha Curcas) On an Direct Injection (DI) Diesel Engine*. Inter Pasific Conf (IPC) on Aotomotif 13 th Korea.
14. Soerawidjaja TH. 2002. Sistem Ekstraksi Minyak Lemak Nabati Berskala Kecil /Koperasi, Procciding Seminar Rekayasa dan Proses Kimia . UNDIP. Semarang. Juli 2002
15. Soerawidjaja T, Adrisman T, Ucok WS, Tirta P, Iman KR, Krisna SP. 2005. Studi Kebijakan Penggunaan Biodiesel di Indonesia dalam Hariyadi P, Nuri A, Lilis N, Yuli S, (editor) 2005. *Kajian Kebijakan dan Kumpulan Artikel Penelitian Biodiesel*. Kementrian Ristek dan Teknologi RI – MAKSI IPB Bogor.
16. Sahirman, 2006. Perbaikan Kualitas Minyak Nabati sebagai Bahan Baku Biodiesel (Studi Kasus Minyak Nyamplung *Calophyllum inophyllum*) Journal Universitas Djuanda 1:11-18. Bogor
17. Sudradjat R., Sahirman, D. Setiawan 2007 Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Nyamplung Journal Penelitian Hasil hutan 25: 41-56 Bogor
18. Tyson KS. 2004. *Energy Efficiency and Renewable Energy*. US Departement of Energy
19. Wirawan S. 2005. *Biodeisel*. Seminar Teknologi untuk Negeri 2005 Biofuel Sebagai Bahan Bakar alternative
- Pengganti Bahan bakar minyak dan Tantangannya. PUSPITEK Serpong 22 Desember 2005.
20. Wilde JE, Stuart ML, Peter G. 2004. *Dietary Asssimilation and the Digestive Strategy of the Omnivorous Anomuran Land Crab Birgus Latro (Coenobitidae)* J.Comp. Physiol B 174:299-308