

KINETIKA REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA SAWIT

Jimmy

Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Nasional Malang
Jln. Bendungan Sigura-gura No. 2 Malang 65145, Telp. 0341-551431, Faks. 0341-553015
E-mail: j_roring@yahoo.com

Abstrak

Data kinetikareaksimerupakan salah satu model yang dapat membantumenciptakan efisiensi proses transesterifikasi. Penelitian ini bertujuan mempelajari kinetika reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dan menjadikan data hasil penelitian sebagai data awal untuk penelitian lebih lanjut. Untuk memperoleh data kinetika transesterifikasi minyak kelapa sawit digunakan variasi: temperatur 30, 45 dan 60°C, konsentrasi NaOH 1% terhadap berat minyak, nisbah molar minyak:metanol adalah 1:6, dan waktu reaksi: 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 45, 60, 90 dan 120 menit. Transesterifikasi minyak kelapa sawit berlangsung pada reaksi orde dua dengan: temperatur 60°C, laju reaksi terbaik sebesar 0,0158 mol/(L.menit), konstanta laju reaksi $k_1 = 1,6846 \times 10^{-4} \text{ L}/(\text{mol.menit})$ dan $k_2 = 5,1872 \times 10^{-5} \text{ L}/(\text{mol.menit})$, dan konversi FAME (Fatty Acid Methyl Ester) 86,61%.

Kata kunci: FAME, kinetika reaksi, minyak kelapa sawit, transesterifikasi

TRANSESTERIFICATION REACTION KINETICS OF PALM OIL

Abstract

Reaction kinetics data is one of the models which can help in making transesterification process efficient. This research aims to learn the kinetics of transesterification reaction of palm oil, and to make the research data usable as initial data for further research. To obtain the best kinetics data, we used temperature variation of 30, 45, and 60°C, NaOH concentration of 1% of the oil weight, molar ratio of oil:methanol is 1:6. Reaction times used in this study are 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 45, 60, 90 and 120 minutes. Transesterification of palm oil takes place in the second order reaction with temperature of 60°C, the best reaction rate 0.0158 mol/(L.minute), reaction rate constant $k_1 = 1,6846 \times 10^{-4} \text{ L}/(\text{mol.minute})$ and $k_2 = 5.1872 \times 10^{-5} \text{ L}/(\text{mol.minute})$, conversion 86.61% FAME (Fatty Acid Methyl Ester).

Keywords: FAME, kinetics of reaction, palm oil, transesterification

PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil yang biasa digunakan sebagai bahan bakar industri/transportasi mengandung banyak gas berbahaya (CO_2 , NO_x dan SO_x) yang dapat menyebabkan *global warming* dan polusi bagi lingkungan. Beberapa dekade terakhir pencarian akan bahan bakar yang *biodegradable* dan tidak beracun semakin marak. Bahan bakar alternatif yang berasal dari minyak nabati/lemak hewani menjadi

perhatian saat ini, karena dapat dikonversi menjadi bahan bakar pengganti bahan bakar fosil dan ramah lingkungan.

Biodiesel dihasilkan dari reaksi transesterifikasi minyak nabati atau hewan dengan metanol menggunakan katalis basa (umumnya KOH atau NaOH). Akhir-akhir ini, produksi alkil ester, secara khusus metil ester, dari minyak tumbuhan (seperti minyak kelapa sawit, minyak jarak pagar) menjadi sangat populer dalam proses pembuatan

biodiesel dari bahanbakuterbarukan. Proses transesterifikasi dengan katalis basa telah teruji, dan menghasilkan konversi > 90%. Secara ekonomis, biaya pembuatan biodiesel masih lebih tinggi dari bahan bakar solar, sehingga perlu ditemukan cara agar biaya produksi menjadi murah. Salah satu cara adalah menggunakan bahan baku yang tersedia dalam jumlah yang banyak, bahan baku tersebut adalah minyak kelapa sawit. Minyakkelapasawit merupakan bahan baku yang cukup potensial karena tersedia dalam jumlah melimpah, perkebunan yang luas, dan regulasi perdagangan yang baik.

Variabel proses yang penting dalam transesterifikasi adalah temperatur dan waktu. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari kinetika reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit.

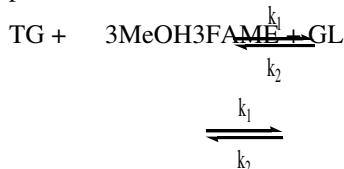
Kinetika Reaksi Transesterifikasi

Nisbah stoikiometri antara metanol dan trigliserida dalam persamaan reaksi transesterifikasi adalah 3:1. Feedman, et al (1986) mendapatkan kadar metil ester hanya 80% pada reaksi transesterifikasi selama 60 menit pada temperatur 60°C dengan nisbah tersebut. Upaya menggeser kesetimbangan dilakukan dengan penambahan konsentrasi pereaksi metanol menjadi 6:1 terhadap trigliserida. Hasilnya menunjukkan kenaikan kadar metil ester mencapai sekitar 98%. Beberapa peneliti lainnya, seperti Supranto (2002), Darnoko, et al (2000), Chitra, et al (2005) melakukan penelitian yang sama, dengan bahan baku berbeda dan menghasilkan kecenderungan yang sama.

Manurung (2007) telah melakukan transesterifikasi minyak kelapa sawit menjadi etil ester pada temperatur 80°C menggunakan katalis KOH sebanyak 1% dengan nisbah etanol/minyak adalah 10/1. Pendekatan penurunan persamaan kinetika menggunakan reaksi irreversibel orde dua. Model kinetika yang diperoleh adalah sesuai dengan model kinetika reaksi orde 2 yang sudah dibuat, dengan model persamaan:

$$r_{TG} = - \left[\frac{dC_{TG}}{dt} \right] = k C_{TG} C_E$$

Kinetika reaksi pembuatan biodiesel dari minyak bekas (jelantah) dan metanol dengan katalis KOH merupakan reaksi orde 2 pada temperatur kamar (Yuniwati, 2009). Darnoko (2000) melakukan transesterifikasi minyak kelapa sawit pada 60°C dengan nisbah methanol/minyak sebesar 6/1 dan mendapatkan kinetika reaksi orde dua. Model kinetika yang digunakan adalah reaksi reversible tiga tahap. Sehingga dalam penelitian ini, model kinetika reaksi transesterifikasi orde 2 yang digunakan dengan reaksi reversibel satu tahap sesuai persamaan dibawah ini.



sehingga diperoleh,

$$-r_A = - \frac{dC_A}{dt} = k_1 C_A^a C_B^b - k_2 C_C^c C_D^d \quad (1)$$

Penurunan persamaan (1), menggunakan asumsi sebagai berikut:

(1). Persamaan kinetika reaksi berdasarkan reaksi elementer dan reversibel sesuai koefisien stoikiometri, (2) Persamaan laju reaksi berdasarkan konsentrasi trigliserida (A) sebagai reaktan pembatas. Menggunakan asumsi reaksi terjadi melalui orde dua, persamaan (1) dapat dituliskan menjadi:

$$-r_A = - \frac{dC_A}{dt} = k_1 C_A C_{B_0} - k_2 C_C C_D \quad (2)$$

Jika :

$$C_A = C_{A_0} (1 - x_A)$$

$$C_B = C_{B_0} - C_{A_0} 3x_A = C_{A_0} (M - 3x_A)$$

$$\text{dimana } M = \frac{C_{B_0}}{C_{A_0}}$$

$$C_C = C_{C_0} + C_{A_0} 3x_A = C_{A_0} (M - 3x_A),$$

$$\text{dimana } C_{C_0} = 0, \text{ maka } C_C = C_{A_0} 3x_A$$

$$C_D = C_{D_0} + C_{A_0} 3x_A = C_{A_0} (M - 3x_A),$$

$$\text{dimana } C_{D_0} = 0, \text{ maka } C_D = C_{A_0} 3x_A$$

Persamaan (2) menjadi

$$C_{A_0} \frac{dx_A}{dt} = k_1 C_{A_0} (1 - x_A) C_{A_0} (M - 3x_A) - k_2 (C_{A_0} 3x_A) (C_{A_0} x_A)$$

$$\frac{dx_A}{dt} = k_1 C_{A_0} (1 - x_A) (M - 3x_A) - 3k_2 C_{A_0} x_A^2 \quad (3)$$

Saat tercapai kesetimbangan, berlaku persamaan

$$k_1 C_A C_B = k_2 C_C C_D$$

$$K_S = \frac{k_1}{k_2} = \frac{C_C C_D}{C_A C_B} = \frac{(C_{A_0} 3x_{AS})(C_{A_0} x_A)}{C_{A_0} (1 - x_{AS}) C_{A_0} (M - 3x_{AS})}$$

$$K_S = \frac{k_1}{k_2} = \frac{3x_{AS}^2}{(1 - x_{AS})(M - 3x_{AS})} \quad (4)$$

Substitusi pers. (4) ke pers. (3) :

$$\frac{dx_A}{dt} = k_1 C_{A_0} (1 - x_A) (M - 3x_A) - 3 \frac{k_1}{K_S} C_{A_0} x_A^2$$

$$\frac{dx_A}{dt} = k_1 C_{A_0} \left[(1 - x_A) (M - 3x_A) - \frac{3}{K_S} x_A^2 \right]$$

Apabila:

$$K = k_1 C_{A0}$$

$$Y = \left[(1 - x_A)(M - 3X_A) - \frac{3}{K_s} X_A^2 \right]$$

Selanjutnya :

$$\frac{dx_A}{dt} = KY$$

$$\frac{dx_A}{Y} = K dt$$

$$\frac{dx_A}{Y} = K \Delta t \quad (6)$$

Jika $\frac{dx_A}{dt}$ vs Y mendekati garis lurus maka orde reaksi merupakan reaksi orde 2. Selanjutnya harga K , k_1 dan k_2 dapat diperoleh melalui persamaan (6) dengan membuat plot $\frac{1}{Y}$ vs x_A . dan Luasan di bawah kurva merupakan harga $K \cdot \Delta t$ yang dapat dihitung dengan bantuan integral numerik.

METODE PENELITIAN

Bahan

Minyak kelapa sawit yang digunakan adalah minyak goreng kemasan merk Sania yang dibeli di Swalayan. Metanol dan NaOH p.a yang digunakan mempunyai konsentrasi 99%, dibeli dari Panadia Laboratory.

Alat

Penelitian ini menggunakan reaktor labu leher tiga dengan volume 1 liter, pendingin balik dan *hot plate magnetic stirrer* (merk *Thermo Scientific*). Untuk pengambilan sampel menggunakan pipet volum 25 mL.

Prosedur penelitian:

Melarutkan 5 gram NaOH dalam 112,88 gram metanol (3,5232 mol metanol). Memanaskan 500 gr minyak (0,5872 mol minyak) ke dalam labu leher tiga dan memanaskan minyak sesuai dengan variabel temperatur transesterifikasi, kemudian memasukkan larutan NaOH alkoholik ke dalam minyak dan transesterifikasi dilakukan selama 120 menit. Memipet 25 mL sampel, dengan cara sebagai berikut: untuk 10 menit pertama dilakukan pengambilan per-

2 menit, kemudian 20 menit ke dua dilakukan pengambilan sampel per 10 menit, 30 menit selanjutnya dilakukan pengambilan sampel per 15 menit dan 60 menit terakhir dilakukan pengambilan sampel per 30 menit. Setiap sampel yang diambil, ditambahkan 5 tetes HCl 0,5 N untuk menetralkan NaOH dan dicucudengan air. Pencucian dilakukan sampai air pencucian tetap jernih. Analisis sampel menggunakan GC dan dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang.

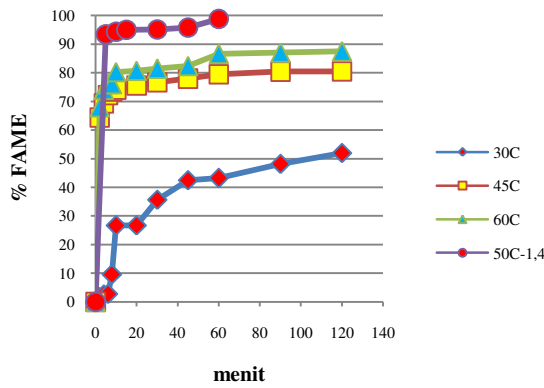
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh temperatur dan waktu terhadap perolehan biodiesel dan trigliserida

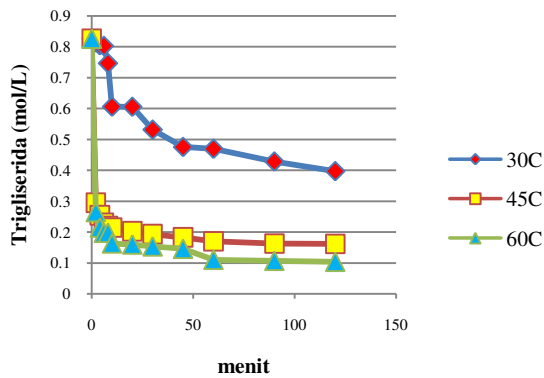
Temperatur sangat berpengaruh dalam reaksi transesterifikasi. Gambar 2 dan Gambar 3 memperlihatkan hubungan konsentrasi FAME dan trigliserida pada berbagai temperatur dan waktu. Pada temperatur 30°C, konsentrasi metil ester relatif rendah (hanya sekitar 40% pada 60 menit dan 50% pada 120 menit). Sedangkan pada temperatur 45°C dan 60°C, konsentrasi metil ester yang diperoleh cukup tinggi dan relatif sama pada kedua kondisi tersebut, meskipun sedikit lebih tinggi pada 60°C. Kenaikan temperatur akan meningkatkan peluang tumbukan antar molekul trigliserida dan metanol sehingga reaksi lebih banyak terjadi.

Pada awal reaksi (10 menit pertama), transesterifikasi berlangsung cepat dan kenaikan konsentrasi metil ester sangat signifikan. Hal ini dapat dilihat dari konsentrasi FAME yang berkisar antara 70-80%. Semakin lama waktu transesterifikasi, konversi yang dihasilkan juga semakin meningkat (konsentrasi metil ester meningkat). Kenaikan konsentrasi hanya berlangsung sampai 60 menit pertama pada temperatur 45°C dan 60°C. Kondisi ini disebabkan karena laju reaksi yang sangat cepat pada awal reaksi sehingga akan cepat mencapai kesetimbangan reaksi. Ada kesetimbangan ini, laju pembentukan metil ester relatif berhenti sehingga konsentrasinya relatif konstan. Sedangkan pada temperatur 30°C, konsentrasi metil ester masih mengalami peningkatan sampai menit ke-120. Pada temperatur ini, laju reaksi cukup lambat untuk mencapai kesetimbangan. Berdasarkan hasil penelitian Freedman (1986), kesetimbangan reaksi transesterifikasi memerlukan waktu 4 jam pada temperatur kamar.

Perolehan FAME optimum diperoleh pada waktu 60 menit pada temperatur 45°C dan 60°C.



Gambar 2. Konsentrasi FAME vs waktu



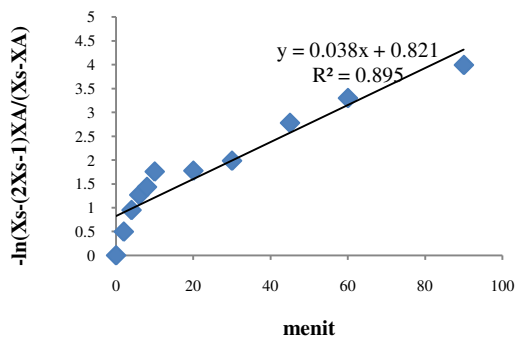
Gambar 3. Konsentrasi trigliserida vs waktu

Orde Reaksi dan Konstanta Reaksi Transesterifikasi

Penentuan orde reaksi menggunakan dua pendekatan yaitu orde satu dan orde dua. Berdasarkan persamaan kinetika reaksi yang sudah dibuat, hasil plot data yang bersangkutan harus merupakan garis linier. Untuk reaksi transesterifikasi orde satu dibuat plot

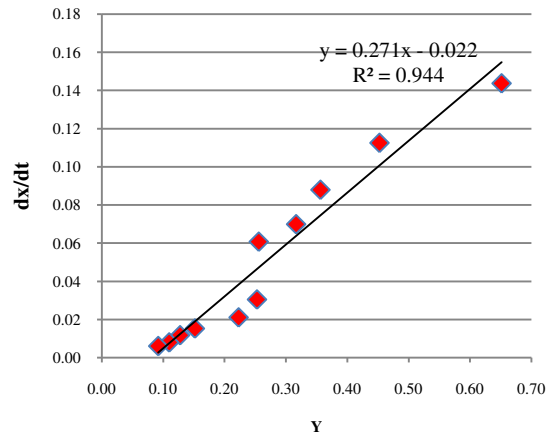
$$-\ln\left(1 - \frac{x_A}{x_S}\right) \text{ vs } t, \text{ berdasarkan persamaan:}$$

$$-\ln\left(1 - \frac{x_A}{x_S}\right) = \frac{M + 1}{M + x_S} k_1 t \cdot$$



Gambar 4. Pembuktian orde reaksi 1

Untuk reaksi transesterifikasi orde 2, digunakan plot dx/dt vs Y



Gambar 5. Hubungan dx/dt vs Y pada temperatur 30°C sebagai bukti reaksi orde 2

Membandingkan kedua gambar di atas, Gambar 5 menunjukkan kelinieran yang lebih baik dengan $R^2 = 0,9442$, sehingga reaksi transesterifikasi minyak kelapa sawit dapat didekatkan dengan reaksi orde 2.

Laju reaksi dan konstanta kinetika reaksi transesterifikasi (Tabel 1), terlihat konstanta dipengaruhi temperatur. Laju reaksi semakin meningkat seiring temperatur meningkat, hal serupa terjadi terhadap konstanta ke kanan (k_1) dan konstanta ke kiri (k_2) dimana semakin tinggi temperatur maka laju reaksi ke kanan semakin meningkat dan semakin tinggi temperatur laju reaksi ke kiri juga meningkat. Tetapi terjadi penyimpangan seperti yang terlihat pada temperatur 45°C dimana k_1 dan k_2 mempunyai nilai yang hampir sama.

Pada penelitian ini juga dilakukan pengkondisian ekstrim terhadap jumlah metanol nisbah (1:10) dan katalis yang digunakan (1,4% NaOH) untuk melihat apakah hal tersebut dapat meningkatkan laju reaksi transesterifikasi dan terbukti bahwa dengan meningkatkan metanol berlebih dan katalis yang lebih banyak akan diperoleh FAME yang jauh lebih banyak yaitu 98,73 % dan laju reaksi yang diperoleh sangat signifikan dibandingkan menggunakan metanol nisbah (1:6) dan katalis 1% NaOH.

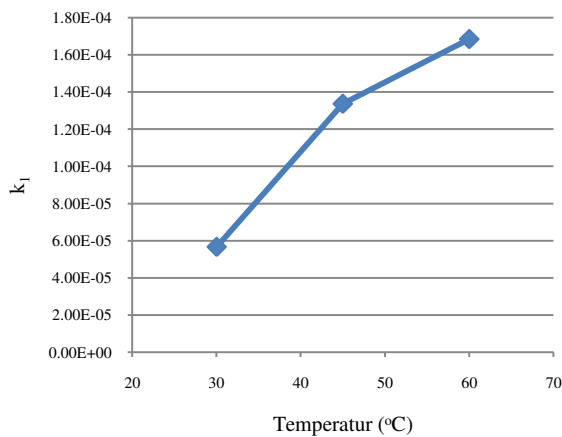
Pada penelitian ini juga dilakukan pengkondisian ekstrim terhadap jumlah metanol nisbah (1:10) dan katalis yang digunakan (1,4% NaOH) untuk melihat apakah hal tersebut dapat meningkatkan laju reaksi transesterifikasi dan terbukti bahwa dengan meningkatkan metanol berlebih dan katalis yang lebih banyak akan diperoleh FAME yang jauh lebih banyak yaitu 98,73 % dan laju reaksi yang diperoleh sangat signifikan dibandingkan menggunakan metanol nisbah (1:6) dan katalis 1% NaOH.

Tabel 1. Laju reaksi dan konstanta kinetika reaksi

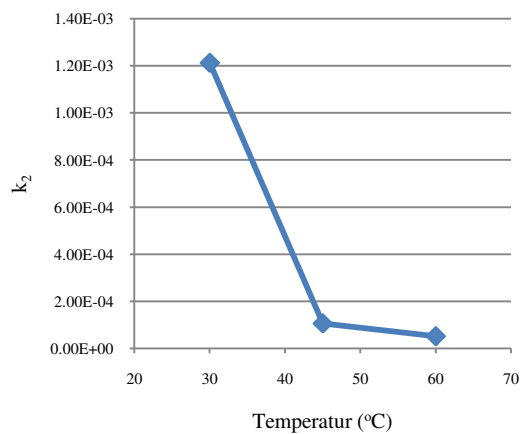
	30°C	45°C	60°C	50°C (1:10, 1,4%)
k_1 L/(mol.menit)	$5,6696 \times 10^{-5}$	$1,3370 \times 10^{-4}$	$1,6846 \times 10^{-4}$	$4,5711 \times 10^{-4}$
k_2 L/(mol.menit)	$1,2123 \times 10^{-3}$	$1,0652 \times 10^{-4}$	$5,1872 \times 10^{-5}$	$7,8891 \times 10^{-5}$
Laju reaksi mol/(L.menit)	0,0024	0,0118	0,0158	0,1288

Turner (2005) menyatakan bahwa konstanta ke kanan (k_1) semakin naik seiring kenaikan temperatur dan rasio molar (minyak/alkohol) sedangkan konstanta ke kiri (k_2) semakin turun seiring kenaikan temperatur dan rasio molar.

Pada Gambar 5 dan 6 terjadi hal yang serupa seperti yang dijelaskan di atas. Peningkatan konstanta kinetika reaksi berbanding lurus dengan peningkatan %FAME, hal tersebut dikarenakan kereaktifan metanol semakin meningkat seiring mendekati titik didih metanol sehingga konstanta kinetika reaksi juga semakin meningkat.



Gambar 6. Hubungan k_1 (konstanta ke kanan) dan Temperatur



Gambar 7. Hubungan k_2 (konstanta ke kiri) dan Temperatur

SIMPULAN

Semakin tinggi temperatur operasi transesterifikasi kelapa sawit yang digunakan laju reaksi akan semakin meningkat (laju reaksi ke kanan maupun ke kiri). Laju reaksi terbaik transesterifikasi minyak kelapa sawit diperoleh pada temperatur 60°C yaitu sebesar 0,0158 mol/(L.menit) dengan konstanta laju reaksi $k_1 = 1,6846 \times 10^{-4}$

DAFTAR PUSTAKA

- Bart, J. C. T., Palmeri, N., Cavallaro, S. (2010). *Biodiesel Science and Technology*. Woodhead Publishing Series in Energy: Number 7.
- Chitra, P., Venkatachalam., and Sampathrajan, A. (2005). *Optimization of Experimental Conditions for Biodiesel Production from Alkali-catalysed Transesterification of Jatropha curcas Oil*. Energy for Sustainable Development. Vol. IX No.3, September 2005, pp.13-18.
- Darnoko, D., Cheryan, M. (2000). *Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor*. JAOCS. Vol 77, no 12
- Darnoko, D., Munir Cheryan (2000). *Kinetics of Palm Oil Transesterification in a Batch Reactor*, JAOCS, 77, pp. 1263-1267.
- Freedman, B., Royden O. B. and Everett H. P. (1986). *Transesterification Kinetics of Soybean Oil*. JAOCS; 63: 10-5.
- Knothe, G.I, Gerpen, J. V., Krahl, J. (2005). *The Biodiesel Handbook*. AOCS Press, Illinois
- Manurung, R (2007). *Kinetika Transesterifikasi Minyak Sawit Menjadi Etil Ester (Biodiesel)*, Jurnal Teknologi Proses; 6(1): 39-44.
- Noureddini, H. and D. Zhu (1997). *Kinetics of Transesterification of Soybean Oil*. JAOCS; 74: 1457-63.
- Supranto (2002). *The Biodiesel Process Production from Vegetable Oil*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Turner, L.T. (2005). *Modeling and Simulation of Reaction Kinetics for Biodiesel Production*. Mechanical Engineering, North Carolina State University.
- Yuniwati, M. & Karim, A. (2009). *Kinetika Reaksi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas (Jelantah) dan Metanol dengan Katalisa-*

tor KOH. Jurnal Teknologi, volume 2 nomor 2, 130-136.