

ETANOLISIS MINYAK SAWIT DENGAN KATALISATOR KALIUM HIDROKSID DAN PENAMBAHAN UREA DALAM SEBUAH REAKTOR ALIR TANGKI BERPENGADUK DITINJAU DARI SEGI KINETIKA

*Kinetics of Ethanolysis of Palm Oil Using Potassium Hydroxide
as Catalyst and the Addition of Urea in a Single Continuous
Stirred Tank Reactor*

Sari Purnavita¹, I. B. Agra², and M. Fahrurrozi²

Program Studi Teknik Kimia
Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada

ABSTRACT

Several research works have been done to increase the conversion of ethanolysis of fatty oil by displacing the equilibrium to the right. However, some more improvements might be required. In this study, urea was added to the reaction mixture to bind the glycerol formed, so that the reversible reaction could be shifted to the right.

Ethanolysis of palm oil was initiated with heating the palm oil in the reactor. At the same time, ethanol containing a certain amount of potassium hydroxide was heated in another vessel. As soon as the desired reaction temperature was reached, the two reactants and urea were mixed quickly in the reactor. Afterwards, the palm oil, urea, and the ethanol containing potassium hydroxide were introduced into the reactor continuously and the product flowed out of the reactor through an overflow system. The glycerol contents of the products were determined with a refractometer, and then with Gas Chromatography.

The experimental data showed that the rate of ethanolysis of palm oil was controlled by chemical reaction. The heterogeneous reaction model was more suitable to describe the kinetic of the reaction. The addition of urea to the reaction mixture increased

¹ Jurusan Teknik Kimia AKIN St. Paulus, Semarang

² Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

the conversion 17 % compared to that without urea. The highest conversion (82,05%) was reached at temperature of 348 K, stirring speed of 800 rpm, the addition of 1 % potassium hydroxide, and 5 % urea. The property of ester produced approached the specification of diesel oil except for its viscosity.

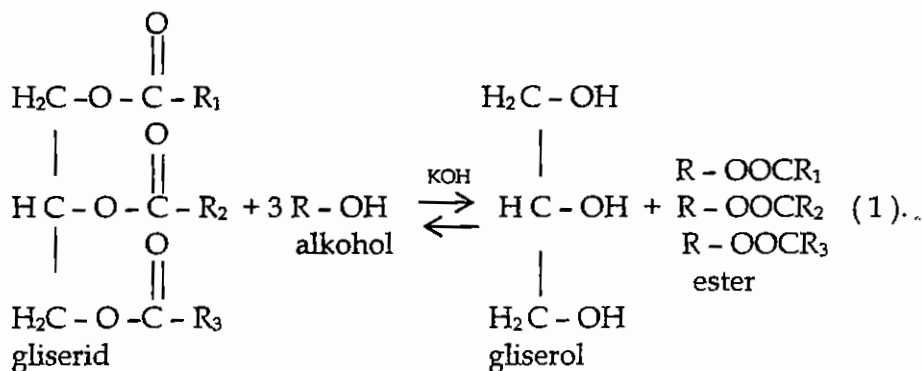
Keyword : *Ethanolysis, palm oil, kinetics of ethanolysis, urea, continuous.*

PENGANTAR

Penelitian-penelitian dalam usaha meningkatkan konversi alkoholisis minyak nabati dengan menggeser keseimbangan reaksi ke kanan, sudah banyak dilakukan, tetapi masih ada kemungkinan lain yang bisa diperbaiki untuk meningkatkan konversi. Salah satu upaya untuk meningkatkan konversi keseimbangan adalah memisahkan salah satu hasil reaksi (Groggins, 1958).

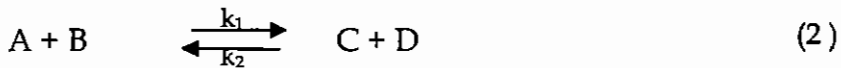
Alkoholisis secara bertahap dengan disertai pemisahan lapisan gliserol, dapat meningkatkan konversi (Wiratni, 1995). Selain itu, penambahan garam dapur sebagai pengikat gliserol, dapat memperbesar konversi sekitar 22 % dibandingkan dengan yang tanpa penambahan garam dapur (Sofiyah dkk, 1996). Alkoholisis bertahap membutuhkan waktu panjang, sedangkan penambahan garam dapur menimbulkan suasana korosif. Pada penelitian ini, upaya menggeser keseimbangan reaksi ke kanan dilakukan dengan penambahan urea sebagai pengikat gliserol.

Alkoholisis minyak nabati dapat ditulis dengan persamaan berikut.



dengan R, R₁, R₂, dan R₃ adalah gugus alkil.

Asam lemak minyak sawit mempunyai panjang rantai yang hampir sama, dan jika dinyatakan dalam ekivalen, persamaan (2) dapat ditulis sebagai :



1. Model reaksi homogen

Keseimbangan reaksi dapat digeser ke kanan dengan penambahan senyawa pengikat gliserol (urea), sehingga reaksi yang semula bolak-balik menjadi searah. Dan jika etanol yang digunakan cukup berlebihan, maka kecepatan reaksi dapat didekati dengan reaksi orde satu semu.

$$(-r_A) = k_1 C_A \quad (3)$$

Neraca massa komponen A dalam reaktor alir tangki berpengaduk :

$$F_v C_{A0} - F_v C_A - V_R (-r_A) = 0 \quad (4)$$

Substitusi persamaan (3) ke persamaan (4), dan dengan $V_R/F_v = \tau$, menghasilkan :

$$\tau = \frac{C_{A0} - C_A}{k_1 C_A} \quad (5)$$

Jika konversi, $x_A = (C_{A0} - C_A)/C_{A0}$, maka persamaan (5) menjadi :

$$\frac{x_A}{(1 - x_A)} = k_1 \tau \quad (6)$$

Apabila grafik hubungan antara $\frac{x_A}{(1 - x_A)}$ dengan τ berupa garis

lurus, maka reaksi etanolisis mengikuti reaksi orde satu semu, dan nilai k_1 dihitung dengan cara kuadrat terkecil.

2. Model reaksi heterogen

Perpindahan massa volumetris etanol ke fase minyak dapat didekati dengan :

$$N_B = K_{C2} a (H C_B - C_{B2}) \quad (7)$$

Dengan menggabungkan persamaan (7) dan persamaan perpindahan massa etanol dari fase etanol ke antarfase dan dari antarfase ke fase minyak, diperoleh :

$$\frac{1}{K_{c2} a} = \frac{H}{k_1 a} + \frac{1}{k_2 a} \quad (8)$$

Persamaan kecepatan reaksi etanol dengan minyak dalam fase minyak (fase 2) :

$$r = k_r C_A C_{B2} \quad (9)$$

Pada keadaan ajeg, persamaan (7) sama dengan persamaan (9), sehingga diperoleh

$$C_{B2} = \frac{K_{c2} a H C_B}{k_r C_A + K_{c2} a} \quad (10)$$

Substitusi persamaan (10) ke persamaan (9), memberikan :

$$r = \frac{C_A C_B}{\left(\frac{1}{H k_r} + \frac{C_A}{H K_{c2} a} \right)} \quad (11)$$

Kalau $\frac{1}{H k_r} + \frac{C_A}{H K_{c2} a}$ disebut $1/k_t$, maka persamaan (11)

menjadi :

$$r = k_t C_A C_B \quad (12)$$

Bila $k_{r1} = H k_r$ dan $k_2 = H K_{c2} a$, maka $1/k_t$ dapat ditulis menjadi :

$$\frac{1}{K_t} = \frac{1}{K_{r1}} + \frac{C_A}{K_2} \quad (13)$$

Karena nilai $(r_A) = (r)$, maka dengan memasukkan persamaan (12) ke dalam persamaan (4), didapat :

$$\tau = \frac{C_{A0} - C_A}{k_t C_A C_B} \quad (14)$$

Jumlah senyawa SiO_2 (A) dan NaOH selalu ekuivalen sehingga $C_B = C_{A0} - x$. Dengan demikian, jika C_{B0}/C_{A0} disebut M, maka persamaan (14) dapat dinyatakan dengan bentuk :

$$\tau = \left(\frac{1}{kr_1} + \frac{C_{A0}(1-x_A)}{k_2} \right) \left(\frac{x_A}{C_{A0}(1-x_A)(M-x_A)} \right) \quad (15)$$

Dengan data konversi, x_A , dengan berbagai waktu tinggal, τ , dan persamaan (15), nilai kr_1 dan k_2 dapat dihitung dengan cara kuadrat terkecil. Dalam hubungan ini : N_B = perpindahan massa volumetris (mgek/mL menit), H = tetapan Henry, C_B = konsentrasi etanol (mgek/mL), C_A = konsentrasi minyak (mgek/mL), k_{C1} a = tetapan perpindahan massa volumetris dalam fase 1 (menit⁻¹), k_{C2} a = tetapan perpindahan massa volumetris dalam fase 2 (menit⁻¹), kr = tetapan kecepatan reaksi heterogen (mL/mgek menit), k_2 = tetapan perpindahan massa (menit⁻¹), k_t = tetapan kecepatan reaksi keseluruhan (mL/mgek menit), r = kecepatan reaksi orde 2 (mgek/mL menit), $(-r_A)$ = tetapan kecepatan reaksi orde satu (menit⁻¹).

Penelitian ini bertujuan mempelajari kinetika reaksi etanolisis minyak sawit secara sinambung dengan bantuan katalisator kalium hidroksid dan penambahan urea dalam reaktor alir tangki berpengaduk, (terutama peran urea) terhadap konversi.

CARA PENELITIAN

Bahan baku penelitian ini berupa minyak sawit . Dari hasil analisis ternyata minyak sawit mempunyai rapat massa 0,917 g/mL, kadar air 0,0088 %, ekuivalen asam lemak total 3,1455 mgek/g minyak, dan ekuivalen asam lemak bebas 0,1425 mgek/g minyak. Etanol memiliki rapat massa 0,8023 g/mL dan berkadar 95 %. Kalium hidroksid teknis dipakai sebagai katalisator dan urea teknis sebagai pengikat gliserol

Rangkaian alat dapat dilihat pada gambar 3. Tempat pelaksanaan reaksi berupa reaktor alir tangki berpengaduk yang dilengkapi dengan termostat, flowmeter, termometer, pengumpan urea, pengaduk merkuri, tangki pengumpan reaktan, dan pemanas umpan. Reaktor diisi minyak sawit sebagai umpan awal. Etanol yang telah bercampur dengan KOH dipanaskan di dalam labu pemanas etanol umpan awal. Pemanas air dan pengaduk merkuri dihidupkan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peubah proses yang dipelajari meliputi waktu, kecepatan pengadukan, suhu, dan jumlah penambahan urea. Kisaran yang dipelajari meliputi waktu 15-90 menit, 300 - 800 putaran per menit, 300 - 348 K, dan urea 1 - 5 % berat minyak. Hasil-hasil yang didapat tertera pada daftar-daftar dan gambar-gambar berikut.

a. Pengaruh kecepatan pengadukan

Pengaruh waktu tinggal dan kecepatan pengadukan terhadap konversi gliserid, tertera pada daftar 1. Kecepatan pengadukan (N) yang makin besar, meningkatkan konversi gliserid untuk waktu tinggal yang sama, karena pemerataan suhu semakin baik, pencampuran etanol dan minyak semakin bagus, dan tumbukan antara molekul-molekul pereaksi semakin banyak.

Daftar 1. Pengaruh waktu tinggal dan kecepatan pengadukan terhadap konversi

(Suhu 348 K, M = 8,93 mgek etanol/mgek gliserid, KOH 1 % berat minyak, jumlah urea 3 % berat minyak)

Waktu tinggal, Menit	Konversi, bagian, pada kecepatan pengadukan, ppm					
	300	400	500	600	700	800
15	0,3687	0,3786	0,3878	0,3965	0,4017	0,4081
30	0,5547	0,5439	0,5576	0,5645	0,5784	0,5851
45	0,6547	0,6579	0,6655	0,6827	0,6901	0,7075
60	0,7166	0,7252	0,7212	0,7352	0,7401	0,7451
75	0,7602	0,7607	0,7798	0,7758	0,7845	0,7909
90	0,7957	0,7999	0,8055	0,8155	0,8188	0,8202

Model 1. Nilai tetapan kecepatan reaksi model 1 (k_1), diperoleh dari hubungan antara $x_A/(1-x_A)$ dengan waktu tinggal, τ (menit), dengan cara kuadrat terkecil, dan nilainya terkumpul pada daftar 2.

Daftar 2. Nilai k_1 pada berbagai kecepatan pengadukan

N	300 ppm	400 ppm	500 ppm	600 ppm	700 ppm	800 ppm
k_1	0,0426	0,0434	0,0455	0,0474	0,0489	0,0504
Ralat %	2,71	3,94	4,88	4,59	4,59	4,53

Hubungan antara k_1 dengan N terlukis pada gambar 2 dan persamaannya dapat ditulis :

$$k_1 = 0,01495 N^{0,1807} \quad (16)$$

Dari persamaan (16) tampak bahwa indeks Reynolds mempunyai nilai 0,1807, yang jauh lebih rendah dari 0,5. Jadi, reaksi kimialah yang mengendalikan kecepatan reaksi keseluruhan. (Johnstone and Thring, 1957)

Model 2. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap nilai kr_1 , k_2 , Rk , dan Rd , disajikan pada daftar 3.

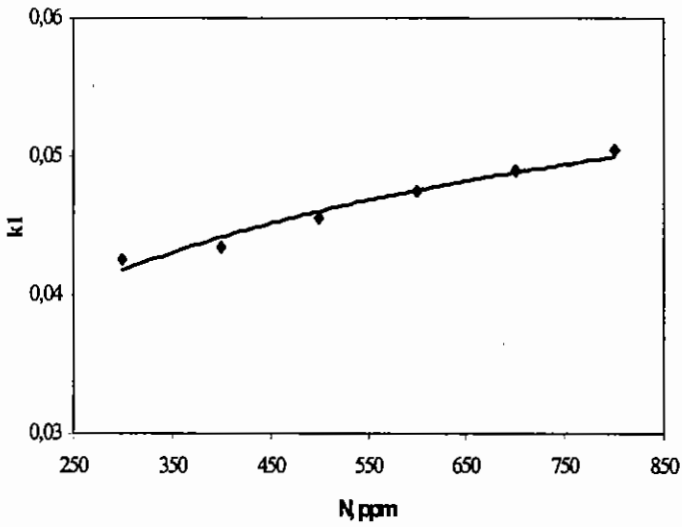
Daftar 3. Nilai kr_1 , k_2 , Rk , dan Rd pada berbagai kecepatan pengadukan

N ppm	kr_1	k_2	Rk	Rd	Ralat %
300	0,0052	0,0145	192,36	68,86	0,91
400	0,0053	0,0146	189,67	68,35	2,08
500	0,0055	0,0147	181,37	68,02	2,10
600	0,0058	0,0148	173,35	67,61	2,52
700	0,0060	0,0150	167,25	66,46	1,67
800	0,0062	0,0151	161,25	66,03	2,52

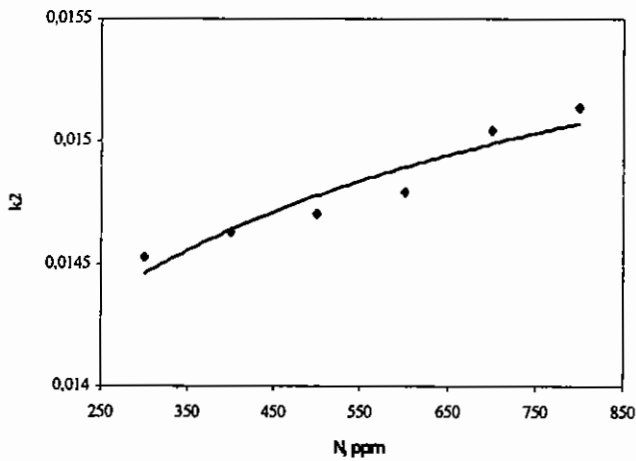
Hubungan antara k_2 dengan N dapat dilihat pada gambar 3 dan persamaan (17) :

$$k_2 = 0,012 N^{0,0424} \quad (17)$$

Daftar 3 menunjukkan bahwa nilai hambatan reaksi kimia (Rk) lebih besar (2,4 - 2,8 kali) daripada hambatan perpindahan massa (Rd), sehingga dapat disimpulkan bahwa langkah yang mengendalikan proses etanolisis adalah reaksi kimia.



Gambar 2. Hubungan k_1 dengan N



Gambar 3. Hubungan k_2 dengan N

b. Pengaruh suhu

Daftar 4 menunjukkan pengaruh waktu dan suhu terhadap konversi.

Daftar 4. Pengaruh waktu tinggal dan suhu reaksi terhadap konversi
(Kecepatan pengadukan 800 ppm, M = 8,93 mg/kg etanol/mg/kg gliserid, KOH 1 %, jumlah urea 3 %)

Waktu tinggal, Menit	Konversi, bagian, pada suhu					
	300 K	308 K	318 K	328 K	338 K	348 K
15	0,0598	0,1065	0,1636	0,2309	0,3195	0,4081
30	0,1113	0,1902	0,2765	0,3781	0,4889	0,5851
45	0,1606	0,2633	0,3725	0,4835	0,5789	0,7075
60	0,2031	0,3199	0,4369	0,5478	0,6624	0,7451
75	0,2401	0,3723	0,4958	0,6009	0,7183	0,7909
90	0,2774	0,4108	0,5345	0,6501	0,7437	0,8202

Makin tinggi suhu (T), makin besar konversi yang dicapai untuk waktu reaksi yang sama, sebab gerakan molekul-molekul pereaksi makin besar. Selain itu, pencampuran etanol dengan minyak dan juga urea dengan gliserol hasil reaksi, semakin bagus dan cepat.

Model 1. Nilai k_1 dihitung dengan cara yang sama seperti perhitungan pada pengaruh kecepatan pengadukan, dan hasilnya tertera dalam daftar 5.

Daftar 5. Nilai k_1 pada berbagai suhu

Suhu	300 K	308 K	318 K	328 K	338 K	348 K
k_1	0,0042	0,0078	0,0129	0,0204	0,0326	0,0504
Ralat %	0,54	0,83	1,17	1,40	3,16	4,53

Semakin tinggi suhu reaksi, tetapan kecepatan reaksi semakin besar pula. Peningkatan suhu sebesar 10 °C menaikkan nilai k_1 1,54 - 2,31.

Hubungan antara k_1 dengan T terlukis pada gambar 4 dan persamaannya :

$$k_1 = 170757,6 e^{-5225,8/T} \quad (18)$$

Dari persamaan (18), diperoleh tenaga pengaktif, E, sebesar 10383,66 cal/gmol dan faktor frekuensi, A, 1,707576. 10⁵ (menit)⁻¹. Dari

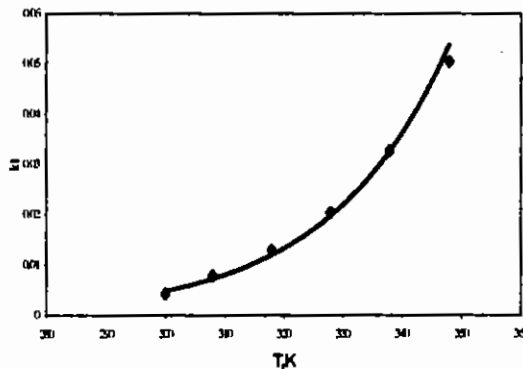
kenaikan nilai k_1 dan besarnya nilai E , maka reaksi kimialah yang mengendalikan jalannya proses sesuai dengan yang dikemukakan oleh Westerterp dan kawan-kawan (1984).

Model 2. Hubungan antara kr_1 , k_2 , R_k , dan R_d dengan suhu tertera dalam daftar 6.

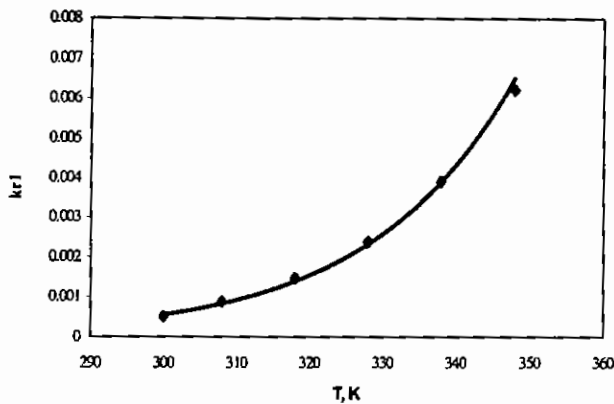
Daftar 6. Nilai kr_1 , k_2 , R_k , dan R_d untuk peubah suhu

Suhu K	kr_1	k_2	R_k	R_d	Ralat %
300	0,0005	0,0032	1999,60	310,86	0,61
308	0,0009	0,0134	1153,90	74,48	0,67
318	0,0015	0,0140	679,17	71,22	1,15
328	0,0024	0,0151	420,59	66,43	1,08
338	0,0039	0,0151	256,81	66,23	2,18
348	0,0062	0,0151	161,25	66,03	2,52

Nilai-nilai kr_1 bertambah dengan naiknya suhu, tetapi R_k menurun. Sebaliknya, nilai-nilai k_2 dan R_d hampir tetap untuk kisaran suhu 308 K sampai 348 K. Peningkatan suhu 10°C memperbesar nilai kr_1 1,59 - 2,17 kali. Dari suhu 300 K ke suhu 318 K, ternyata R_d turun sekali, mungkin karena pada suhu kamar perpindahan massa sulit. Tetapi, pada suhu lebih dari 318 K, R_d hampir tetap, sebab pada kisaran suhu itu, etanol bercampur baik sekali dengan minyak sawit.



Gambar 4. Hubungan k_1 dengan T



Gambar 5. Hubungan kr_1 dengan T

Hubungan antara kr_1 dengan T terlihat pada gambar 5 dan persamaan (19) :

$$kr_1 = 31132,26 e^{-5369,2/T} \quad (19)$$

Dari persamaan (19) didapat nilai faktor frekuensi (A) $3,1132 \times 10^4$ mL/ (mgek . menit) dan tenaga pengaktif 10668,6 cal/gmol. Nilai R_k lebih besar daripada R_d , sehingga reaksi kimialah yang mengendalikan proses secara keseluruhan. Kesimpulan di atas, diperkuat oleh kenaikan nilai kr_1 dan besarnya nilai E.

c. Pengaruh jumlah urea

Pengaruh penambahan urea terhadap konversi tampak pada daftar 7.

Daftar 7. Pengaruh waktu tinggal dan jumlah penambahan urea terhadap konversi

(Kecepatan pengadukan 800 ppm, M = 8,93 mgek etanol/ mgek gliserid, KOH 1 %, suhu 348 K)

Waktu tinggal, Menit	Konversi, bagian, pada jumlah urea					
	0%	1%	2%	3%	4%	5%
15	0,2728	0,294	0,3227	0,4081	0,4099	0,4098
30	0,4332	0,4559	0,4885	0,5851	0,5855	0,5889
45	0,5476	0,5605	0,6104	0,7075	0,6801	0,6855
60	0,6063	0,6411	0,6599	0,7451	0,7488	0,7598
75	0,6603	0,6802	0,7162	0,7909	0,8022	0,7909
90	0,6991	0,7212	0,7501	0,8202	0,8155	0,8205

Penambahan urea meningkatkan konversi untuk waktu tinggal yang sama, karena urea mengikat gliserol yang terbentuk, sehingga terpisah dari fase hasil reaksi.

Model 1. Nilai k_1 dihitung dengan cara yang sama dengan pada peubah lainnya, dan hasilnya terkumpul pada daftar 8.

Daftar 8. Nilai k_1 pada berbagai jumlah penambahan urea

Ur	0 %	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %
k_1	0,0259	0,0287	0,0333	0,0504	0,0503	0,0507
Ralat %	1,71	2,11	2,99	4,53	5,56	4,12

Semakin banyak jumlah urea (Ur) yang ditambahkan, gliserol yang dapat diikat makin banyak, sehingga reaksi bergeser ke kanan. Dengan demikian, proses yang semula merupakan reaksi bolak-balik (yang tanpa urea) menjadi reaksi searah.

Hubungan k_1 dengan Ur dapat dinyatakan dengan gambar 6 persamaan (20) :

$$k_1 = 0,0282 U_r^{0,404} \quad (20)$$

Persamaan (20) hanya berlaku pada kisaran jumlah urea 1 - 5 % berat minyak.

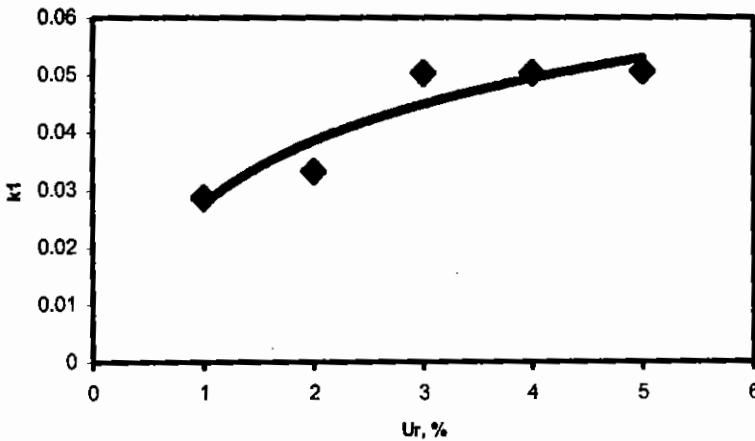
Model 2. Penambahan urea berpengaruh cukup besar pada nilai kr_1 , tetapi hampir tidak berpengaruh terhadap nilai k_2 (lihat daftar 9).

Daftar 9. Nilai kr_1 , k_2 , R_k , dan R_d pada berbagai jumlah penambahan urea

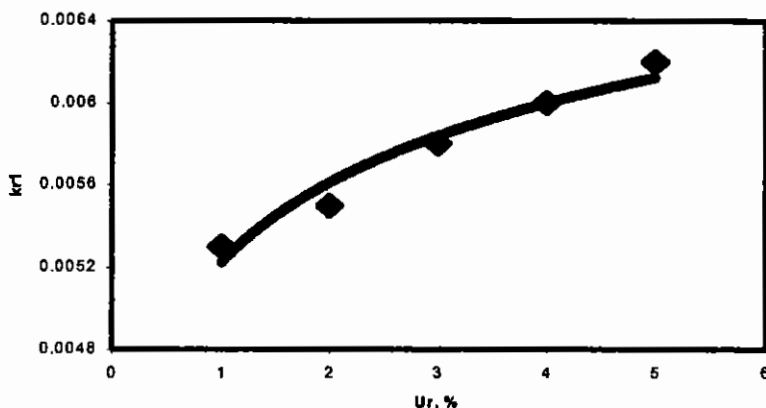
U_r %	Kr_1	k_2	R_k	R_d	Ralat %
0	0,0052	0,0145	192,36	68,86	2,14
1	0,0053	0,0146	189,67	68,35	2,04
2	0,0055	0,0147	181,37	68,02	1,89
3	0,0062	0,0151	161,25	66,03	1,57
4	0,0058	0,0148	173,35	67,61	2,52
5	0,0060	0,0152	167,25	66,46	3,27

Hubungan antara kr_1 dengan U_r terlukis pada gambar (7) dan persamaan (21) :

$$kr_1 = 0,0053 U_r^{0,082} \quad (21)$$



Gambar 6. Hubungan k_1 dengan U_r



Gambar 7. Hubungan k_{r1} dengan Ur

Persamaan (21) berlaku untuk jumlah urea 1 - 5 % berat minyak sawit.

Analisis model

Model 1 dan model 2 kedua-duanya memberikan kesimpulan bahwa reaksi kimia yang mengendalikan proses secara keseluruhan. Kedua model memberikan ralat kurang dari 10%, tetapi kesalahan rata-rata hasil penelitian pada model 2 lebih kecil dibandingkan dengan model reaksi homogen. Hal itu mungkin disebabkan oleh pencampuran etanol dengan minyak dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan dan suhu. Dengan demikian, model (2) lebih tepat diterapkan untuk semua keadaan proses.

d. Perbandingan dengan penelitian lain

Penelitian etanolisis minyak sawit dengan penambahan urea memberikan konversi yang agak lebih besar dan waktu reaksi untuk penelitian ini lebih pendek (daftar 10) jika dibandingkan dengan penelitian minyak jarak keyar yang menggunakan metode dua tahap. Konversi tertinggi yang bisa dicapai pada penelitian ini lebih tinggi daripada minyak biji kapuk yang memakai NaCl sebagai pengikat gliserol. NaCl lebih bersifat korosif daripada urea.

Daftar 10. Perbandingan hasil penelitian dengan penelitian lain

Kondisi operasi	Jenis minyak		
	m.jarak kepyar*	m.biji kapuk**	m.sawit***
1. Tekanan operasi	1 atm	1 atm	1 atm
2. Suhu tertinggi	356 K	355 K	348 K
3. Perbandingan pereaksi (mgek etanol/ mgek minyak)	4,13	3,34	8,93
4. Katalisator	H2SO4	NaOH	KOH
5. Konversi total, bagian	0,8202	0,6774	0,8205
6. Metode pemisahan gliserol	2 tahap	NaCl	Urea
7. Waktu reaksi (menit)	120	60	90

Keterangan : *) Wiratni (1993), **) Sofiyah (1996), ***) Penelitian ini

e. Pengujian sifat-sifat fisis etil ester

Etil ester hasil alkoholisis minyak sawit diuji sifat-sifat fisisnya dengan metode ASTM, dan hasilnya terkumpul pada daftar (11). Ternyata bahwa sifat-sifat fisis ester minyak sawit mendekati spesifikasi minyak disel. Dengan demikian, ester minyak sawit dapat dipertimbangkan untuk dipakai sebagai pengganti minyak disel.

Daftar 11. Perbandingan sifat fisis ester dengan minyak sawit dan minyak disel

SIFAT	m.sawit	Ester	m.disel	
			Min	Mak
1. Specific gravity 60 °F / 60 °F	0,917	0,8947	0,84	0,92
2. Kekentalan Redwood pada 100 °F , detik	177	56,52	35	45
3. Titik nyala , °F		150	150	
4. Coradson Carbon residu	0,585	0,402		1
5. Nilai kalor, cal/g	10634,13	10718,97	10613,11	

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan berikut.

1. Reaksi etanolisis minyak sawit dengan katalisator KOH dan penambahan urea, di dalam reaktor alir tangki berpengaduk, dikendalikan oleh reaksi kimia. Model heterogen lebih tepat digunakan untuk menjelaskan mekanisme reaksi.

2. Penambahan urea dapat meningkatkan konversi sekitar 17% bila dibandingkan dengan yang tanpa penambahan urea.

3. Pada suhu 348 K, kecepatan pengadukan 800 ppm, perbandingan pereaksi 8,93 mg/ek etanol/mg/ek gliserid, KOH 1% berat minyak, dan jumlah penambahan urea sebanyak 5 % berat minyak, memberikan konversi tertinggi sebesar 82,05 %.

4. Hasil uji fisis ester minyak sawit dengan metode ASTM yang meliputi spesifik gravity (60/60°F), kekentalan Redwood pada 100oF, Coradson carbon residue, titik nyala, dan nilai kalor mendekati spesifikasi minyak disel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Arief Budiman, M.S., D.Eng. dan Bapak Dr. Ir. Sarto, M.Sc., yang telah memberikan saran-saran perbaikan. Ucapan terima kasih juga penyusun sampaikan kepada segenap Pengurus Yayasan Santo Paulus dan pimpinan AKIN St. Paulus, Semarang atas dukungan dan dana yang diberikan untuk pelaksanaan penelitian ini. Kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- Groggins, P.H., 1958, *Unit Processes in Organik Synthesis* , 5 ed. , pp. 694 - 714, McGraw-Hill Book Company, Inc. , New York.
- Johnstone, R.E. and Thring, M.W., 1957, *Pilot Plants, Models, and Scale-up Methods in Chemical Engineering* , pp. 66-71, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.

- Sofiyah, I.B. Agra., dan I.M. Bendiyasa., 1996, **Kinetika Reaksi Etanolisis Minyak Biji Kapuk dengan Katalisator Natrium Hidroksid dan Penambahan Garam Anorganik**, *BPPS*, 9,15 - 27.
- Westerterp , K. R., Van Swaaij, W.P.M., and Beenackers, A.A.C.M., 1984, *Chemical Reactor Design and Operation* , 2 ed., pp. 16, John Wily and Sons, New York.
- Wiratni, 1993, **Etanolisis Minyak Jarak dengan Katalisator Asam Sulfat secara Bacth dalam Dua Tahap**, *Naskah Seminar*, Laboratorium Proses Kimia.