

# PENGARUH SUHU PADA KINETIKA REAKSI ETANOLISIS MINYAK JARAK DENGAN KATALISATOR KALIUM HIDROKSID

**Budhijanto**

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281, Telp. (0274) 902171, budhijanto@chemeng.ugm.ac.id

## Abstrak

Salah satu usaha peningkatan nilai tambah minyak jarak adalah etanolisis untuk menghasilkan gliserol, etil risinoleat, monogliserid, dan digliserid. Gliserol dikenal banyak manfaatnya, sedangkan pemanfaatan etil risinoleat, monogliserid, dan digliserid belum banyak diketahui. Pada penelitian ini, dipelajari pengaruh suhu pada tetapan kecepatan reaksi etanolisis minyak jarak, baik tetapan penyerangan gugus primer maupun gugus sekunder. Katalisator yang dipakai adalah kalium hidroksid.

Etanol yang telah mengandung katalisator kalium hidroksid pada konsentrasi tertentu dipanaskan di dalam labu pemanas sampai dengan suhu reaksi. Pada saat yang bersamaan, minyak jarak dipanaskan di dalam sebuah reaktor tangki berpengaduk juga sampai dengan suhu reaksi. Setelah suhu reaksi yang diinginkan tercapai, kedua reaktan direaksikan secara batch di dalam reaktor isothermal. Cuplikan hasil diambil setiap selang waktu tertentu. Data yang dikumpulkan adalah konsentrasi gliserol dan etil risinoleat di dalam hasil pada berbagai waktu reaksi dan suhu. Dari data ini, dapat dihitung nilai tetapan reaksi penyerangan gugus primer dan sekunder pada berbagai suhu.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tetapan reaksi penyerangan gugus primer dapat dibedakan terhadap tetapan reaksi penyerangan gugus sekunder. Perhitungan energi aktivasi berdasarkan persamaan Arrhenius memberikan nilai energi aktivasi penyerangan gugus primer kira-kira empat kali energi aktivasi penyerangan gugus sekunder. Hal ini membuktikan bahwa gugus asam lemak sekunder lebih reaktif daripada gugus asam lemak primer.

**Kata kunci:** etanolisis; reaktivitas gugus primer/sekunder

*Ethanolysis of castor oil to produce glycerol, ethyl ricinoleate, monoglycerides, and diglycerides is one of the efforts to increase the economic value of the vegetable oil. Glycerol is used in many chemical industries, while the utilization of ethyl ricinoleate, monoglycerides, and diglycerides has not much known yet. This research would study the effect of temperature change on the reaction rate constant of the secondary fatty acid group as well as that of the primary ones. Potassium hydroxide was chosen as catalyst.*

*Ethanol containing a certain amount of potassium hydroxide catalyst was heated in a heating flask. At the same time, castor oil was heated in a stirred tank reactor. As soon as the both reactants reached the reaction temperature, they were quickly mixed in the reactor. The reaction proceeded isothermally. Samples were withdrawn every five minutes to be determined its glycerol and ethyl ricinoleate contents. The data obtained were glycerol and ethyl ricinoleate concentrations in the products of various reaction*

*time and temperature. From these data, the reaction rate constants of the primary and secondary groups could be calculated for each temperature of reaction. The reaction rate constant of the secondary group was different from those of the primary groups. Based on Arrhenius equation, the activation energy of the primary group reaction was about four times as much as that of the secondary group reaction. This fact proved that the secondary fatty acid group was more reactive than the primary ones.*

**Keywords:** ethanolysis; primary/secondary group reactivity

## 1. Pendahuluan

Jarak kepyar (*Ricinus communis* L.) adalah sejenis tanaman perdu yang dapat tumbuh di daerah tropis maupun subtropis. Kandungan minyak biji jarak mencapai 40 sampai 50%. Minyak jarak banyak dipakai sebagai bahan baku pada industri farmasi, cat, kosmetik, dan berbagai industri kimia lainnya (Naughton dkk, 1979). Nilai komersialnya yang tinggi dan pembudidayaannya yang relatif mudah mendorong upaya pemerintah untuk lebih meningkatkan produksi biji jarak di Indonesia, terutama di daerah-daerah yang kering seperti Nusa Tenggara Barat.

Salah satu usaha peningkatan nilai tambah minyak jarak adalah alkoholisis yang menghasilkan gliserol dan ester yang mempunyai rumus molekul yang lebih sederhana. Gliserol dikenal mempunyai banyak manfaat, antara lain bahan baku industri tinta, kosmetik, obat-obatan, plastik, dan sabun (Wertheim dan Jeskey, 1956). Ester hasil alkoholisis minyak jarak memiliki kekentalan yang jauh lebih rendah dibandingkan minyak jarak. Hal ini memungkinkan pemakaian ester ini untuk proses-proses yang mensyaratkan kekentalan yang rendah dan dapat dipertimbangkan sebagai bahan bakar pengganti minyak diesel.

Penelitian mengenai alkoholisis minyak jarak telah beberapa kali dilakukan. Pada penelitian-penelitian itu, diperoleh data kinetika alkoholisis minyak jarak dengan menganggap bahwa reaksi terjadi dalam satu tahap yaitu untuk setiap mol trigliserid yang bereaksi akan dihasilkan satu mol gliserol.

Dalam penelitian ini, kinetika etanolisis minyak jarak akan dianalisis berdasarkan tiga tahapan penyerangan setiap gugus asam lemak oleh etanol. Dengan demikian, ada kemungkinan untuk setiap mol trigliserid yang bereaksi akan dihasilkan gliserol kurang dari satu mol. Titik berat penelitian adalah mempelajari pengaruh suhu pada tetapan kecepatan reaksi.

Dari penelitian ini akan diperoleh data tetapan etanolisis minyak jarak dengan katalisator kalium hidroksid pada berbagai suhu. Data ini diharapkan dapat dipakai untuk perancangan reaktor pengolahan minyak jarak dalam usaha penganekaragaman pemanfaatan minyak jarak, yang akhirnya dapat meningkatkan pendapatan negara.

## 2. Fundamental

Minyak jarak kepyar pada dasarnya adalah trisinolein yang merupakan kondensasi satu molekul gliserol dengan tiga molekul asam risinoleat (Naughton dkk, 1979). Asam lemak penyusun utama minyak jarak kepyar adalah asam risinoleat, dengan kandungan 89,5%. Tidak seperti umumnya gliserid yang lain, minyak jarak kepyar larut dalam alkohol. Pada suhu kamar, satu bagian volum minyak jarak kepyar akan seketika larut dalam dua bagian volum etanol 95%.

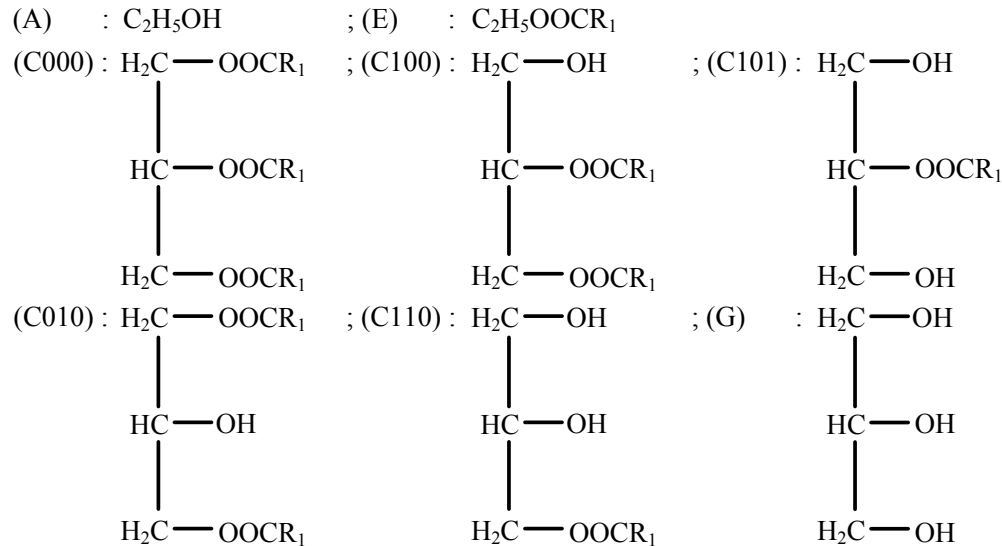
Alkoholisis adalah salah satu dari beberapa reaksi penting gliserid. Dalam alkoholisis, alkohol bereaksi dengan ester menghasilkan ester yang baru (Reid dkk, 1958). Reaksi ini merupakan reaksi dapat balik yang pada suhu kamar tanpa bantuan katalisator berlangsung sangat lambat. Untuk mempercepat reaksi, digunakan katalisator asam, basa, atau enzim. Keuntungan pemakaian katalisator basa adalah reaksi dapat berlangsung cepat meskipun dilakukan pada suhu yang relatif rendah.

Toyama dan Tsuchiya menemukan bahwa pada etanolisis minyak zaitun dengan katalisator asam khlorida, terbentuk mono dan digliserid dalam jumlah yang besar (Markley, 1947). Hal yang sama juga teramati oleh Rowe pada penelitiannya mengenai etanolisis minyak kelapa, minyak zaitun, dan triolein dengan katalisator kalium hidroksid. Jadi alkoholisis

trigliserid tidak hanya menghasilkan gliserol, tetapi bisa juga menghasilkan monogliserid dan digliserid. Hal ini hanya mungkin terjadi jika penyerangan ketiga gugus asam lemak oleh alkohol tidak harus terjadi secara serentak.

Flory (1969) mengemukakan bahwa reaktivitas gugus fungsional yang sama dapat memiliki kereaktifan yang berbeda jika posisinya di dalam molekul berbeda. Pada penelitiannya mengenai pengaruh konsentrasi katalisator KOH pada tetapan kecepatan etanolisis minyak jarak kepyar, Budhijanto dkk. (1999) menemukan bahwa reaksi penyerangan ketiga gugus asam lemak terjadi satu per satu, dengan kecepatan reaksi penyerangan gugus sekunder agak lebih besar daripada kecepatan reaksi penyerangan gugus primer.

Adapun spesies-spesies yang terlibat dalam reaksi adalah sebagai berikut.



dengan  $R_1$  adalah gugus risinoleat.

Reaksi dijalankan di dalam sebuah reaktor *batch*. Dengan mengabaikan perubahan rapat massa selama reaksi, dapat disusun neraca massa spesies  $i$  sebagai berikut.

$$-\frac{dC_i}{dt} = -r_i \quad (1)$$

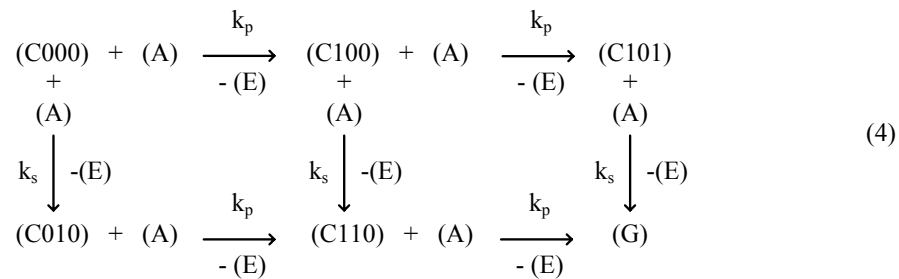
dengan kondisi awal:

$$C_{E,0} = C_{C100,0} = C_{C010,0} = C_{C110,0} = C_{C101,0} = C_{G,0} = 0 \quad (2)$$

$$C_{C000,0} = \frac{V_{mj} C_{C000,bb}}{V_{mj} + V_{et}} \quad (3)$$

dengan  $t$  = waktu reaksi;  $C_i$  = konsentrasi spesies  $i$  di dalam reaktor;  $C_{i,0} = C_i$  pada  $t = 0$ ;  $r_i$  = kecepatan reaksi pembentukan spesies  $i$ ;  $C_{C000,bb}$  = konsentrasi trisolinolein dalam bahan baku minyak jarak;  $V_{mj}$  = volum minyak jarak umpan reaktor *batch*; dan  $V_{et}$  = volum etanol umpan reaktor *batch*.

Model kinetika etanolisis minyak jarak kepyar mengikuti model reaksi penyerangan ketiga gugus asam lemak secara satu per satu dengan tetapan reaksi penyerangan gugus primer ( $k_p$ ) dapat dibedakan dari tetapan reaksi penyerangan gugus sekunder ( $k_s$ ) (Budhijanto dkk, 1999). Jika jumlah etanol yang dipakai sangat berlebihan terhadap minyak jarak dan konversi minyak jarak masih cukup rendah, reaksi dapat dianggap searah. Pada kondisi seperti ini, reaksi-reaksi yang mungkin terjadi ditunjukkan oleh persamaan (4). Selanjutnya, persamaan kecepatan reaksi pembentukan setiap spesies dapat dituliskan pada persamaan (5) – (9), dan persamaan (10) – (11) untuk perhitungan neraca massa etil risinoleat dan gugus gliseril.



$$-r_{C000} = (2k_{pa} + k_{sa})C_{C000} \quad (5)$$

$$-r_{C100} = -2k_{pa}C_{C000} + (k_{pa} + k_{sa})C_{C100} \quad (6)$$

$$-r_{C101} = -k_{pa}C_{C100} + k_{sa}C_{C101} \quad (7)$$

$$-r_{C010} = -k_{sa}C_{C000} + 2k_{pa}C_{C010} \quad (8)$$

$$-r_G = -k_{pa}C_{C110} - k_{sa}C_{C101} \quad (9)$$

dengan  $k_{pa} = k_p C_A$  dan  $k_{sa} = k_s C_A$ .

$$C_E - C_{E,0} = (C_{C100} - C_{C100,0}) + 2(C_{C101} - C_{C101,0}) + (C_{C010} - C_{C010,0}) + 2(C_{C110} - C_{C110,0}) + 3(C_G - C_{G,0}) \quad (10)$$

$$C_{C000,0} + C_{C100,0} + C_{C101,0} + C_{C010,0} + C_{C110,0} + C_{G,0} = C_{C000} + C_{C100} + C_{C101} + C_{C010} + C_{C110} + C_G \quad (11)$$

Penyelesaian persamaan-persamaan di atas untuk menghitung konsentrasi gliserol dan etil risinoleat setiap saat adalah sebagai berikut.

$$C_G = C_{C000,0} \left\{ \begin{array}{l} 1 - \exp(-k_{sa}t) - 2 \exp(-k_{pa}t) + \exp(-2k_{pa}t) + \\ 2 \exp(-(k_{pa} + k_{sa})t) - \exp(-(2k_{pa} + k_{sa})t) \end{array} \right\} \quad (12)$$

$$C_E = C_{C000,0} \{ 3 - \exp(-k_{sa}t) - 2 \exp(-k_{pa}t) \} \quad (13)$$

Untuk mengetahui pengaruh suhu pada tetapan reaksi penyerangan gugus primer maupun sekunder, dilakukan pengamatan perubahan nilai  $k_{pa}$  dan  $k_{sa}$  terhadap perubahan suhu reaksi. Pengaruh suhu ( $T$ ) pada tetapan kecepatan reaksi ( $k$ ) mengikuti persamaan Arrhenius sebagai berikut.

$$k = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (14)$$

dengan  $A$  adalah faktor tumbukan,  $E$  adalah energi aktivasi, dan  $R$  adalah tetapan gas ideal.

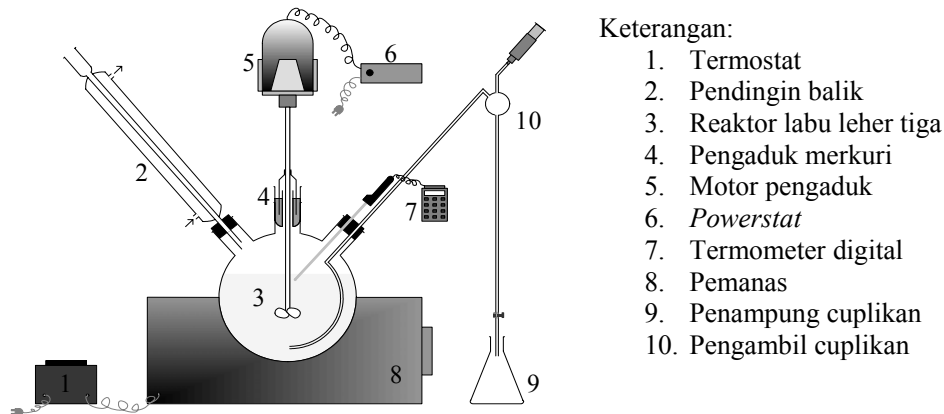
### 3. Metodologi

**Minyak Jarak Kepyar** dibeli langsung dari PT. Kimia Farma, Semarang. Cairan mempunyai rapat massa 0,9526 g/mL pada 30°C, kadar air 0,0512 %, ekivalen asam lemak total 3,2401 mg/kg minyak, dan ekivalen asam lemak bebas 0,0285 mg/kg minyak.

**Etanol** dengan rapat massa sebesar 0,8014 g/mL (30°C, kadar 92,89%) dibeli dari distributor etanol produksi PG. Madukismo, Yogyakarta.

**Kalium hidroksid** yang dipakai sebagai katalisator diperoleh dari Laboratorium Proses Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Kadar KOH yang terukur mencapai kurang lebih 80%.

**Susunan alat** percobaan ditunjukkan oleh Gambar 1. Labu leher tiga yang dipakai sebagai reaktor *batch* berukuran 1 L.



Gambar 1. Susunan alat etanolisis minyak jarak kepyar

Proses diawali dengan memanaskan 175 mL minyak jarak di dalam reaktor sampai suhu reaksi. Etanol sebanyak 225 mL yang telah dicampur dengan katalisator dalam jumlah tertentu dipanaskan secara terpisah sampai suhu reaksi. Setelah itu, kedua reaktan dicampur dengan cepat di dalam reaktor, pengaduk dihidupkan, dan cuplikan diambil pada selang waktu 5 menit. Cuplikan didinginkan dengan cepat sampai di bawah suhu kamar, lalu dicampur dengan sejumlah air murni sehingga gliserol dan sisa etanol akan terekstraksi dan terpisah dari sisa minyak jarak dan ester-ester yang lain. Fase yang larut dalam air ditentukan kadar gliserolnya dengan cara asetin (Griffin, 1955); sedangkan fase yang tidak larut dalam air diukur kenaikan jumlah gugus OH yang terikat dengan cara yang sama dengan penentuan bilangan asetil (Mitchell, Jr. dkk, 1953).

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Data dan hasil perhitungan disajikan pada Tabel 1 dan 2, dan dilukis pada Gambar 2. Dari hasil perhitungan pada Tabel 2, dapat dihitung nilai energi aktivasi reaksi penyerangan gugus asam lemak primer dan gugus asam lemak sekunder pada minyak jarak sesuai persamaan (14) sebagai berikut.

$$(E_p/R) = 4139,0402 / K$$

$$E_p = \text{energi aktivasi reaksi penyerangan gugus asam lemak primer} \\ = 8224,2729 \text{ kal/gmol}$$

$$(E_s/R) = 1072,6898 / K$$

$$E_s = \text{energi aktivasi reaksi penyerangan gugus asam lemak sekunder} \\ = 2131,4346 \text{ kal/gmol}$$

Jadi nilai  $E_p$  kira-kira 4 kali nilai  $E_s$ . Karena makin tinggi nilai energi aktivasi, kecepatan reaksi makin lambat, dapat disimpulkan bahwa gugus asam lemak sekunder lebih reaktif daripada gugus asam lemak primer. Kesimpulan yang diperoleh ini sesuai dengan hasil penelitian yang terdahulu (Budhijanto dkk, 1999). Lebih reaktifnya gugus asam lemak sekunder pada minyak jarak mungkin dapat dijelaskan sebagai berikut. Menurut Koskikallio (1969), kecepatan alkoholisis trigliserid tidak tergantung pada panjang rantai gugus asam lemak, meskipun trigliserid dari asam lemak yang tidak jenuh akan bereaksi lebih lambat daripada trigliserid dari asam lemak jenuh. Pada reaksi kimia, kedua posisi primer tidak dapat dibedakan (Hasenhuettl, 1993). Ada keseimbangan antara monogliserid primer (*sn*-1-MG) dengan monogliserid sekunder (*sn*-2-MG). Demikian pula, ada keseimbangan antara 1,2-digliserid (*sn*-1,2-DG) dan 1,3 digliserid (*sn*-1,3-DG). Sebagai contoh, pada 100°C keseimbangan kimia *sn*-1-monostearin/*sn*-2-monostearin = 9; sementara pada 165°C keseimbangan kimia *sn*-1,2-distearin/*sn*-1,3-distearin = 0.72. Nilai keseimbangan yang serupa untuk minyak biji rami pada 235°C berturut-turut adalah 8,9 dan 0,72 (Koskikallio, 1969). Meskipun efek sterik mungkin menyebabkan penyerangan alkohol pada posisi sekunder (*sn*-2) sedikit lebih sulit daripada pada

posisi primer (*sn*-1 dan *sn*-3), tetapi faktor yang lebih penting adalah reaksi perpindahan gugus *acyl*. Reaksi perpindahan gugus *acyl* dari posisi 1,2 menjadi posisi 1,3 yang secara sterik lebih

**Tabel 1. Perhitungan  $k_{pa}$  dan  $k_{sa}$  untuk berbagai suhu reaksi ( $T$ )**  
(Konsentrasi katalisator 1% terhadap kebutuhan total untuk penyabunan minyak jarak;  
gek etanol/gek minyak jarak umpan = 6,7;  $C_{C000,0} = 0,4512$  gmol/L)

$t$ men	$C_{G,di}(10^2)$ gmol/L	$C_{E,di}(10^2)$ gmol/L	$C_{G,ht}(10^2)$ gmol/L	$C_{E,ht}(10^2)$ gmol/L	$k_{pa}(10^2)$ gmol/(gek·men)	$k_{sa}(10^2)$ gmol/(gek·men)
$T=40^\circ\text{C}$						
10	*)	*)	-	-	0,4835	6,3397
15	0,0993	33,0820	0,1355	34,0002		
20	0,3971	47,1730	0,2755	40,7407		
25	0,4738	52,7227	0,4651	46,1469		
30	1,1821	61,9137	0,6998	50,5692		
35	*)	-	-	-		
Rerata ralat, %			18,30	7,87		
$T=50^\circ\text{C}$						
10	0,4016	34,7469	0,2326	35,0556	0,9813	8,9161
15	1,2814	36,3712	0,6234	45,6263		
20	1,8319	42,1376	1,1919	53,6162		
25	1,8454	47,6332	1,9055	59,8950		
30	2,0710	83,3682	2,7319	65,0225		
35	3,0591	83,3818	3,6442	69,3598		
Rerata ralat, %			30,44	19,69		
$T=60^\circ\text{C}$						
10	0,5053	26,1786	0,2476	33,4359	1,0632	7,7505
15	0,9114	51,3962	0,6739	44,3143		
20	1,0603	51,5045	1,3042	52,8299		
25	2,5989	53,6973	2,1040	59,6832		
30	3,0501	64,7427	3,0361	65,3526		
35	3,1990	115,6787	4,0673	70,1658		
Rerata ralat, %			24,45	15,92		
$T=70^\circ\text{C}$						
10	1,4303	41,1900	0,4882	52,5417	1,1279	30,1937
15	1,6243	57,6498	1,0812	58,6785		
20	2,0169	58,7598	1,8357	63,2358		
25	2,6305	60,6548	2,7225	67,2685		
30	2,8561	63,9711	3,7177	71,0194		
35	4,5255	76,1129	4,7997	74,5512		
Rerata ralat, %			24,67	10,16		

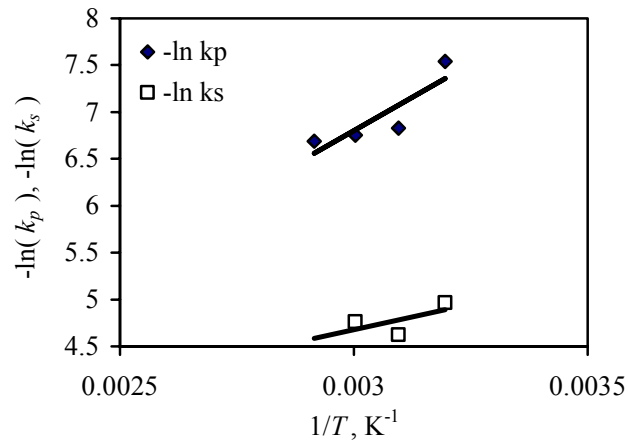
\*) gagal terukur atau data menyimpang

**Tabel 2. Hubungan  $k_{pa}$ ,  $k_{sa}$ ,  $k_p$ , dan  $k_s$  dengan suhu reaksi ( $T$ )**  
( $C_{A,0} = 9,0847$  gmol/L)

$T, K$	$k_{pa}(10^2)$ gmol/(gek·men)	$k_{sa}(10^2)$ gmol/(gek·men)	$k_p(10^3)$ L/(gek·men)	$k_s(10^3)$ L/(gek·men)	$k_{p,reg}(10^3)$ L/(gek·men)	$k_{s,reg}(10^3)$ L/(gek·men)
313	0,4835	6,3397	0,5322	6,9784	0,5867	7,5354
323	0,9813	8,9161	1,0802	9,8144	0,8835	8,3789
333	1,0632	7,7505	1,1703	8,5314	1,2981	9,2576
343	1,1279	30,1937 <sup>*)</sup>	1,2415	33,2358	-	-
Rerata kesalahan, %					13,80	10,79

Persamaan regresi:  $k_{p,reg} = 324,6336 \exp(-4139,0402/T)$   
 $k_{s,reg} = 0,2320 \exp(-1072,6898/T)$

\*) data dianggap menyimpang



Gambar 2. Hubungan  $k_p$  dan  $k_s$  dengan suhu reaksi ( $T$ ) (berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 2

tidak terkonsentrasi sering terjadi. Monogliserid sekunder (*sn*-2-MG) mengalami reaksi perpindahan gugus *acyl* membentuk monogliserid primer yang lebih stabil (*sn*-1-MG). Pengaturan pembali posisi gugus asam lemak ini bahkan teramati juga pada fase padat (Hasenhuettl, 1993). Sebagai hasilnya, pada keseimbangan, *sn*-1-MG diperoleh dalam jumlah yang lebih banyak daripada *sn*-2-MG, dan *sn*-1,2-DG jumlahnya lebih sedikit daripada *sn*-1,3-DG. Hal inilah yang teramati selama percobaan sebagai lebih reaktifnya gugus sekunder dibandingkan gugus primer.

## 5. Kesimpulan

Nilai tetapan reaksi penyerangan gugus primer dapat dibedakan terhadap reaksi penyerangan gugus sekunder. Masing-masing tetapan merupakan fungsi eksponensial dari suhu reaksi. Dari hubungan tetapan reaksi dengan suhu ini diketahui bahwa energi aktivasi penyerangan gugus primer kira-kira 4 kali energi aktivasi penyerangan gugus sekunder. Dengan demikian terbukti bahwa gugus asam lemak sekunder lebih reaktif daripada gugus asam lemak primer.

## Ucapan terima kasih

Penelitian ini terlaksana atas biaya Dana Penunjang Pendidikan Universitas Gadjah Mada 1999. Untuk itu, penyusun mengucapkan terimakasih.

## Daftar Notasi

- $A$  = faktor tumbukan pada persamaan Arrhenius, L/(gek·menit)
- $C$  = konsentrasi, gmol/L
- DG = digliserid
- $E$  = energi aktivasi pada persamaan Arrhenius, kal/gmol
- $k$  = tetapan kecepatan reaksi, L/(gek·menit)
- $k_{pa}$  =  $k_p C_A$ , gmol/(gek·menit)
- $k_{sa}$  =  $k_s C_A$ , gmol/(gek·menit)
- $M$  = mono gliserid
- $R$  = tetapan gas ideal = 1,987 kal/(gmol·K)
- $r$  = kecepatan reaksi pembentukan, gmol/(L·menit)
- sn* = stereochemical numbering
- $T$  = suhu, °C atau K

$t$	= waktu reaksi, menit
$V_{et}$	= volum etanol umpan reaktor, mL
$V_{mj}$	= volum minyak jarak umpan reaktor, mL
<i>Subscript</i>	
$A$	= etanol
$bb$	= bahan baku
C000	= tririsinolein (minyak jarak kepyar)
C100	= gliserol-1,2-dirisinoleat
C010	= gliserol-1,3-dirisinoleat
C110	= gliserol-1-mono risinoleat
C101	= gliserol-2-mono risinoleat
$dt$	= data percobaan
$E$	= etil risinoleat
$G$	= gliserol
$ht$	= hasil perhitungan
$i$	= spesies $i$
$p$	= primer
$reg$	= hasil perhitungan regresi
$s$	= sekunder
0	= keadaan mula-mula di dalam reaktor ( $t = 0$ )

#### Daftar Pustaka

- [1] Budhijanto, Agra, I.B., dan Sediawan, W.B., (1999), "Kinetika Reaksi Etanolisis Minyak Jarak dengan Katalisator Kalium Hidroksid dalam Sebuah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk", *TEKNOSAINS*, 12 (3), hal. 225-240.
- [2] Flory, P.J., (1969), "*Principles of Polymer Chemistry*", Cornell University Press, New York, hal. 70-75.
- [3] Griffin, R.C., (1955), "*Technical Methods of Analysis*", 2<sup>nd</sup> Ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, hal. 694-714.
- [4] Hasenhuettl, G.L., (1993), "Fats and Fatty Oils", in J.I. Kroschwitz and M. Howe-Grant (Eds). *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 4<sup>th</sup> Ed., 10, John Wiley & Sons, New York, hal. 252-287.
- [5] Koskikallio, J., (1969), "Alcoholysis, Acidolysis, and Redistribution of Esters", in Patai, S., Ed. *The Chemistry of Carboxylic Acids and Esters*, Interscience Publisher John Wiley & Sons Ltd., New York, hal. 103-136.
- [6] Markley, K.S., (1947), "*Fatty Acids, Their Chemistry and Physical Properties*", Interscience Publishers, Inc., New York, hal. 41, 292-301.
- [7] Mitchell, Jr., J., Kolthoff, I.M., Proskauer, E.S., dan Weissberger, A., (1953), "*Organic Analysis*", vol. 1, Interscience Publishers, Inc., New York, hal. 11-12.
- [8] Naughton, F.C., Dunczky, F., Swenson, C.R., Kroplinski, T., dan Cooperman, M.C., (1979), "Castor Oil", M. Grayson dan D. Eckroth (Eds). *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 3<sup>rd</sup> Ed., 5, John Wiley & Sons, New York, hal. 1-15.
- [9] Reid, E.E., Peterson, M.L., dan Way, J.W., 1958, "Esterification", P.H. Groggins (Ed). *Unit Processes in Organic Synthesis*, 5<sup>th</sup> Ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, hal. 694-714.
- [10] Wertheim, E. dan Jeskey, H., (1956), "*Introductory Organic Chemistry*", 3<sup>th</sup> Ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, hal. 91-93, 154-166.