

# KINETIKA ETANOLISIS MINYAK JARAK DENGAN KATALISATOR PENUKAR ANION

**Budhijanto**

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

**Fitasari Ayu Wardani**

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281, Telp. (0274) 902171, fitasari\_ayu\_w@yahoo.co.id

**Slamet Mulyono**

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281, Telp. (0274) 902171

## Abstrak

*Kelangkaan bahan bakar minyak mendorong pemakaian minyak nabati sebagai bahan bakar cair alternatif yang terbarukan. Tingginya viskositas minyak nabati menyebabkan berbagai kendala pada pemakaian langsung minyak nabati sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Etanolisis minyak nabati merupakan salah satu cara yang telah terbukti mampu menurunkan viskositas minyak nabati. Reaksi ini memerlukan katalisator, supaya reaksi dapat berlangsung cepat pada suhu yang relatif rendah. Katalisator yang umum digunakan adalah larutan asam, basa, atau enzim. Kendala utama pada pemakaian katalisator homogen ini adalah pemungutan kembali katalisator. Masalah ini dapat diatasi dengan pemakaian katalisator padat, seperti penukar anion. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari kinetika etanolisis minyak nabati, khususnya minyak jarak kepyar, dengan katalisator penukar anion.*

*Penukar anion dicampur dengan minyak jarak kepyar pada perbandingan tertentu di dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan pemanas mantel, pengaduk, termometer, pendingin balik, dan pengambil cuplikan. Campuran ini dipanaskan sampai suhu reaksi sambil diaduk. Secara terpisah, sejumlah etanol juga dipanaskan sampai suhu reaksi. Setelah suhu reaksi yang diinginkan tercapai, etanol ditambahkan ke dalam minyak jarak kepyar dan reaksi dijalankan secara batch. Cuplikan diambil setiap 20 menit untuk dianalisis kadar gliserolnya. Data yang dikumpulkan adalah konversi minyak jarak kepyar pada berbagai waktu reaksi, suhu, dan jumlah katalisator.*

*Hasil penelitian menunjukkan penukar anion dapat mengkatalisis etanolisis minyak jarak kepyar. Reaksinya mengikuti mekanisme reaksi substitusi nukleofilik order dua ( $S_N2$ ). Kecepatan reaksinya berorder satu terhadap konsentrasi gugus karbonil di dalam gliserid dan berorder satu terhadap konsentrasi katalisator.*

**Kata kunci:** etanolisis; penukar anion; kinetika reaksi

*Petroleum shortage pushes utilization of vegetable oils as an alternative, renewable energy resource. The high viscosity of vegetable oils is the major obstacle of direct utilization of the oils as gasoline substitutes. Ethanolysis of vegetable oils has been proven successfully decreasing the viscosity of vegetable oils. The reaction proceeds well*

*at moderate temperature and pressure when catalysts are used. Acid, base, or enzyme solutions are the common catalysts used for the reaction. The disadvantage of the utilization of such homogeneous catalysts is their recovery. The problem might be overcome by utilization of solid catalysts, such as anion exchanger. This research studies the kinetics of ethanolsis of vegetable oils, particularly castor oil, which is catalyzed by anion exchanger.*

*A mixture of anion exchanger and castor oil at specified concentration was heated to the reaction temperature in a three-necked-flask-stirred-batch-reactor equipped with a heating mantle, thermometer, condenser, and sample removal system. Meanwhile, a specified amount of ethanol was heated to the reaction temperature in another container. After the reaction temperature was attained, the ethanol was poured into the reactor. Samples were withdrawn every twenty minutes to be determined their glycerol contents. The data were used to calculate the conversion of reaction at various time, temperature, and catalyst concentration.*

*The results showed that ethanolsis of castor oil was catalyzed by anion exchanger. The reaction followed the second order nucleophilic substitution ( $S_N2$ ) reaction mechanism. The rate of the reaction was proportional to the concentration of carbonyl groups of glycerides and the concentration of catalyst.*

**Keywords:** ethanolsis; anion exchanger; reaction kinetics

## 1. Pendahuluan

Minyak nabati adalah sumber energi terbarukan yang potensial karena kandungan energinya yang tinggi. Kandungan energi berbagai minyak nabati kurang lebih adalah 88% dari kandungan energi bahan bakar diesel No. 2-D (Demirbaş, 2002). Rudolph Diesel, penemu mesin diesel, menggunakan minyak kacang tanah untuk bahan bakar mesinnya pada tahun 1900 (Peterson dan Auld, 1991). Sebelum tahun 1970-an, persediaan bahan bakar yang berasal dari minyak bumi tersedia dalam jumlah yang melimpah dan murah, sehingga penelitian minyak nabati sebagai bahan bakar alternatif kurang diminati. Krisis energi dunia pada tahun 1970-an telah memicu kembali penelitian minyak nabati sebagai bahan bakar alternatif. Di Indonesia, perhatian dunia industri dan pendidikan pada penelitian minyak nabati sebagai bahan bakar alternatif mulai meningkat beberapa tahun belakangan ini, seiring dengan makin menipisnya cadangan minyak bumi Indonesia dan naiknya harga minyak bumi di pasar dunia.

Masalah utama pada pemakaian minyak nabati sebagai bahan bakar adalah viskositasnya yang tinggi. Viskositas minyak nabati berkisar antara 10 sampai 20 kali viskositas bahan bakar diesel No. 2-D (Demirbaş, 2002). Tingginya viskositas minyak nabati akan mempengaruhi kecepatan penguapan butir-butir minyak nabati, sehingga terjadi keterlambatan nyala di dalam mesin diesel (Ergeneman dkk, 1997).

Beberapa cara telah diteliti untuk menurunkan viskositas minyak nabati. Salah satunya adalah alkoholisis. Pada reaksi ini, minyak nabati direaksikan dengan alkohol rantai pendek, seperti metanol, etanol, atau butanol. Hasil reaksi adalah gliserol dan alkil ester. Produk alkil ester telah terbukti memiliki sifat yang mirip dengan bahan bakar diesel (Peterson dan Auld, 1991). Supaya reaksi berlangsung relatif cepat pada suhu dan tekanan relatif rendah, diperlukan katalisator, antara lain asam, basa, atau enzim. Dari ketiga jenis katalisator ini, basa adalah jenis yang paling efektif. Dengan pemakaian katalisator basa, seperti alkoksida logam alkali atau hidroksida alkali, reaksi dapat berlangsung relatif cepat pada suhu kamar (Aslam dkk, 1993). Meskipun demikian, pemakaian alkoksida logam alkali atau hidroksida alkali memiliki beberapa kekurangan, antara lain: (1) sulitnya pemisahan katalisator dari produk gliserol, dan (2) kecenderungan pembentukan sabun. Proses pemisahan katalisator dari gliserol tidak murah dan menghasilkan limbah garam (Dasari dkk, 2003).

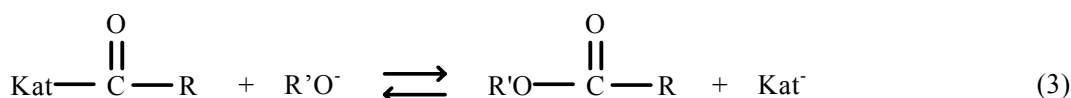
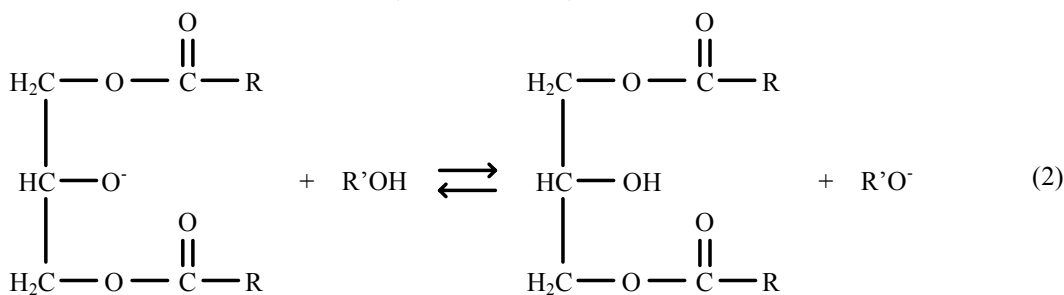
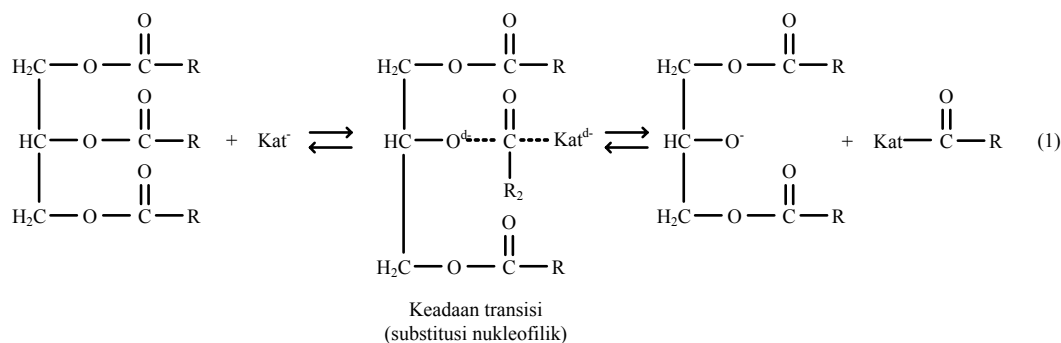
Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pemakaian penukar anion dari jenis basa kuat sebagai katalisator untuk etanolisis. Minyak nabati yang diteliti adalah minyak jarak kepyar. Dengan dipakainya katalisator basa yang berwujud padat, diharapkan reaksi dapat

berlangsung pada suhu yang relatif rendah dan proses pemisahan katalisator dari produk reaksi dapat berlangsung relatif mudah. Dengan demikian, biaya proses yang terkait dengan konsumsi energi dan pemurnian produk dapat dikurangi. Sejauh penelusuran pustaka, etanolisis minyak jarak kepyar dengan katalisator penukar anion belum pernah dilaporkan sebelumnya. Dalam penelitian ini, kinetika reaksi etanolisis minyak jarak kepyar dengan katalisator penukar anion juga dipelajari.

## 2. Fundamental

Etanolisis minyak jarak kepyar terjadi melalui tahapan-tahapan reaksi pembentukan diglisericid dan monoglisericid sebelum menjadi gliserol (Budhijanto dkk, 1999). Meskipun demikian, berbagai penelitian membuktikan bahwa reaksi ini dapat dimodelkan secara kinetika dengan cukup memuaskan sebagai reaksi penyerangan etanol secara serentak pada ketiga gugus asam lemak dengan hasil gliserol.

Mekanisme reaksi alkoholisis minyak nabati dengan katalisator homogen merupakan reaksi substitusi nukleofilik order dua, dengan kecepatan reaksi sebanding dengan konsentrasi ion alkoksida dan gugus karbonil (Reid dkk, 1958). Pada penelitian ini, etanolisis minyak nabati dengan katalisator penukar anion dianggap mengikuti mekanisme yang serupa. Peranan ion alkoksida pada etanolisis dengan katalisator homogen digantikan oleh katalisator penukar anion yang bersifat basa kuat. Langkah-langkah reaksi untuk satu gugus karbonil ditunjukkan oleh persamaan (1) – (3), dengan langkah yang mengontrol adalah persamaan (1).



Reaksi etanolisis minyak nabati adalah reaksi yang dapat balik (Reid dkk, 1958). Supaya reaksi dapat dianggap searah, konversi reaktan yang berlebihan dijaga rendah. Pada kondisi reaksi semacam ini, persamaan kecepatan reaksi *overall* ( $r$ ) diberikan oleh persamaan (4); dan neraca massa gugus karbonil di gliserid di dalam sebuah reaktor *batch* diberikan oleh persamaan (6) (Budhijanto dkk, 2006).

$$r = k_{ov} m C_{C,b} \quad (4)$$

$$\frac{1}{k_{ov}} = \frac{1}{\eta k} + \frac{1}{k_c a_p} \quad (5)$$

$$-\ln\left(\frac{1-X}{1-X_0}\right) = k_{ov} m t \quad (6)$$

dengan  $k_{ov}$  = tetapan kecepatan reaksi *overall*;  $m$  = konsentrasi katalisator;  $C_{C,b}$  = konsentrasi gugus karbonil di minyak jarak pada *bulk* cairan;  $\eta$  = faktor keefektifan katalisator;  $k = k_s C_t$ ;  $k_s$  = tetapan kecepatan reaksi permukaan;  $C_t$  = konsentrasi puncak aktif total per gram katalisator;  $k_c$  = koefisien transfer massa gugus karbonil di minyak jarak dari *bulk* larutan ke permukaan eksternal katalisator;  $a_p$  = luas permukaan eksternal katalisator per gram katalisator;  $X$  = konversi yang didefinisikan oleh persamaan (7); dan  $X_0 = X$  pada saat  $t = 0$ .

$$X = \frac{N_{C,b,0} - N_{C,b}}{N_{C,b,0}} \quad (7)$$

$N_{C,b}$  = mol gugus karbonil di minyak jarak pada *bulk* cairan;  $N_{C,b,0} = N_{C,b}$  yang mula-mula ada di dalam reaktor; dan  $t$  = waktu reaksi. Dengan penyederhanaan reaksi penyerangan etanol secara serentak pada ketiga gugus asam lemak dengan hasil gliserol, setiap tiga mol gugus karbonil di minyak jarak yang bereaksi akan dihasilkan satu mol gliserol. Persamaan (7) dapat dituliskan kembali ke bentuk sebagai berikut.

$$X = \frac{3(N_{G,b} - N_{G,b,0})}{N_{C,b,0}} \quad (8)$$

dengan  $N_{G,b}$  = mol gliserol pada *bulk* cairan; dan  $N_{G,b,0} = N_{G,b}$  yang mula-mula ada di dalam reaktor.  $N_{G,b}$  dapat diukur. Dengan demikian, konversi dapat dihitung.

Tujuan penelitian ini adalah membuktikan bahwa reaksi etanolisis minyak jarak kepyar dengan katalisator penukar anion mengikuti mekanisme reaksi substitusi nukleofilik, berorder satu terhadap konsentrasi gugus karbonil dan berorder satu terhadap konsentrasi katalisator.

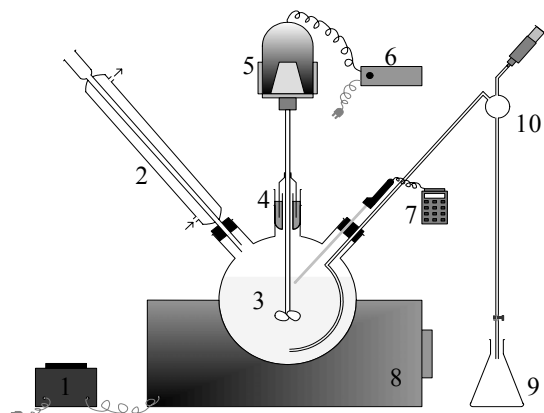
### 3. Metodologi

**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 mgek/g minyak, dan ekivalen asam lemak bebas 0,0285 mgek/g minyak.

**Penukar anion** yang dipakai adalah jenis Lewatid Monoplus M500, yang dibeli dari PT. Brataco Chemika, Yogyakarta. Sifatnya adalah basa kuat dengan komponen utama polimer *Styrene-Divinyl Benzene*, reaktif terhadap oksidan kuat misalnya asam nitrat, suhu operasi maksimum 60°C, berukuran seragam dengan diameter 0,5 mm, dan densitas 1,08 g/mL.

**Etanol 96%** dibeli dari PT. Brataco Chemika, Yogyakarta.

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



Gambar 1. Susunan alat etanolisis

Keterangan:

1. Termostat
2. Pendingin balik
3. Reaktor labu leher tiga
4. Pengaduk merkuri
5. Motor pengaduk
6. Powerstat
7. Termometer digital
8. Pemanas
9. Penampung cuplikan
10. Pengambil cuplikan

Proses diawali dengan memanaskan 25 gram minyak jarak yang telah dicampur dengan katalisator pada jumlah tertentu di dalam reaktor sambil diaduk pada kecepatan 425 ppm. Etanol dipanaskan secara terpisah sampai suhu reaksi. Setelah itu, 40 mL etanol diumpungkan ke dalam reaktor. Selanjutnya, cuplikan diambil setiap 20 menit. Gliserol diekstraksi dari cuplikan memakai *aquadest*; lalu ekstrak dipanaskan pada suhu 110°C sampai seluruh air dan etanol menguap. Sisa ekstrak dilarutkan dalam 10 mL *aquadest* untuk dianalisis kadar gliserolnya dengan *UV-Visible Spectrofotometer*. Peubah yang diamati pengaruhnya pada kecepatan reaksi adalah jumlah katalisator yang ditambahkan ( $m$ ) dan suhu ( $T$ ).

#### 4. Hasil dan Pembahasan

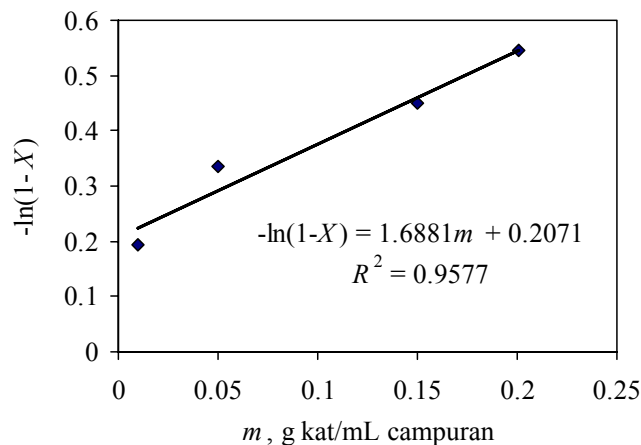
Data dan hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 1 sampai 2 dan dilukis pada Gambar 2 sampai 4.

##### Pengaruh jumlah katalisator

Tabel 1 dan Gambar 2 menunjukkan pengaruh jumlah katalisator pada konversi minyak jarak kepyar.

**Tabel 1. Pengaruh Jumlah Katalisator pada Konversi Minyak Jarak Kepyar**  
( $t = 55$  menit;  $T = 59,8^\circ\text{C}$ ; Umpan: 25,77 mol etanol/mol minyak jarak kepyar)

$m$ , g katalisator/mL larutan	X
0,0100	0,1754
0,0500	0,2843
0,1503	0,3625
0,2009	0,4202



**Gambar 2. Hubungan konversi ( $X$ ) dengan konsentrasi katalisator ( $m$ )**  
( $t = 55$  menit;  $T = 59,8^\circ\text{C}$ ; Umpan: 25,77 mol etanol/mol minyak jarak kepyar)

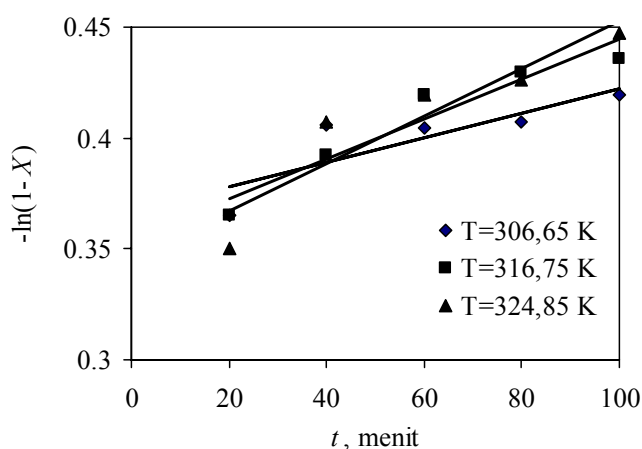
Tabel 1 menunjukkan bahwa untuk waktu dan suhu reaksi yang sama, konversi semakin besar dengan bertambahnya konsentrasi katalisator. Hal ini disebabkan makin tinggi konsentrasi katalisator, makin besar pula kemungkinan terjadinya reaksi permukaan antara gugus karbonil di minyak jarak dengan permukaan aktif yang kosong di katalisator. Gambar 2 menunjukkan hubungan yang linear antara  $m$  dengan  $-\ln(1-X)$ . Dengan demikian data memenuhi persamaan (6). Dapat disimpulkan bahwa kecepatan reaksi etanolisis minyak jarak sebanding dengan konsentrasi katalisator ( $m$ ) berpangkat satu. Hasil regresi linear ini juga memberikan nilai  $k_{ov}$  pada  $59,8^\circ\text{C}$  ( $= 332,95\text{ K}$ ) sebesar  $3,0693 \cdot 10^{-2}$  mL/(menit·g katalisator).

### Pengaruh suhu

Tabel 2 dan Gambar 3 menunjukkan pengaruh suhu pada konversi minyak jarak kepyar.

**Tabel 2. Pengaruh Suhu pada Konversi Minyak Jarak Kepyar**  
( $m = 0,1001$  g katalisator/mL larutan; Umpan: 25,77 mol etanol/mol minyak jarak kepyar)

$t$ , menit	20	40	60	80	100	$k_{ov} \cdot 10^2$ , mL/(menit·g katalisator)
$T$ , K	$X$					
306,65	0,3057	0,3336	0,3328	0,3344	0,3425	0,5502
316,75	0,3060	0,3245	0,3425	0,3493	0,3534	0,8938
324,85	0,2953	0,3347	0,3425	0,3471	0,3606	1,0657



**Gambar 3. Hubungan konversi ( $X$ ) dengan waktu ( $t$ ) pada berbagai suhu ( $T$ )**  
( $m = 0,1001$  g katalisator/mL larutan; Umpan: 25,77 mol etanol/mol minyak jarak kepyar)

Secara umum, Tabel 2 menunjukkan kecenderungan kenaikan konversi dengan naiknya suhu. Hal ini disebabkan makin tinggi suhu, makin besar pula tenaga kinetis molekul-molekul yang bereaksi. Akibatnya, makin banyak energi tumbukan yang melampaui energi aktivasi reaksi. Dengan kata lain, makin banyak tumbukan yang menghasilkan reaksi. Gambar 3 menunjukkan hubungan yang linear antara  $t$  dengan  $-\ln(1 - X)$  pada  $T$  dan  $m$  yang tetap. Hal ini menunjukkan bahwa data memenuhi persamaan (6). Regresi linear pada data memberikan nilai  $k_{ov}$  pada berbagai suhu yang juga dicantumkan pada Tabel 2.

### Tetapan kecepatan reaksi dan energi aktivasi

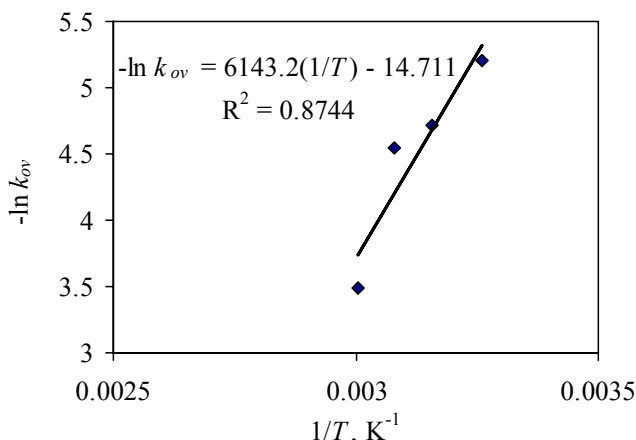
Hasil perhitungan tetapan kecepatan reaksi *overall* ( $k_{ov}$ ) pada berbagai suhu di atas selanjutnya dilukis pada Gambar 4.

Selanjutnya nilai energi aktivasi *overall* dapat diprediksi dengan persamaan Arrhenius sebagai berikut.

$$-\ln k_{ov} = \frac{E}{RT} - \ln A \quad (9)$$

Hasil perhitungan adalah energi aktivasi ( $E$ ) = 12207 kal/mol, dan faktor tumbukan ( $A$ ) =  $2,4486 \cdot 10^6$  mL/(menit·g katalisator). Nilai  $E$  ini berada di dalam kisaran nilai energi aktivasi kebanyakan reaksi kimia, yaitu 10000 – 60000 kal/mol (Westerterp dkk, 1984). Selain itu, nilai  $E$  terhitung ini juga jauh di atas kisaran  $E$  pada kasus difusi internal sepanjang pori katalisator yang mengontrol, yaitu 1900 – 5700 kal/mol (Fogler, 1999). Jadi, kemungkinan besar reaksi *overall* dikontrol oleh reaksi permukaan. Hambatan transfer massa eksternal dan internal

katalisator dapat diabaikan. Hal ini didukung oleh kenyataan bahwa diameter butir katalisator cukup kecil, yaitu hanya 0,5 mm, sehingga  $\eta$  mendekati satu. Dengan demikian, menurut persamaan (5),  $k_{ov} \approx k$ .



**Gambar 4. Hubungan tetapan kecepatan reaksi overall ( $k_{ov}$ ) dengan suhu ( $T$ )**

Contoh perbandingan hasil penelitian ini dengan peneliti lain diberikan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Perbandingan Etanolisis Minyak Jarak Kepyar**

Pembanding	Febri (2005)	Penelitian ini
Suhu, °C	60	51.7
Waktu, menit	60	60
Katalisator	KOH	Penukar anion
Energi aktivasi, kal/mol	1095	12207
Konversi	0,6034	0,3425

Model kinetika yang dipakai pada etanolisis minyak jarak kepyar dengan katalisator KOH pada Tabel 3 di atas adalah reaksi order satu semu terhadap minyak jarak, tanpa menyertakan pengaruh konsentrasi katalisator pada persamaan kecepatan reaksi. Dengan demikian, akan sulit membandingkan energi aktivasi terukur antara kedua hasil penelitian di atas. Meskipun demikian, secara umum, dapat diperkirakan bahwa katalisator KOH yang merupakan katalisator homogen lebih efektif daripada katalisator penukar anion yang dipakai pada penelitian ini.

## 5. Kesimpulan

Penukar anion terbukti dapat mengkatalisis etanolisis minyak jarak kepyar sehingga reaksi dapat berlangsung secara signifikan pada suhu reaksi yang rendah. Model kinetika yang diusulkan tidak bertentangan dengan data percobaan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa etanolisis minyak jarak kepyar dengan katalisator penukar anion ini mengikuti reaksi substitusi nukleofilik order dua, yaitu order satu terhadap konsentrasi gugus karbonil di gliserid dan order satu terhadap konsentrasi katalisator.

## Daftar Notasi

- $A$  = faktor tumbukan pada persamaan Arrhenius, mL/(menit·g katalisator)  
 $a_p$  = luas permukaan eksternal katalisator, cm<sup>2</sup>/g katalisator  
 $C$  = konsentrasi, mol/mL

$C_t$	= konsentrasi puncak aktif total, (gram katalisator) <sup>-1</sup>
$E$	= energi aktivasi pada persamaan Arrhenius, kal/mol
$k$	= $k_S C_t$ , mL/(menit·g katalisator)
$k_c$	= koefisien transfer massa gugus karbonil di gliserid dari <i>bulk</i> larutan ke permukaan eksternal katalisator, cm/menit
$k_{ov}$	= tetapan kecepatan reaksi <i>overall</i> , mL/(menit·g katalisator)
$k_S$	= tetapan kecepatan reaksi permukaan, mL/menit
$m$	= konsentrasi katalisator, g katalisator/mL larutan
$N$	= jumlah mol, mol
$R$	= tetapan gas ideal = 1,987 kal/(mol·K)
$R^2$	= koefisien korelasi pada perhitungan regresi
$r$	= persamaan kecepatan reaksi <i>overall</i> , mol/(mL larutan·menit)
$T$	= suhu, °C atau K
$t$	= waktu reaksi, menit
$X$	= konversi
$X_0$	= konversi pada saat $t = 0$
$\eta$	= faktor keefektifan katalisator
<i>Subscript</i>	
$C$	= gugus karbonil di minyak jarak
$b$	= pada <i>bulk</i> cairan
$G$	= gliserol
$0$	= keadaan mula-mula di dalam reaktor

#### Daftar Pustaka

- [1] Aslam, M., Torrence, G.P., dan Zey, E.G., (1993), "Esterification", in J.I. Kroschwitz dan M. Howe-Grant (Eds). *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 4<sup>th</sup> Ed., 9, John Wiley & Sons, New York, hal. 755-780.
- [2] Budhijanto, Agra, I.B., Rangkuti, H., dan Dartanty, S., (2006), "Hidrolisis Minyak Jarak dengan Katalisator Penukar Anion", *MEDIA TEKNIK*, 3, hal. 59-66.
- [3] 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.
- [4] Dasari, M.A., Goff, M.J., dan Suppes, G.J., (2003), "Noncatalytic Alcoholysis Kinetics of Soybean Oil", *JAACS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(2), hal. 189-192.
- [5] Demirbaş, A., (2002), "Diesel Fuel from Vegetable Oil via Transesterification and Soap Pyrolysis", *Energy Sources*, 24, hal. 835-841.
- [6] Ergeneman, M., Özaktaş, T., Karaosmanoğlu, F., dan Arslan, H. E., (1997), "Ignition Delay Characteristics of Some Turkish Vegetable Oil-Diesel Fuel Blends", *Petroleum Science and Technology*, 15(7&8), hal. 667-683.
- [7] Febri, A.R.S., (2005), "Pengaruh Suhu dan Waktu pada Alkoholisis Minyak Jarak Kepyar Menggunakan Etanol dengan Katalisator KOH", *Laporan Penelitian*, Laboratorium Proses Kimia, Jurusan Teknik Kimia, FT-UGM, Yogyakarta.
- [8] Fogler, H.S., (1999), "*Elements of Chemical Reaction Engineering*", 3<sup>th</sup> Ed., Prentice Hall PTR, New Jersey, hal. 616, 768.
- [9] Peterson, C.L. dan Auld, D.L., (1991), "Technical Overview of Vegetable Oil as a Transportation Fuel", in "*FACT-Vol. 12, Solid Fuel Conversion for the Transportation Sector*", ASME, New York, hal. 45-54.
- [10] 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. 710-715.
- [11] Westerterp, K.R., Van Swaaij, W.P.M., dan Beenackers, A.A.C.M., (1984), "*Chemical Reactor Design and Operation*", John Wiley & Sons, New York, hal. 16.