

STUDI KINETIKA REAKSI HETEROGEN α -PINENE MENJADI TERPINEOL DENGAN KATALISATOR ASAM KHLORO ASETAT

Herti Utami^{1*)}, Arief Budiman¹⁾, Sutijan¹⁾, Roto²⁾, dan Wahyudi Budi Sediawan¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2 Yogyakarta 55281

²⁾Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada,
Sekip Utara, Yogyakarta 55281

^{*)}Penulis korespondensi: hertie19@hotmail.com

Abstract

KINETIC STUDY OF HETEROGENEOUS HYDRATION OF α -PINENE TO TERPINEOL USING CHLORO ACETIC ACID AS A CATALYST. Indonesian turpentine contains 65-85% α -pinene, 1% camphene, 1-3% β -pinene, 10-18% 3-carene and limonene 1-3%. In order to obtain more valuable products, α -pinene can be hydrated in dilute acid solutions to produce terpineol, which can be used as perfume, insect repellent, antifungal, disinfectant etc. The aim of this research was to study kinetics of terpineol synthesis from α -pinene, the main component of turpentine. Turpentine was introduced into a batch reactor (tree neck flask) equipped with condenser, thermometer, stirrer and was warmed up to the desired temperature with the reaction time of 420 minutes. The study investigated the effects of temperature, catalyst amount, and the stirring rate on the hydration of α -pinene. The heterogeneous kinetics model was proposed to quantitatively describe the hydration process of α -pinene. The results of this study showed the relationship of the constants of the reaction rate and temperatures. The equations can be written as follow

$k_1 = 4.121 \cdot 10^9 e^{\frac{-9256,38}{T}}$ and $k_2 = 3.801 \cdot 10^7 e^{\frac{-7841,44}{T}}$. The relative errors were 2.80% and 2.19%, respectively. It was found that the chemical reaction step controlled the hydration process. The results of this study show that the proposed heterogeneous kinetics model can quantitatively describe the hydration of α -pinene using chloro acetic acid as catalyst very well.

Keywords: α -pinene; chloro acetic acid; heterogeneous reaction kinetic; terpineol

Abstrak

Terpentin Indonesia mengandung 65-85% α -pinene, 1% camphene, 1-3% β -pinene, 10-18% 3-carene dan limonene 1-3%. Untuk meningkatkan nilai jual, α -pinene dapat dihidrasi dalam medium asam menjadi terpineol yang dapat digunakan untuk bahan parfum, penangkal serangga, anti jamur, desinfektan dll. Penelitian ini bertujuan mempelajari studi kinetika reaksi sintesa terpineol dari α -pinene yang merupakan komponen utama terpentin. Terpentin sebanyak volume tertentu dipanaskan dalam reaktor batch labu leher tiga yang dilengkapi dengan pendingin balik, thermometer dan pengaduk sehingga mencapai suhu tertentu dengan waktu reaksi selama 420 menit. Variabel yang dipelajari adalah suhu, jumlah mol katalis dan kecepatan pengadukan. Model kinetika heterogen diajukan untuk menggambarkan proses hidrasi α -pinene tersebut. Dari hasil perhitungan diperoleh hubungan antara konstanta kecepatan reaksi dengan suhu dapat dinyatakan dengan persamaan berikut $k_1 = 4,121 \cdot 10^9 e^{\frac{-9256,38}{T}}$ dan $k_2 = 3,801 \cdot 10^7 e^{\frac{-7841,44}{T}}$. Jika dipakai untuk menghitung k_1 dan k_2 persamaan tersebut memberikan ralat rata-rata sebesar 2,80% dan 2,19%. Reaksi kimia lebih berpengaruh terhadap kecepatan proses hidrasi secara keseluruhan. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa model kinetika reaksi heterogen yang diajukan dapat menggambarkan secara kuantitatif reaksi hidrasi α -pinene dengan katalisator asam khloro asetat.

Kata kunci : α -pinene; asam khloro asetat; kinetika reaksi heterogen; terpineol

PENDAHULUAN

Di Indonesia terpenin dihasilkan dari getah pinus jenis *pinus merkusii*. Terpenin dihasilkan sebagai hasil atas proses distilasi dan hasil bawahnya berupa gondorukem. Produk gondorukem dapat diolah lebih lanjut untuk bahan baku industri kosmetik, antiseptik, perekat, cat, dll. Sedangkan terpenin dapat digunakan untuk bahan baku industri minyak cat, bahan pelarut, isolasi, farmasi, dll. (Zinkel dkk., 1980).

Minyak terpenin Indonesia mengandung 65-85% α -pinene, kurang 1% *camphene*, 1-3% β -pinene, 10-18% 3-carene dan *limonene* 1-3% (Fleig, 2005). Selanjutnya, dari α -pinene akan bisa dibuat bahan kimia yang mempunyai nilai jual tinggi seperti terpineol. Bahan kimia ini merupakan produk yang secara luas digunakan pada industri kosmetik sebagai parfum, dalam industri farmasi sebagai anti jamur dan anti serangga, desinkfektan dan lain-lain (Aguirre dkk., 2005). Terpineol juga digunakan pada shampoo dan sabun pada industri kosmetik dan pada produk rumah tangga seperti pembersih dan deterjen (Bhatia dkk., 2008).

Penelitian mengenai hidrasi α -pinene menjadi terpineol yang telah dilakukan selama ini antara lain menggunakan *acidic solid catalyst*. Van der Waal, dkk. (1996) melakukan hidrasi dan isomerisasi α -pinene dengan zeolit H-beta sebagai katalis. Zeolit H-beta yang dipakai memiliki perbandingan Si/Al = 10. Produk utama yang diperoleh adalah monosiklik alkohol berupa α -terpineol. Reaktan α -pinene sebanyak 1,65 mmol dan aseton 1,65 mmol, direaksikan dengan 0,5 gram zeolit H-beta. Pemakaian katalis padat disini cukup banyak dan konversi pembentukan terpineol yang diperoleh lebih rendah dibanding dengan katalis asam cair. Sedangkan Vital (2001) melakukan hidrasi α -pinene dengan katalis membran *polydimethylsiloxane* (PDMS) yang diisi dengan zeolit USY, dan diperoleh produk utama α -terpineol, yang secara simultan juga membentuk produk minor, terutama *terpenic hydrocarbon*.

Beberapa penelitian lain dilakukan dengan menghidrasi *crude terpenin* secara langsung karena komponen terbesar dari terpenin adalah α -pinene. Proses ini lebih sederhana karena produk turunan dapat diperoleh dengan cara mereaksikan *crude terpenin*. Berdasarkan penelitian Pakdell (2001) sintesis terpineol dapat dilakukan dari hidrasi *crude sulphate turpentine*. Produk utama diperoleh terpineol dengan *yield* 67%. Dalam penelitian ini digunakan katalis asam sulfat 15% dan aseton berlebih sebagai *solubility promoter* dan direaksikan dengan waktu reaksi 4 jam. Santos (2005) juga melakukan penelitian dengan membandingkan hidrasi *sulphate turpentine*, hidrasi α -pinene komersial dan hidrasi *sulphate turpentine* yang didistilasi. Katalis yang digunakan sama dengan penelitian sebelumnya yaitu asam sulfat 15% dan aseton berlebih sebagai *solubility promoter*. Penelitian yang menggunakan katalis asam antara lain dengan katalis asam sulfat (Pakdell, 2001). Sedangkan

Aguirre (2005) melakukan penelitian hidrasi α -pinene dengan berbagai macam katalis asam untuk dibandingkan. Katalis yang digunakan adalah asam klorida, asam asetat, asam oksalat dan asam kloroasetat. Hidrasi dengan katalis asam khloroasetat diperoleh konversi 99% dengan selektivitas sekitar 69% pada kondisi suhu reaksi 70°C dan konsentrasi katalis 6,4 mol/L.

Penelitian yang dilakukan selama ini belum ada yang meninjau dari segi kinetika reaksi pembentukan terpineol dari terpenin langsung. Mengingat pentingnya data kinetika reaksi dan pertimbangan proses yang lebih sederhana karena tanpa terlebih dahulu memisahkan α -pinene dari terpenin maka dalam penelitian ini dilakukan studi kinetika reaksi terpenin menjadi terpineol dan digunakan katalisator asam khloroasetat.

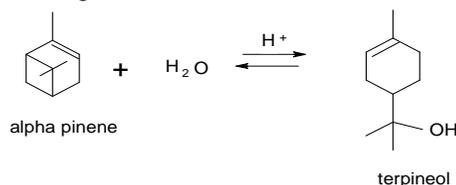
Model Reaksi Heterogen

Minyak terpenin dan air merupakan dua senyawa yang tidak bisa bercampur dengan baik, sehingga reaksi hidrasi melibatkan dua proses yang terjadi secara seri yaitu perpindahan massa dan reaksi kimia. Untuk menentukan langkah yang mengendalikan proses, maka diajukan model reaksi heterogen.

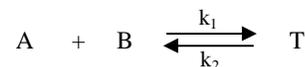
Pada model ini diambil anggapan sebagai berikut :

1. Reaksi terjadi hanya pada fasa minyak.
2. Volume lapisan film minyak jauh lebih kecil dari volume total minyak (fasa reaksi), maka reaksi yang terjadi pada lapisan film minyak diabaikan terhadap reaksi total. Pengadukan yang baik dapat mempertipis tebal lapisan minyak.
3. Minyak tidak mendifusi ke dalam air karena kelarutan minyak dalam air jauh lebih kecil dibandingkan dengan kelarutan air dalam minyak.

Reaksi pembentukan terpineol dari α -pinene adalah sebagai berikut:



Jika α -pinene dituliskan A, air dituliskan B dan produk terpineol T, maka persamaan reaksinya menjadi:



Dari neraca massa air (B) di fasa air diperoleh persamaan

$$\frac{dm}{dt} = k_c M_B A (C_{Bm}^* - C_{Bm}) \quad (1)$$

Konsentrasi air pada saat setimbang dianggap tetap.

$$C_{Bm}^* = f(C_{Ba}) = \text{tetap} \quad (2)$$

Neraca massa komponen Air (B) dalam fasa minyak

$$\frac{dC_{Bm}}{dt} = \frac{dm}{dt} \frac{1}{M_B} \frac{1}{V_m} + k_1 C_{Am} C_{Bm} - k_2 C_{Tm} \quad (3)$$

Neraca massa komponen A (*α-pinene*) dalam fasa minyak :

$$\frac{dC_{Am}}{dt} = k_1 C_{Am} C_{Bm} - k_2 C_{Tm} \quad (4)$$

Jika persamaan (4) disubstitusi ke persamaan (3) diperoleh

$$\frac{dC_{Bm}}{dt} = \frac{dm}{dt} \frac{1}{M_B} \frac{1}{V_m} + \frac{dC_{Am}}{dt} \quad (5)$$

Jika teramati ada penurunan hasil dengan bertambahnya waktu, maka diperkirakan terjadi reaksi degradasi. Persamaan neraca massa terpineol berbentuk

$$\frac{dC_{Tm}}{dt} = k_1 C_{Am} C_{Bm} - k_2 C_{Tm} - k_d C_{Tm} \quad (6)$$

Dengan C_{Bm}^* dan $K \left(k_2 = \frac{k_1}{K} \right)$ dihitung dari hasil eksperimen pada keadaan setimbang.

Kondisi Batas :

$$t = 0 ; m = m_0 ; C_{Bm} = 0 ; C_{Am} = C_{Amo}$$

Adjustable parameter : $(k_c A_{co}), k_1$ dan k_d

Penyelesaian persamaan (1) sampai (6) dilakukan dengan bantuan *software* aplikasi Matlab. Nilai $(k_c A)$, k_1 dan k_d ditentukan dengan metode *curve fitting*, dimana dilakukan minimasi *sum of squares of errors* (SSE), dengan persamaan :

$$SSE = \sum [(x_A)_{hit} - (x_A)_{data}]^2 \quad (7)$$

METODE PENELITIAN

Bahan baku yang digunakan adalah terpentin dari kayu pinus (*Pinus Merkusii*) yang diperoleh dari Perum Perhutani Semarang dengan kadar *α-pinene* 67,47% (berat). Asam khloro asetat p.a padat (Merck) dari Brata Chem, Yogyakarta dengan kadar kemurnian 99% berat. Air yang digunakan adalah aquadest yang diperoleh dari General Lab, Yogyakarta.

Prosedur Penelitian

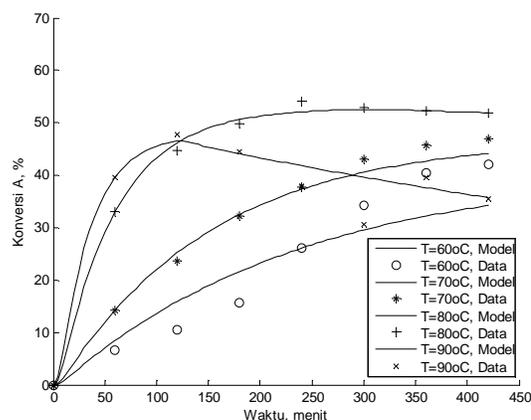
Terpentin dengan *α-pinene* sebanyak 0,25 mol, dipanaskan dalam reaktor *batch* labu leher tiga yang dilengkapi dengan pendingin balik sehingga mencapai suhu tertentu (60°C, 70°C, 80°C, 90°C) sementara itu (0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 mol) katalis asam dengan konsentrasi 6 molar juga dipanaskan sesuai suhu reaksi. *Aquadest* sebanyak 0,6 mol juga dipanaskan dalam wadah yang lain sesuai suhu reaksi. Ketika sudah mencapai suhu yang diinginkan maka terpentin, *aquadest*, serta katalisator dicampurkan dan pengaduk mulai dijalankan ($t = 0$) pada kecepatan pengadukan (264 rpm, 546 rpm dan 954 rpm) dan waktu reaksi mulai dihitung. Ketika mencapai waktu tertentu (tiap jam) diambil cuplikan untuk dianalisis dan waktu reaksi selama 420 menit. Reaksi dijalankan hingga kondisi kesetimbangan dimana konsentrasi terpineol yang terbentuk tidak ada perubahan yang berarti atau dianggap tetap terhadap waktu reaksi. Analisis produk

reaksi dilakukan dengan dengan *gas chromatograph* (GC) HP 5890 (seri II) dengan kolom HP-5, detektor FID (*Flame Ionization Detector*) dan gas pembawa helium. Adapun kondisi analisis adalah sebagai berikut : suhu injeksi 280°C, suhu kolom 80-280°C dengan suhu awal 80°C selama 5 menit dan suhu naik hingga 115°C dengan kecepatan kenaikan suhu 5°C/menit, dan mencapai suhu 280°C dengan kecepatan kenaikan suhu sebesar 20°C/menit, suhu detektor 280°C. Hasil data yang diperoleh berupa konsentrasi terpineol dan konsentrasi *α-pinene* digunakan untuk mendapatkan konstanta-konstanta kecepatan reaksi pada model kinetika yang diajukan.

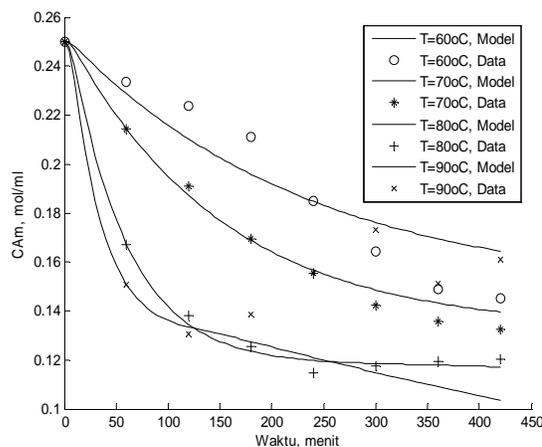
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Suhu Reaksi

Untuk mengetahui pengaruh suhu reaksi, dilakukan percobaan pada suhu 60°C, 70°C, 80°C dan 90°C dan setiap jam dilakukan analisis hasil reaksi. Data konversi pada berbagai suhu tersebut kemudian dipakai untuk verifikasi model kinetika yang diajukan.



Gambar 1. Konversi *α-pinene* pada berbagai variasi suhu



Gambar 2. Konsentrasi *α-pinene* pada berbagai suhu

Hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2. Dari hasil olah data diperoleh kondisi yang optimum adalah pada kondisi suhu 80°C, dengan

$x_A^* = 0,53$. Pada kondisi ini konstanta kecepatan reaksi ke kanan $k_1 = 0,0208 \text{ ml.mol}^{-1}.\text{menit}^{-1}$, konstanta kecepatan reaksi ke kiri $k_2 = 0,0087 \text{ ml.mol}^{-1}.\text{menit}^{-1}$. Hasil perhitungan konstanta kecepatan reaksi secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.

Secara umum model yang diajukan dapat menggambarkan secara kuantitatif reaksi hidrasi α -pinene dengan katalis asam khloro asetat.

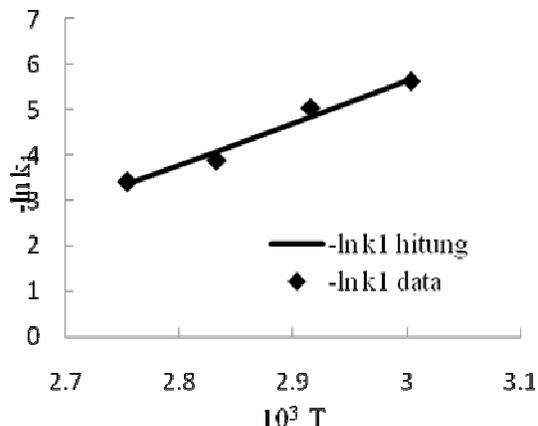
Dari perhitungan variasi suhu diperoleh harga-harga konstanta kecepatan reaksi seperti terlihat pada Tabel 1. Hubungan antara konstanta kecepatan reaksi (k_1) dengan suhu dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$k_1 = 4,121.10^9 e^{\frac{-9256,38}{T}} \quad (8)$$

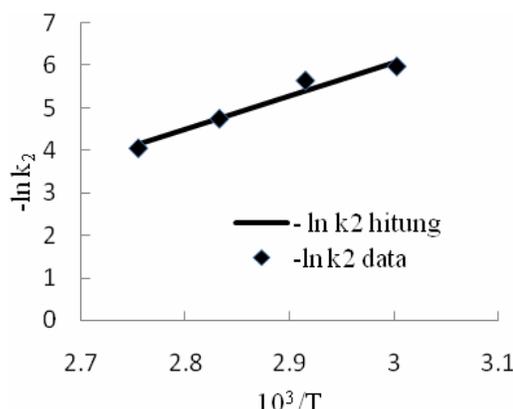
Dengan nilai tenaga aktivasi (E) sebesar 18392 kal/gmol. Jika dipakai untuk menghitung k_1 persamaan (8) memberikan ralat rata-rata sebesar 2,80%. Hubungan antara konstanta kecepatan reaksi (k_2) dengan suhu dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$k_2 = 3,801.10^7 e^{\frac{-7841,44}{T}} \quad (9)$$

Dengan nilai tenaga aktivasi (E) sebesar 15580 kal/gmol. Jika dipakai untuk menghitung k_2 persamaan (11) memberikan ralat rata-rata sebesar 2,19%. Hubungan $-\ln k$ dan suhu dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Hubungan antara $\ln k_1$ dengan $1/T$

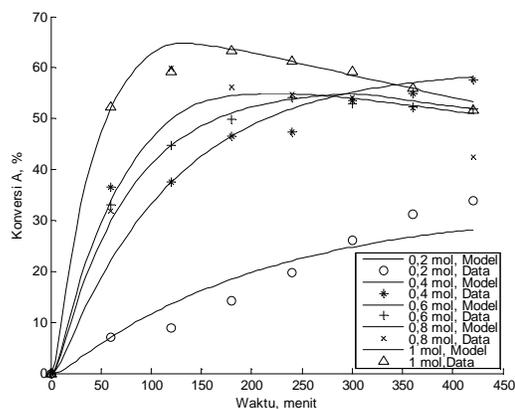


Gambar 4. Hubungan antara $\ln k_2$ dengan $1/T$

Analisis sensitivitas dengan simulasi mengubah nilai konstanta/tetapan perpindahan massa dan konstanta kecepatan reaksi menunjukkan bahwa reaksi kimia lebih berpengaruh terhadap kecepatan proses secara keseluruhan.

Pengaruh Jumlah Mol Katalis

Untuk mengetahui pengaruh mol katalis, dilakukan percobaan pada 0,2 mol; 0,4 mol; 0,6 mol; 0,8 mol dan 1 mol. Setiap jam dilakukan analisis hasil reaksi. Setelah dilakukan analisis dan perhitungan, hasilnya terlihat pada Gambar 5 dan 6.



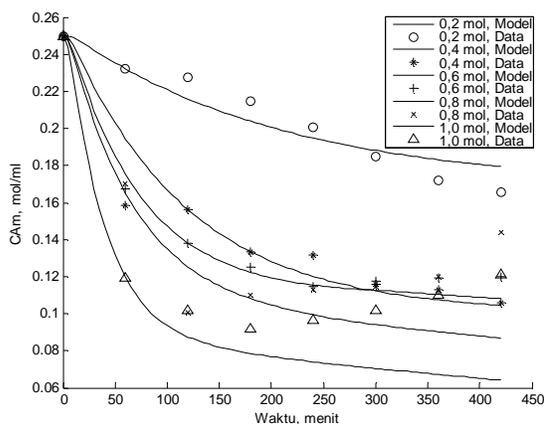
Gambar 5. Konversi α -pinene pada berbagai variasi mol katalis

Tabel 1. Konstanta kecepatan reaksi dan konstanta perpindahan massa (Reaktan α -pinene = 0,25 mol; aquadest = 0,6 mol; jumlah katalis = 0,6 mol; konsentrasi katalis = 6 molar; kecepatan pengadukan = 954 rpm)

Suhu Reaksi	Konstanta kecepatan reaksi ke kanan (k_1), $\text{ml.mol}^{-1}.\text{menit}^{-1}$	Konstanta kecepatan reaksi ke kiri (k_2), $\text{ml.mol}^{-1}.\text{menit}^{-1}$	Konstanta kecepatan reaksi degradasi (k_d), $\text{ml.mol}^{-1}.\text{menit}^{-1}$	Konstanta Kesetimbangan reaksi (K)	Konstanta perpindahan massa, (k_cA) 1/menit
60°C	0,0036	0,0026	-	1,4097	1,3487
70°C	0,0065	0,0036	-	1,8268	1,3616
80°C	0,0208	0,0087	0,0002	2,3951	1,4106
90°C	0,0330	0,0173	0,0019	1,9032	1,4446

Tabel 2. Konstanta kecepatan reaksi dan konstanta perpindahan massa
(Reaktan α -pinene = 0,25 mol; aquadest = 0,6 mol; konsentrasi katalis = 6 molar; suhu reaksi = 80°C; kecepatan pengadukan = 954 rpm)

Jumlah Mol Katalis	Konstanta kecepatan reaksi ke kanan (k_1), ml.mol ⁻¹ .menit ⁻¹	Konstanta kecepatan reaksi ke kiri (k_2), ml.mol ⁻¹ .menit ⁻¹	Konstanta kecepatan reaksi degradasi (k_d), ml.mol ⁻¹ .menit ⁻¹	Konstanta Kesetimbangan reaksi (K)	Konstanta perpindahan massa, (k_cA), l/menit
0,2	0,0031	0,0033	-	0,9302	0,8131
0,4	0,0094	0,0035	-	2,6880	1,1859
0,6	0,0208	0,0087	0,0002	2,3951	1,4106
0,8	0,0262	0,0094	0,0009	2,7928	1,4256
1,0	0,0291	0,0082	0,0011	3,5472	1,6291



Gambar 6. Konsentrasi α -pinene pada berbagai variasi mol katalis

Pada penambahan mol katalis 0,4 mol terjadi peningkatan hasil yang cukup berarti dan jika lebih dari 0,6 mol terlihat bahwa kondisi menurun jika waktu reaksi lebih dari 300 menit. Dari hasil perhitungan diperoleh SSE yang cukup kecil. Hasil perhitungan konstanta reaksi dapat dilihat pada Tabel 2.

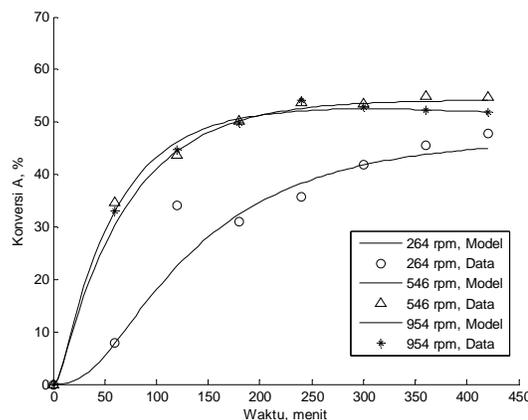
Pengaruh Kecepatan Pengadukan

Untuk mengetahui pengaruh kecepatan pengadukan, dilakukan percobaan pada kecepatan pengadukan 264, 546 dan 954 rpm, dan setiap jam dilakukan analisis hasil reaksi. Data konversi pada berbagai kecepatan pengadukan tersebut kemudian dipakai untuk verifikasi model kinetika yang diajukan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.

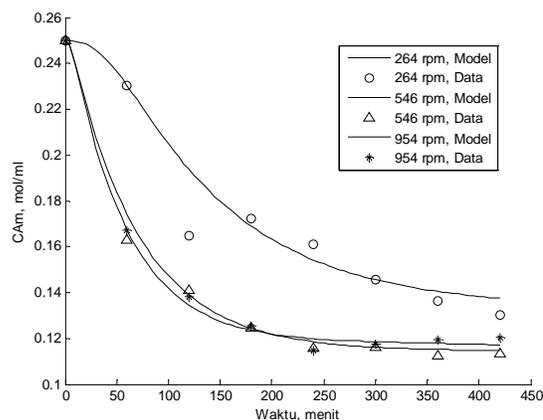
Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa kondisi yang optimum diperoleh pada kecepatan pengadukan 546 rpm, karena konversi yang dihasilkan tidak berbeda banyak dengan kecepatan pengadukan 954 rpm.

Pada waktu reaksi lebih dari 300 menit pada kecepatan pengadukan 954 rpm justru terjadi penurunan hasil dan dari Tabel 3 setelah dilakukan perhitungan diperoleh konstanta kecepatan reaksi ke

kanan (k_1)=0,0208 ml.mol⁻¹.menit⁻¹, konstanta kecepatan reaksi ke kiri (k_2)=8,7.10⁻³ ml.mol⁻¹.menit⁻¹ dan konstanta reaksi penurunan hasil (k_d) = 0,0002 ml.mol⁻¹.menit⁻¹.



Gambar 7. Profil konversi pada berbagai variasi variasi kecepatan pengadukan



Gambar 8. Profil konsentrasi α -pinene pada berbagai kecepatan pengadukan

Tabel 3. Konstanta kecepatan reaksi dan konstanta perpindahan massa (Reaktan α -pinene = 0,25 mol; aquadest = 0,6 mol; jumlah katalis = 0,6 mol; konsentrasi katalis = 6 molar; suhu reaksi = 80 °C)

Kecepatan Pengadukan	Konstanta kecepatan reaksi ke kanan (k_1), ml.mol ⁻¹ .menit ⁻¹	Konstanta kecepatan reaksi ke kiri (k_2), ml.mol ⁻¹ .menit ⁻¹	Konstanta kecepatan reaksi degradasi (k_d), ml.mol ⁻¹ .menit ⁻¹	Konstanta Kesetimbangan reaksi (K)	Konstanta perpindahan massa, (k_cA), l/menit
264 rpm	0,0088	0,0048	-	1,8142	0,1861
546 rpm	0,0175	0,0068	-	2,5543	1,7384
954 rpm	0,0208	0,0087	0,0002	2,3951	1,4106

Pada waktu reaksi lebih dari 300 menit pada kecepatan pengadukan 954 rpm justru terjadi penurunan hasil dan dari Tabel 3 setelah dilakukan perhitungan diperoleh konstanta kecepatan reaksi ke kanan (k_1)=0,0208 ml.mol⁻¹.menit⁻¹, konstanta kecepatan reaksi ke kiri (k_2)=8,7.10⁻³ ml.mol⁻¹.menit⁻¹ dan konstanta reaksi penurunan hasil (k_d) = 0,0002 ml.mol⁻¹.menit⁻¹.

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan variabel suhu dan jumlah mol katalis sangat mempengaruhi jumlah terpineol yang diperoleh. Hubungan antara konstanta kecepatan reaksi dengan suhu dapat dinyatakan dengan persamaan

$$k_1 = 4,121.10^9 e^{\frac{-9256,38}{T}} \quad \text{dan}$$

$$k_2 = 3,801.10^7 e^{\frac{-7841,44}{T}}$$

Jika dipakai untuk menghitung k_1 dan k_2 persamaan tersebut memberikan ralat rata-rata sebesar 2,80% dan 2,19%. Reaksi kimia lebih berpengaruh terhadap kecepatan proses secara keseluruhan. Dari hasil perhitungan model kinetika reaksi heterogen yang diajukan dapat menggambarkan secara kuantitatif reaksi hidrasi α -pinene dengan katalis asam khloro asetat dengan sangat baik, termasuk model kinetika reaksi jika ada penurunan hasil terpineol.

NOTASI

C_{Am} = konsentrasi α -pinene dalam fasa minyak, mol/mL

C_{Bm} = konsentrasi air dalam fasa minyak, mol/mL

C_{Ba} = konsentrasi air dalam fasa air, mol/mL

C_{Tm} = konsentrasi terpineol dalam fasa minyak, mol/mL

C_{Bm}^* = konsentrasi air pada saat kesetimbangan, mol/mL

m = massa air di fasa air, g/mL

M_B = berat molekul air, g/mol

k_cA = koefisien perpindahan massa, l/menit

k_1 = konstanta kinetika reaksi ke kanan, ml.mol⁻¹.menit⁻¹

k_2 = konstanta kinetika reaksi ke kiri, ml.mol⁻¹.menit⁻¹

k_d = konstanta degradasi, ml.mol⁻¹.menit⁻¹

K = konstanta kesetimbangan reaksi

t = waktu reaksi, menit

V_m = total volume minyak, mL

x_A = konversi α -pinene menjadi terpineol

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Direktorat Jenderal Dikti melalui Program Bantuan Hibah Doktor 2009 yang telah membiayai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aguirre, M.R., De la Torre - Sa'enz, L., Flores, W.A., Robau-Sa'nchez, A., and Elgue'zabal, A., (2005), Synthesis of Terpineol from α -pinene by Homogeneous Acid Catalysis, *Catalysis Today*, 107-108, pp. 310-314.

Bhatia, S.P., Letizia, C.S., and Api, A.M., (2008), Fragrance Material Review on Alpha Terpineol, *Food and Chemical Toxicology*.

Fleig, H., (2005), *Turpentine*, chap. 14, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co., KGaA, Weinheim

Pakdel, H., Sarron, S., and Roy, C., (2001), α -Terpineol from Hydration of Crude Sulfate Turpentine Oil, *J. Agric. Food Chem.*, 49, pp. 4337-4341.

Santos, M.G., and Morgado, A.F., (2005), *Alfa Terpineol Production From Refined Sulphate Turpentine*, Mercosur Congress on Chemical Engineering, Brasil.

Van der Waal, J.C., Van Bekkum, H., and Vital, J.M., (1996), The Hydration and Isomerization of α -Pinene Over Zeolit Beta. A New Coupling Reaction between α -Pinene and Ketones, *Journal of Molecular Catalysis*, pp. 185-188.

Vital, J., Ramos, A.M., Silva, I.F., and Castanheiro, J.E., (2001), The Effect of α -terpineol on the Hydration of α -pinene Over Zeolites Dispersed in Polymeric Membranes, *Catalysis Today*, 67, pp. 217-223.

Zinkel, D.F. and Russel, J., (1980), *Naval Stores: Production, Chemistry and Utilisation*, Pulp Chemicals Association, New York.