

## PENGARUH TEMPERATUR PADA REAKSI HIDRASI $\alpha$ -PINENA MENJADI $\alpha$ -TERPINEOL TERKATALIS ZEOLIT ALAM TERAKTIVASI

N Amilia <sup>✉</sup> K Siadi, Latifah

Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Semarang, Indonesia

### Info Artikel

#### Sejarah Artikel:

Diterima Februari 2015  
Disetujui Maret 2015  
Dipublikasikan April 2015

#### Keywords:

$\alpha$ -pinene,  $\alpha$ -terpineol, the effect of temperature, hydration reaction

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur pada reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena menjadi  $\alpha$ -terpineol pada sistem heterogen dengan katalis zeolit alam teraktivasi dan untuk mengetahui besarnya energi aktivasi pada reaksi yang terjadi. Penelitian diawali dengan aktivasi zeolit alam sebagai katalis, karakterisasi katalis serta aplikasi zeolit pada reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena minyak terpentin menjadi  $\alpha$ -terpineol pada temperatur 30, 40, 50, 60, 70 dan 80°C. Karakterisasi katalis meliputi penentuan luas permukaan, volume pori, dan rerata jejari pori menggunakan *Gas Sorption Analyzer NOVA 1200e* metode BET. Hasil reaksi hidrasi terbaik menggunakan katalis zeolit alam teraktivasi dianalisis menggunakan spektrofotometer IR, *Gas Chromatography (GC)* dan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS)*. Hasil analisis IR menunjukkan adanya serapan gugus OH pada bilangan gelombang 3400 $\text{cm}^{-1}$ , gugus C-H alifatik pada bilangan gelombang 2987,09 $\text{cm}^{-1}$ , gugus C=C pada bilangan gelombang 1635,64 $\text{cm}^{-1}$ , gugus C-O pada bilangan gelombang 1126,43  $\text{cm}^{-1}$ . Kesimpulan utama penelitian ini adalah kenaikan temperatur berpengaruh terhadap konversi (%)  $\alpha$ -pinena menjadi  $\alpha$ -terpineol. Hasil terbaik diperoleh pada temperatur reaksi 70°C dengan kadar 68,53% dan harga energi aktivasi pada reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena sebesar 69,6546  $\text{kJmol}^{-1}$ .

### Abstract

*This study aims to determine the effect of temperature on the hydration reaction of  $\alpha$ -pinene into  $\alpha$ -terpineol in heterogeneous systems with activated natural zeolite catalysts and to determine the activation energy of the reaction that occurs. The study begins with the activation of natural zeolite as a catalyst, characterization and applications of zeolite catalysts in the hydration reaction of  $\alpha$ -pinene from turpentine oil into  $\alpha$ -terpineol at temperature of 30, 40, 50, 60, 70 and 80°C. Catalyst characterization includes the determination of the surface area, pore volume, and average pore by using NOVA Gas Analyzer 1200E sorption with BET method. The best result of hydration reaction with activated natural zeolite catalysts were analyzed by using IR spectrophotometer, Gas Chromatography (GC) and Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS). IR analysis results indicated the presence of OH group absorption at wave number 3400  $\text{cm}^{-1}$ , CH aliphatic at wave number 2987,09  $\text{cm}^{-1}$ , group C=C at wave number 1635,64  $\text{cm}^{-1}$ , the CO group at wave number 1126.43  $\text{cm}^{-1}$ . The main conclusion of this study is the rise in temperature associated with the conversion (%)  $\alpha$ -pinene into  $\alpha$ -terpineol. The best results obtained at a reaction temperature of 70°C with 68.53% in level and the activation energy on the hydration reaction of  $\alpha$ -pinene is 69,6546  $\text{kJmol}^{-1}$ .*

© 2015 Universitas Negeri Semarang

<sup>✉</sup> Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2, Kampus Unnes Sekaran,  
Gunungpati, Semarang, 50229  
E-mail: arfita\_n2f@yahoo.co.id

ISSN 0215-9945

## PENDAHULUAN

Sekitar 200 jenis minyak atsiri diperdagangkan di pasar dunia dan tidak kurang dari 80 jenis diantaranya diproduksi secara kontinyu di berbagai negara berkembang dan 20 jenis minyak atsiri Indonesia dikenal di pasar dunia, beberapa di antaranya sudah menjadi komoditi ekspor yaitu serai wangi, nilam, akar wangi, kenanga, kayu putih, cengkeh, cendana, pala, massoi, kruing, gaharu, lawang, dan terpentin. Minyak atsiri digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan obat-obatan, parfum, kosmetika, sabun, detergen, flavor dalam makanan dan minuman, dan aroma terapi.

Terpentin merupakan salah satu minyak yang didapatkan dari pohon pinus dan dimanfaatkan sebagai pelarut dalam industri farmasi, pengolahan resin, dan cat. Sebagian besar pohon pinus di Indonesia adalah jenis *Pinus merkusii* yang menghasilkan terpentin dengan komposisi 82%  $\alpha$ -pinena dan komponen lain seperti kamfen,  $\beta$ -pinena, dan limone (Utami 2009)

Senyawa  $\alpha$ -pinena merupakan senyawa organik dari golongan senyawa terpen dan termasuk ke dalam senyawa alkena yang mengandung cincin reaktif karena adanya ikatan rangkap dan dapat ditemukan pada berbagai minyak pohon jenis konifer terutama pinus. Senyawa  $\alpha$ -pinena didapatkan dari proses produksi bubur kertas berbahan dasar kayu pinus dengan kandungan sekitar 92% atau dari hasil isolasi minyak terpentin dengan destilasi pengurangan tekanan (Aguirre *et al.* 2005).

Terpineol merupakan produk utama dan paling berlimpah yang digunakan secara luas dalam industri kosmetik, parfum, antifungi, desinfektan, pewangi dalam cairan pembersih, dan kini juga dikembangkan sebagai polimer. Senyawa ini tergolong ke dalam senyawa alkohol monoterpen monosiklik yang diperoleh melalui hidrasi  $\alpha$ -pinena dalam suasana asam menghasilkan campuran kompleks berupa monoterpen, alkohol, dan hidrokarbon. Selain itu  $\alpha$ -terpineol juga dapat diperoleh melalui hidrasi atau biokonversi limonen

terkatalisis asam tetapi disertai terbentuknya diol dalam jumlah yang besar (Dutenhefner *et al.* 2001).

Hidrasi  $\alpha$ -pinena dengan katalis asam membentuk campuran kompleks monoterpen (alkohol dan hidrokarbon). Senyawa  $\alpha$ -pinena bereaksi dalam media asam akan mengekspansi cincinnya membentuk senyawa turunan seperti kamfen, fencen, dan bornilen atau membukanya cincin membentuk limonen, terpinolen, dan  $\alpha$  atau  $\gamma$  terpinen. Apabila dalam reaksi hidrasi ada kehadiran air dan katalis asam, penambahan produk-produk di atas akan membentuk alkohol seperti  $\alpha$ -terpineol dan borneol. Beberapa penelitian mengenai reaksi hidrasi  $\alpha$  pinena sudah dilakukan, antara lain Pratigto *et al.* (2015) dan Adawiyah & Wijayati (2015). Pratigto *et al.* (2015) telah meneliti reaksi hidrasi  $\alpha$  pinena dari terpentin menjadi  $\alpha$  terpineol dengan menggunakan katalis asam trikloasetat, dihasilkan kadar 52,85% pada kondisi reaksi 60°C dan waktu reaksi 60 menit dan perbandingan konsentrasi reaktan 3:2. Adawiyah & Wijayati (2015) menghasilkan produk reaksi hidrasi  $\alpha$  pinena dengan katalis TCA/ zeolit alam teraktivasi sebesar 14,11% pada temperatur 65-70°C selama waktu reaksi 120 menit.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui temperatur reaksi yang paling baik untuk melangsungkan reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena menjadi  $\alpha$ -terpineol, dan untuk mengetahui besarnya energi aktivasi reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena menjadi  $\alpha$ -terpineol dengan katalis zeolit alam teraktivasi.

## METODE PENELITIAN

Aktivasi zeolit alam menggunakan metode Trisunaryati *et al* (2005), dilakukan dengan menghancurkan zeolit alam kemudian diayak ukuran 100 mesh, direndam dalam aquades sambil diaduk selama 24 jam pada temperatur kamar sebanyak 3 kali, disaring, dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C. Serbuk zeolit alam direndam dengan HF 1% selama 30 menit kemudian dicuci dengan aquades dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C selama 24 jam. Sampel direndam dalam HCl 6M kemudian dicuci dengan

aquademin sampai ion  $\text{Cl}^-$  hilang (uji dengan  $\text{AgNO}_3$  1%) selanjutnya zeolit dikeringkan dan dihaluskan kembali. Sampel kembali direndam menggunakan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1N kemudian dicuci dengan aquademin sampai ion  $\text{Cl}^-$  hilang dan diayak dengan ukuran 100 mesh. Terakhir dilakukan kalsinasi pada temperatur  $400^\circ\text{C}$  selama 3 jam. Sifat-sifat katalis yang disintesis dikethui dengan melakukan karakterisasi katalis zeolit alam teraktivasi menggunakan metode BET (*Brunnaer Emmet Teller*) *Gas Sorption Analyzer* 1200e NOVA (*No Void Analysis*).

Isolasi minyak terpentin dilakukan dengan memisahkan komponen minyak terpentin dari air dengan menambahkan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidrat dan disaring kemudian didestilasi fraksinasi pengurangan tekanan pada suhu  $50^\circ\text{C}$ .

Reaksi hidrasi menggunakan metode Avila *et al* (2010) dengan variasi temperatur 30, 40, 50, 60, 70, dan  $80^\circ\text{C}$ . Dalam labu alas bulat leher 3 dimasukkan 0,25 gram  $\alpha$ -pinena, 2,5 mL aquabides, dan 3,4 mL isopropil alkohol. Labu dilengkapi pendingin bola, termometer, dan pengaduk magnet. Campuran diaduk sambil dipanaskan sampai temperatur yang diinginkan tercapai kemudian dimasukkan 400 mg katalis H-zeolit. Reaksi dilakukan selama 120 menit dan campuran dipisahkan dengan sentrifugasi 350 rpm selama 15 menit untuk memisahkan katalis dari campuran. Campuran yang telah terpisah dari katalis dipisahkan menggunakan corong pisah untuk memisahkan lapisan bawah (fase air) dari lapisan atas (fase organik). Fase organik dicuci dengan

aquades di dalam corong pisah, dinetralkan dengan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  10%, dan dicuci dengan diklorometana kemudian dipisahkan fase organik dengan air hasil pencucian. Fase organik ditambahkan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidrat untuk mengikat sisa air kemudian disaring untuk memisahkan endapan dan dialiri gas  $\text{N}_2$  untuk menguapkan sisa pelarut. Hasil reaksi hidrasi ini diuji dengan metode FT-IR (*Fourier Transform Infa Red*) Shimadzu-8201 PC, kromatografi gas GC (*Gas Chromatography*) Agilent 6820 dan GC-MS (*Gas Chromatography Mass Spectrofotometry*) Shimadzu QP-2010S untuk produk hasil reaksi terbaik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena menjadi  $\alpha$ -terpineol memerlukan katalis heterogen sehingga tahap penyiapan katalis padat berupa zeolit alam teraktivasi menjadi bagian penting dalam penelitian ini. Karakterisasi katalis zeolit alam teraktivasi meliputi luas permukaan spesifik, rerata jejari pori, dan volume total pori katalis menggunakan metode BET dengan alat *Gas Sorption Analyzer* NOVA1200e dengan hasil ditampilkan pada Tabel 1. Dalam proses reaksi hidrasi, harus terjadi kontak antara molekul umpan  $\alpha$ -pinena, pelarut, dan air dengan situs aktif katalis untuk menyediakan suasana asam. Apabila luas permukaan katalis semakin besar maka kemungkinan terjadinya reaksi hidrasi dan pertukaran ion  $\text{H}^+$  semakin besar pula. Ukuran jari-jari pori katalis yang besar juga menunjang molekul umpan untuk dapat masuk ke dalam pori katalis.

**Tabel 1.** Hasil Karakterisasi luas permukaan spesifik, rerata jejari pori, dan volume total pori katalis menggunakan metode BET

Sampel	Luas Permukaan Spesifik ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Rerata Jejari Pori ( $\text{Å}$ )	Volume Pori ( $\text{cc/g}$ )
H-Zeolit Alam	6,376	16,960	0,025

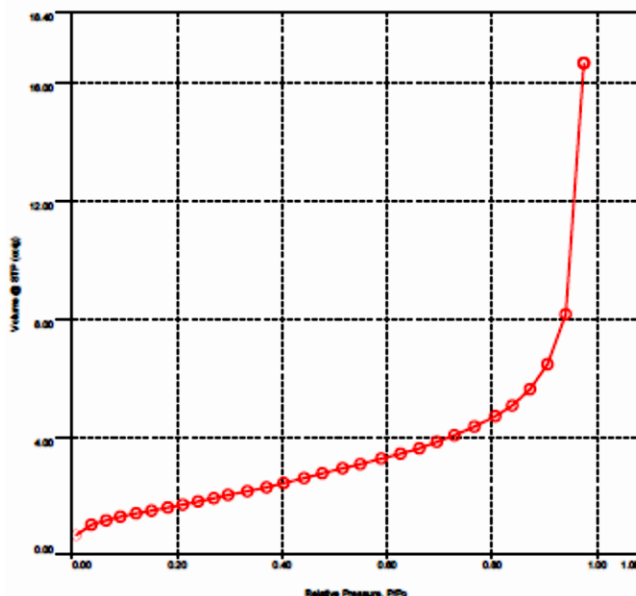
Aktivasi zeolit alam dengan perlakuan asam dan garam bermanfaat untuk meningkatkan kinerja dari zeolit alam. Karakterisasi luas permukaan katalis zeolit alam teraktivasi menggunakan BET (*Bruner, Emmet, dan Teller*) didasarkan pada fenomena adsorpsi gas lapis tunggal yang

berlangsung pada temperatur tetap. Luas permukaan dan volume pori yang besar menyebabkan reaktan dapat masuk ke dalam pori katalis sehingga molekul reaktan yang teradsorpsi pada permukaan katalis akan meningkat sehingga

reaksi lebih cepat dan produk yang dihasilkan juga semakin banyak.

Gambar 1 menunjukkan grafik jumlah adsorpsi gas nitrogen terhadap tekanan relatif P/Po. Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa isoterm adsorpsi nitrogen menunjukkan pola dimana terjadi kenaikan secara cepat pada P/Po rendah, kemudian naik perlahan pada pertengahan dan naik dengan cepat pada nilai P/Po mendekati satu. Kenaikan pertama terjadi akibat adanya molekul gas yang teradsorpsi berinteraksi dengan daerah yang berenergi pada permukaan padatan. Pada pengisian ini terbentuk *monolayer*, kemudian pada daerah

P/Po yang lebih tinggi pertambahan molekul gas terjadi pada permukaan *monolayer* sebelumnya membentuk lapisan berlapis (*multilayer*) hingga pada akhir pengisian. Adanya *loop* histerisis pada daerah pertengahan menunjukkan isoterm ini merupakan isoterm tipe II yaitu jenis adsorpsi dari padatan berpori meso yakni dengan ukuran diameter pori 20-500 Å atau 2-50 nm (Hartanto *et al.* 2011). Hasil analisis pada katalis H-zeolit yang digunakan dalam reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena ini memiliki ukuran diameter pori sebesar 80,90 Å atau dikatakan bahwa ukuran pori H-zeolit tergolong ke dalam ukuran mesopori.



**Gambar 1.** Isoterm adsorpsi N<sub>2</sub> dari katalis H-Zeolit

Bahan dasar  $\alpha$ -pinena yang digunakan dalam penelitian ini merupakan minyak terpenin yang berasal dari Perum Perhutani Unit I Jawa Tengah dan diisolasi dengan cara distilasi pengurangan

tekanan dengan identifikasi fisik seperti dalam Tabel 2. Senyawa  $\alpha$ -pinena hasil isolasi berwujud cair dengan warna jernih dan berbau khas terpenin.

**Tabel 2.** Sifat fisik senyawa  $\alpha$ -pinena hasil isolasi

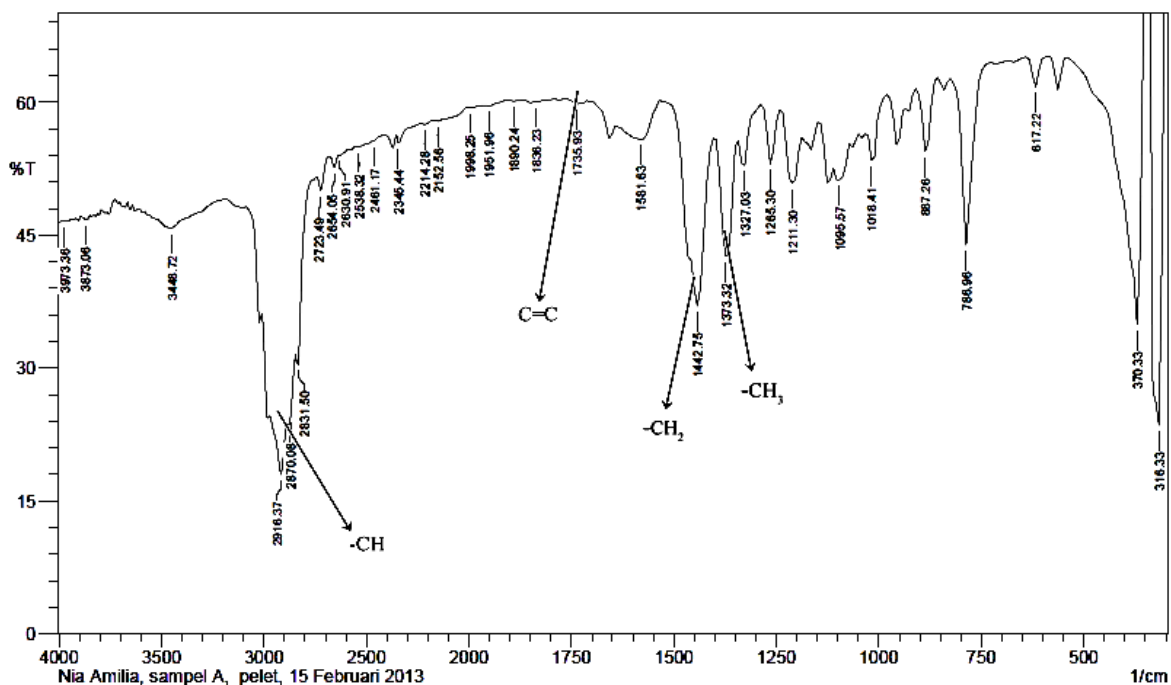
No	Sifat Fisik	Keterangan
1.	Wujud	Cair
2.	Warna	Jernih
3.	Bau	Bau khas terpenin

Hasil analisis  $\alpha$ -pinena menggunakan spektrofotometer inframerah pada Gambar 2

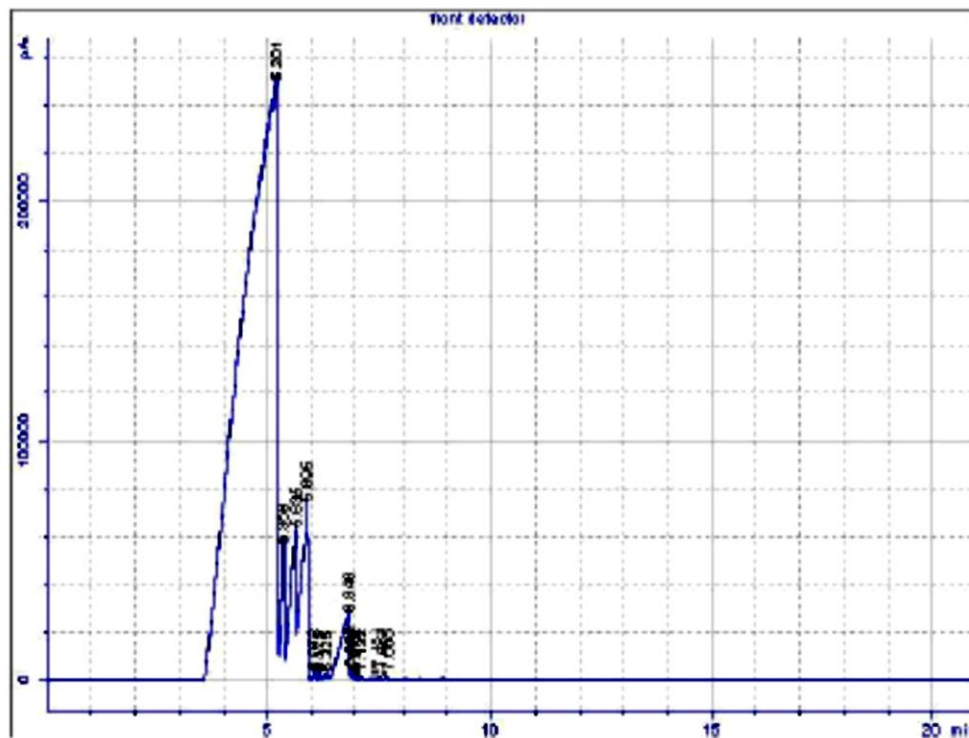
menunjukkan adanya beberapa serapan karakteristik. Puncak 2916,37 cm<sup>-1</sup> menunjukkan

adanya serapan gugus C-H alkana, 1735,93  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya rentangan C=C alkena, 1442,75  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan gugus  $\text{CH}_2$  dan 1373,32  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan gugus  $\text{CH}_3$ . Berdasarkan spektrum hasil analisis tersebut dimungkinkan bahwa senyawa yang dianalisis adalah  $\alpha$ -pinena.

Hasil kromatogram GC pada Gambar 3 menunjukkan adanya lima puncak dengan puncak tertinggi pada waktu retensi 5,201 menit sebagai puncak dari senyawa  $\alpha$ -pinena dengan persentase kadar sebesar 87,84%.



Gambar 2. Spektrum IR  $\alpha$ -pinena hasil isolasi

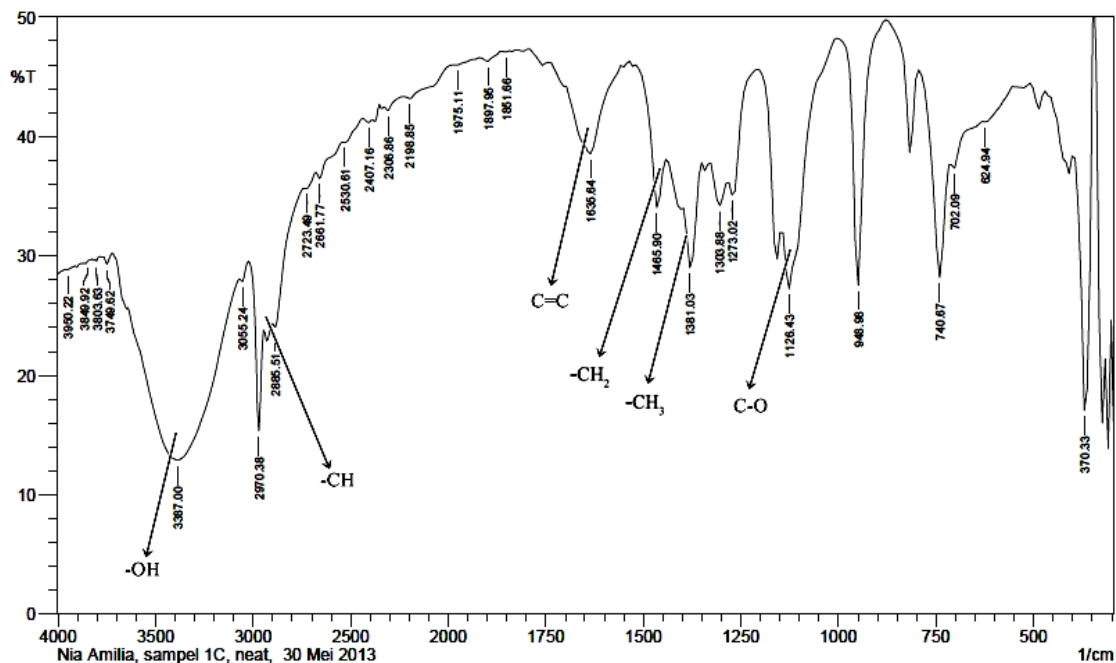


**Gambar 3.** Kromatogram GC  $\alpha$ -pinena

Analisis hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena menggunakan GC didasarkan pada pemisahan komponen berdasarkan sifat kepolaran dan titik didihnya. Kolom yang digunakan adalah kolom HP-5 yang sifatnya semipolar-nonpolar dan sampel diinjeksikan pada temperatur injektor 300°C, temperatur kolom 70°C, temperatur detektor 300°C, dan *running* selama 21 menit. Hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena pada temperatur 30°C menghasilkan rendemen sebesar 0,17% yang muncul pada waktu retensi 7,252 menit dalam kromatogram GC sedangkan sisa  $\alpha$ -pinena sebanyak 81,70%. Temperatur 40°C menghasilkan rendemen sebesar 1,06% yang muncul pada waktu retensi 6,942 menit, sisa  $\alpha$ -pinena sebanyak 15,14%. Temperatur 50°C menghasilkan rendemen sebesar 2,03% yang muncul pada waktu retensi 7,251 menit, sisa  $\alpha$ -pinena sebanyak 23,84%. Temperatur 60°C menghasilkan rendemen

48,53% yang muncul pada waktu retensi 6,946 menit dan sisa  $\alpha$ -pinena 13,91%. Temperatur 70°C menghasilkan rendemen 68,53% yang muncul pada waktu retensi 7,205 menit dan sisa  $\alpha$ -pinena 3,37%.

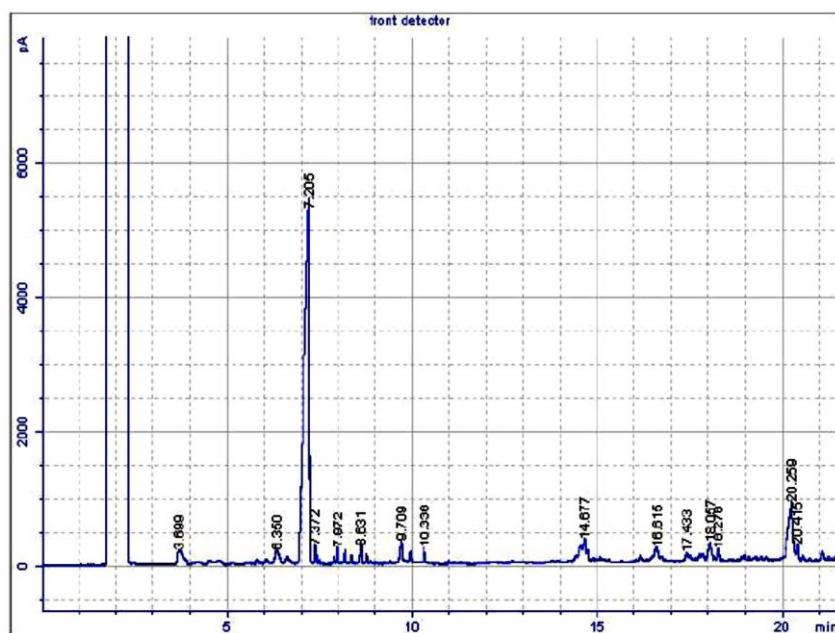
Gambar 4 menunjukkan Spektrum IR hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena temperatur 70°C. Terakhir pada temperatur 80°C menghasilkan rendemen sebesar 6,34% pada waktu retensi 7,268 menit dan sisa  $\alpha$ -pinena sebanyak 2,66%. Kadar  $\alpha$ -pinena semakin menurun dan senyawa  $\alpha$ -terpineol semakin banyak dengan kenaikan temperatur mulai dari temperatur 30°C hingga 70°C, namun hingga reaksi pada temperatur 80°C kadar senyawa  $\alpha$ -terpineol menurun. Bertambahnya temperatur pada reaksi hidrasi mengakibatkan gerakan sangat aktif dari reaktan sehingga muncul rintangan antara sisi aktif molekul reaktan dengan situs aktif katalis.



**Gambar 4.** Spektrum IR hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena temperatur  $70^{\circ}\text{C}$

Analisis struktur senyawa reaksi hidrasi menggunakan IR pada Gambar 4 menghasilkan spektrum dengan serapan gugus OH pada bilangan gelombang  $3387\text{ cm}^{-1}$ . Serapan gugus C-H alifatik pada bilangan gelombang  $2987,09\text{ cm}^{-1}$ , gugus C=C

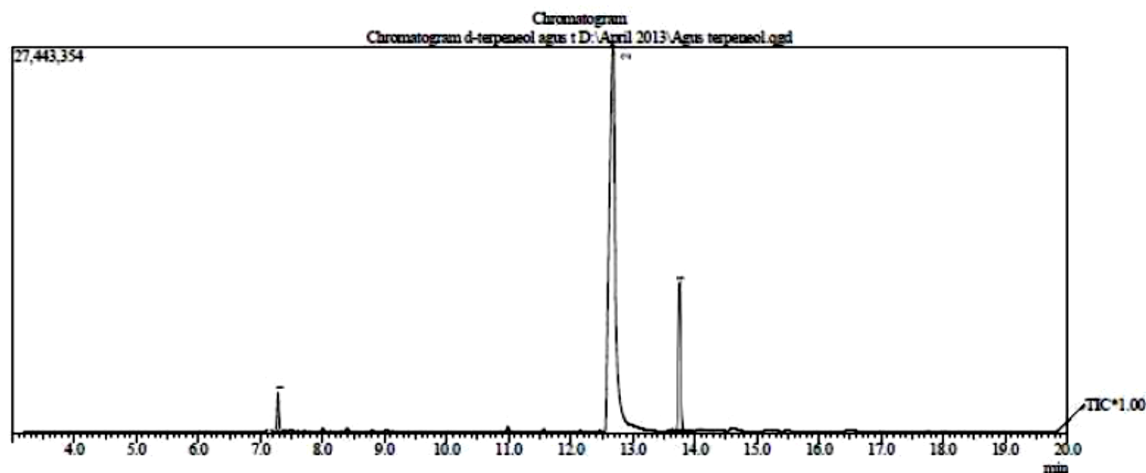
pada bilangan gelombang  $1635,64\text{ cm}^{-1}$ , gugus C-O pada bilangan gelombang  $1126,43\text{ cm}^{-1}$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa senyawa yang dihasilkan merupakan senyawa alkohol berupa  $\alpha$ -terpineol yang termasuk ke dalam alkohol tersier.



**Gambar 5.** Kromatogram GC hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena temperatur  $70^{\circ}\text{C}$

Senyawa  $\alpha$ -terpineol yang dipilih untuk dianalisis dengan GC adalah hasil  $\alpha$ -terpineol dari reaksi hidrasi pada temperatur 70°C. Gambar 5 dan 6 merupakan kromatogram GC hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena pada temperatur 70°C. Berdasarkan hasil

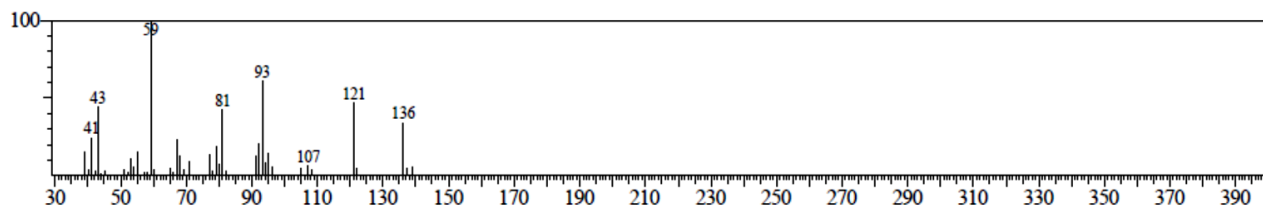
analisis pada kromatogram tersebut terdapat 3 puncak utama pada kromatogram dan diperkirakan  $\alpha$ -terpineol muncul pada puncak ke-2 pada waktu retensi 12,684 menit dengan kadar sebesar 72,12%.



**Gambar 6.** Kromatogram GC hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena temperatur 70°C

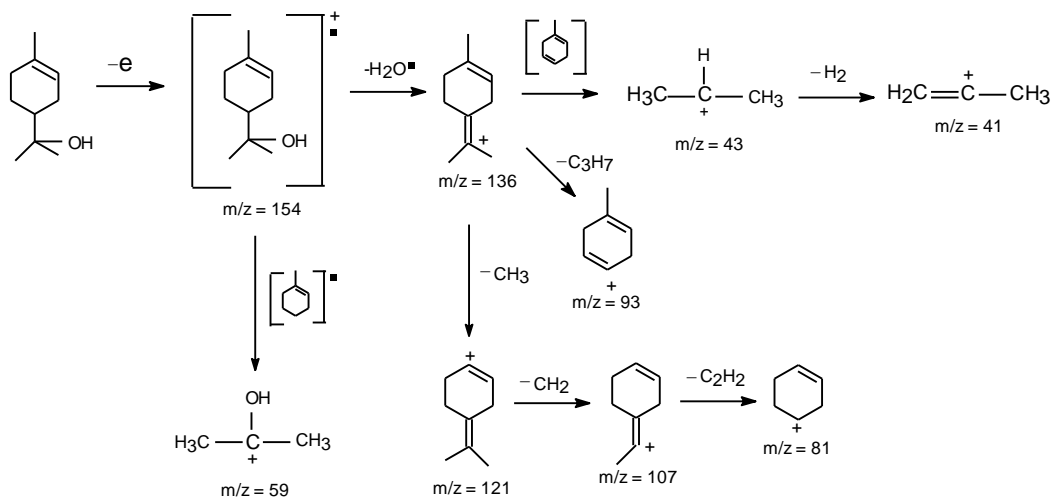
Analisis dengan GC-MS bertujuan untuk mengetahui jumlah senyawa, konsentrasi senyawa, massa rumus, rumus struktur, dan *mass peak* senyawa produk hasil reaksi hidrasi. Gambar 7 menunjukkan spektrum massa  $\alpha$ -terpineol sedangkan Gambar 8 merupakan hasil fragmentasi senyawa  $\alpha$ -terpineol menggunakan GC-MS. Hasil spektrum massa senyawa menunjukkan ion molekuler dengan m/z 154 tetapi tidak terdeteksi oleh spektrofotometer karena tidak stabil dan fragmen selanjutnya terdeteksi yakni pada m/z 136. Pecahan khas dari suatu alkohol adalah lepasnya

molekul H<sub>2</sub>O dari ion molekuler m/z 154 ditandai dengan munculnya pecahan M-18<sup>+</sup> membentuk pecahan ion molekul dengan m/z 136. Selanjutnya ion molekul pada m/z 136 melepaskan CH<sub>3</sub> membentuk pecahan ion molekul m/z 121 kemudian menjadi m/z 107 akibat melepaskan CH<sub>2</sub>. Pecahan dengan m/z 107 melepaskan C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> menghasilkan pecahan dengan m/z 81 dan seterusnya hingga terjadi pecahan dengan m/z 43 akibat terlepasnya gugus-gugus pada ion molekul  $\alpha$ -terpineol.



**Gambar 7.** Spektrum massa  $\alpha$ -terpineol





**Gambar 8.** Fragmentasi senyawa  $\alpha$ -terpineol

Besarnya energi aktivasi pada reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena ditentukan menggunakan persamaan Arrhenius dengan memplotkan grafik  $\ln k$  terhadap  $1/T$ . Data persentase reaktan dapat digunakan untuk menentukan harga konstanta laju reaksi sesuai dengan persamaan (Moore dan Pearson 1981):

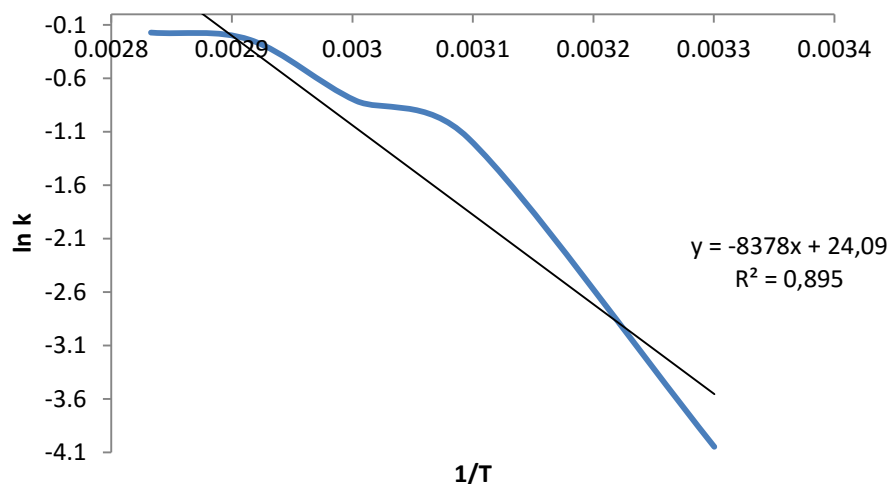
$$k = \frac{\mu}{V} \ln \frac{C_0}{C}$$

$\mu$  adalah volume larutan awal yakni volume  $\alpha$ -pinena, aquabides, dan isopropil alkohol dibagi dengan lamanya waktu reaksi (ml/menit),  $V$  adalah volume katalis ( $\text{cm}^3$ ) yang dihitung dengan cara menentukan volume katalis dalam bentuk pelet,  $C_0$  adalah konsentrasi awal  $\alpha$ -pinena (%), dan  $C$  adalah konsentrasi akhir  $\alpha$ -pinena setelah reaksi hidrasi (%). Harga  $k$  yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan harga energi aktivasi  $E_a$  (kJ/mol) reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena melalui analisis seperti pada Tabel 3 dengan menggunakan persamaan berikut (Atkins 1990):

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

Analisis pada Gambar 9 memperoleh nilai  $E_a$  pada reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena sebesar 69,654692 kJ/mol. Menurut Triyono (2004), berdasarkan pada tenaga pengaktifannya dapat ditentukan tahapan penentu laju reaksi yaitu proses kimia (adsorpsi,

reaksi, atau desorpsi) atau proses fisis (tahap difusi dan transfer produk reaksi ke fasa fluida). Apabila tenaga pengaktifan terukur lebih besar dari 45 kJ/mol maka tahapan penentu laju reaksinya adalah proses kimia sedangkan apabila lebih kecil dari 15 kJ/mol maka tahapan penentu laju reaksinya adalah proses fisis. Pada penelitian ini  $E_a$  yang terukur lebih dari 45 kJ/mol sehingga dapat ditunjukkan bahwa tahap penentu laju reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena terkatalisis H-Zeolit Alam adalah proses kimia. Interaksi yang terjadi antara katalis dan reaktan dapat menghasilkan senyawa antara yang lebih aktif, meningkatkan jumlah tumbukan dan menyebabkan terjadinya reaksi dengan energi pengaktifan yang lebih rendah. Atkins (1990) mengemukakan bahwa kecepatan reaksi akan meningkat dengan naiknya temperatur. Apabila temperatur dinaikkan maka energi reaktan akan meningkat. Kenaikan energi ini mengakibatkan partikel aktif bergerak sehingga frekuensi tumbukan semakin meningkat, reaksi berjalan semakin cepat, dan laju reaksi semakin besar. Tetapi bila temperatur terlalu tinggi maka kecepatan reaksi menurunkan jumlah reaktan yang teradsorpsi pada permukaan katalis karena waktu kontak antara katalis dan reaktan menjadi cepat dan produk yang terkonversi semakin kecil.



**Gambar 9.** Hubungan  $\ln k$  terhadap  $1/T$  reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena

**Tabel 3.** Data hasil perhitungan  $\ln k$

T(K)	1/T (K <sup>-1</sup> )	M	Co/C	k (menit <sup>-1</sup> )	ln k
303	0,0033	0,0512	1,0751	0,01746	-4,04778
313	0,003195	0,0513	5,7994	0,42468	-0,85641
323	0,003096	0,0512	3,6834	0,31439	-1,15709
333	0,003003	0,0513	6,3138	0,44521	-0,80919
343	0,002915	0,0512	26,0158	0,78578	-0,24107
353	0,002833	0,0512	32,9097	0,84246	-0,17142

## PENUTUP

Hasil reaksi terbaik dalam reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena menjadi  $\alpha$ -terpineol menggunakan katalis zeolit alam teraktivasi diperoleh pada kondisi temperatur 70°C dalam waktu reaksi 120 menit dengan kadar sebesar 68,53% dan nilai energi aktivasi reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena menjadi  $\alpha$ -terpineol menggunakan katalis zeolit alam teraktivasi yang dihitung menggunakan persamaan Arrhenius adalah 69,654692 kJ/mol.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aguirre R, Saenz LTD, Flores WA, Sanchez AR & Elguezabal AA. 2005. Synthesis of Terpineol from  $\alpha$ -Pinene by Homogeneous Acid Catalysis. *J Catal Today* 107-108: 310-314
- Atkins PW. 1990. *Physical Chemistry*. Tokyo: Oxford University Press.
- Avila MC, Comelli NA, Castellón ER, López AJ, Flores RC, Ponzi EN & Ponzi MI. 2010. Study of Solid Acid Catalysis for The Hydration of  $\alpha$ -Pinene. *J Mol Catal* 322: 106-112
- Dutenhefner PAR, da Silva KA, Siddiqui MRH, Kozhevnikov IV & Gusevskaya EV. 2001. Hydration and Acetoxylation of Monoterpenes Catalyzed by Heteropoly Acid. *J Mol Catal* 175: 33-42
- Hartanto D, Purbaningtiyas TE, Fansuri H & Prasetyoko D. 2011. Karakterisasi Struktur Pori dan Morfologi ZSM-2 Mesopori yang Disintesis dengan Variasi Waktu Aging. *Jurnal Ilmu Dasar* 12: 80-90
- Moore JW & Pearson RG. 1981. *Kinetic and Mechanisms*, 3<sup>rd</sup> Ed., John Wiley and Sons, Inc. Canada.
- Pratigto S, Siadi K & Cahyono E. 2015. Efek Perubahan Konsentrasi Pada Hidrasi  $\alpha$ -Pinena Dari Terpentin dengan Katalis Asam Trikloroasetat. *Indonesian Journal of Chemical Science* 4(2): 111-116.
- Adawiyah R & Wijayati N. 2015. Hidrasi  $\alpha$ -Pinena Menjadi  $\alpha$ -Terpineol Dengan Katalis Zeolit Alam & TCA/Zeolit Alam. *Indonesian Journal of Chemical Science* 4(2): 127-131.

- Trisunaryati W, Triwahyuni E & Sudiono S. 2005. Preparasi, Modifikasi, dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam dan Mo-Ni/Zeolit Alam. *TEKNOL* 10(4) : 269-282.
- Triyono. 2004. *Kimia Katalis*. Yogyakarta: FMIPA UGM.
- Utami H. 2009. *Kinetika Reaksi Terpeneol dari Terpentin*. Fakultas Teknik UGM.