



## EFEK PERUBAHAN KONSENTRASI PADA HIDRASI $\alpha$ -PINENA DARI TERPENTIN DENGAN KATALIS ASAM TRIKLOOROASETAT

Setiarto Pratigto\*), Kusoro Siadi, Edy Cahyono

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024) 8508112 Semarang 50229

### Info Artikel

Sejarah Artikel:  
Diterima Mei 2015  
Disetujui Juni 2015  
Dipublikasikan Agustus 2015

Kata kunci:  
minyak terpenin  
 $\alpha$ -pinena  
 $\alpha$ -terpineol

### Abstrak

Senyawa  $\alpha$ -terpineol merupakan senyawa turunan dari  $\alpha$ -pinena, dimanfaatkan sebagai senyawa *fragrance*, digunakan dalam kosmetika dekoratif, sampo, sabun dan deterjen. Penelitian bertujuan mengubah  $\alpha$ -pinena menjadi  $\alpha$ -terpineol dengan katalis asam trikloroasetat, diharapkan dapat menghasilkan nilai ekonomi. Metode penelitian dengan reaksi hidrasi yaitu mengaduk antara  $\alpha$ -pinena, aseton dan aquabides pada 60°C. Setelah temperatur tercapai, ditambahkan TCA. Cuplikan diambil pada menit ke 60, 75 dan 90 menit. Diuji dengan IR, GC, GC-MS. Hasil penelitian diperoleh kadar  $\alpha$ -pinena sebesar 86,74% dari isolasi minyak terpenin, sedangkan hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena menjadi  $\alpha$ -terpineol menggunakan katalis asam trikloroasetat diperoleh pada kondisi temperatur 60°C waktu reaksi 60 menit dengan perbandingan konsentrasi reaktan 3:2 sebesar 52,85%. Karakterisasi IR menunjukkan keberadaan gugus -C-O- dan -OH. Hasil analisis spektra massa menunjukkan  $\alpha$ -terpineol sebagai produk utama.

### Abstract

Alpha terpineol is a compound derived from  $\alpha$ -pinene, used as fragrance compounds, used in decorative cosmetics, shampoos, soaps and detergents. The study aims to transform into  $\alpha$ -terpineol  $\alpha$ -pinene with trichloroacetic acid catalyst, is expected to generate economic value. Research methods with the hydration reaction is stirred between  $\alpha$ -pinene, acetone and aquabides at 60°C. Once the temperature is reached, TCA was added. Footage taken at 60, 75 and 90 minutes. Tested with IR, GC, GC-MS. The results were obtained  $\alpha$ -pinene levels of 86.74% of the insulating oil of turpentine, while the hydration reaction results into  $\alpha$ -terpineol  $\alpha$ -pinene using trichloroacetic acid catalysts obtained at the conditions of temperature 60°C with a reaction time of 60 minutes reactant concentration ratio 3: 2 by 52.85%. IR characterization showed the presence of -OH group and -CO-. The results of the analysis of mass spectra showed  $\alpha$ -terpineol as the main product.

## Pendahuluan

Minyak terpenin telah digunakan dalam produk cat dan *thinner varnish*. Terpenin juga digunakan untuk cat semprot, pelapis keramik dan tembikar, semir sepatu dan furniture serta sebagai pembersih logam. Sekarang terpenin digunakan secara luas sebagai bahan baku pada industri kimia (Abdulgani; 2002). Terpen dan senyawa-senyawa lain yang di ekstrak dari terpenin dapat digunakan untuk produk-produk plastik, bahan perekat, *flavor* dan *fragrance*, kosmetik dan obat-obatan (Haneke; 2002). Minyak terpenin mengandung  $\alpha$ -pinena yang merupakan komponen utamanya yaitu sekitar 75-85% dan sisanya terdiri dari  $\beta$ -pinena (2-3%), kamfena (4-15%), dan sisanya limonena (5-15%) (Haneke; 2002).

Transformasi  $\alpha$ -pinena menjadi senyawa turunannya merupakan hasil penelitian yang melibatkan perubahan struktur sangat kompleks tetapi dapat terjadi dalam kondisi reaksi yang cukup mudah. Hidrasi  $\alpha$ -pinena dengan katalis asam dapat menghasilkan senyawa terpineol (Aguirre, *et al.*; 2005). Terpineol merupakan senyawa *fragrance* yang digunakan dalam kosmetika dekoratif, sampo, sabun, pembersih rumah tangga dan deterjen (Santos dan Morgado; 2005 & Bathia, *et al.*; 2008).

Terpineol disintesis dari bahan dasar  $\alpha$ -pinena atau minyak terpenin mentah dengan hidrasi  $\alpha$ -pinena. Terpineol dapat digunakan sebagai parfum, penolak serangga, anti jamur dan desinfektan. Hidrasi  $\alpha$ -pinena melalui katalis asam merupakan metode penting untuk sintesis alkohol, dapat bermanfaat dalam industri parfum dan farmasi (Santos dan Morgado; 2005 & Pakdel; 2001). Wijayati (2005) dalam penelitian pengaruh temperatur pada reaksi isomerisasi  $\alpha$ -pinena dengan katalis asam Lewis  $ZnCl_2$  menyebutkan bahwa semakin tinggi temperatur dalam reaksi maka kadar  $\alpha$ -pinena semakin menurun.

Penelitian ini bermaksud mengubah  $\alpha$ -pinena menjadi  $\alpha$ -terpineol yang merupakan bahan baku industri parfum dengan menggunakan katalis asam trikloroasetat, yang diharapkan dapat menghasilkan nilai ekonomi. Pemilihan katalis asam trikloroasetat ini dikarenakan pemisahan katalis dari produk setelah reaksi dapat dilakukan. Asam trikloroasetat sangat mudah dipisahkan dari produk reaksi yaitu dengan dikristalkan kembali pada temperatur 5-7°C, senyawa lebih stabil karena mengikat 3 atom klorin sehingga mudah melepaskan gugus -OH, asam trikloroasetat merupakan asam kuat

dan katalis ini mudah diperoleh (Martin; 2012).

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan (a) mengetahui hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena dengan perubahan temperatur dan waktu reaksi dengan katalis asam trikloroasetat. (b) mengetahui efek perbandingan konsentrasi reaktan pada hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena menjadi  $\alpha$ -terpineol.

## Metode Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat destilasi fraksinasi, alat refluks, spektrofotometer infra merah merek *Shimadzu FT-IR-8201 PC*, kromatografi gas merek *Agilent 6820*, kromatografi gas merek *Shimadzu 2014 AF SC*, kromatografi gas-spektrometer massa merek *Shimadzu QP-2010S*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aquabides, minyak terpenin mutu A dari *PGT Sapuran Wonosobo*, NaCl,  $Na_2CO_3$ , gas  $N_2$  dari Samator, asam trikloroasetat, aseton, diklorometana, dan  $Na_2SO_4$  anhidrat dengan *grade pro analyst* buatan *Merck*.

Isolasi  $\alpha$ -pinena dari minyak terpenin dengan cara 500 mL minyak terpenin ditambah  $Na_2SO_4$  anhidrat kemudian disaring. Selanjutnya dianalisis dengan GC-MS. Minyak terpenin kemudian didistilasi fraksinasi pengurangan tekanan. Dilanjutkan dengan redistilasi fraksinasi.  $\alpha$ -pinena diidentifikasi secara fisik dengan uji fisik meliputi wujud, warna dan bau serta dianalisis dengan GC dan FT-IR.

Reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena dalam labu alas bulat leher 3 dimasukkan 2,5 g  $\alpha$ -pinena, 5 mL aquabides, dan 10 mL aseton. Campuran diaduk sambil dipanaskan sampai temperatur 60°C (Weikel; 2005). Setelah temperatur tercapai, ditambahkan 5,2742 g katalis TCA. Dilakukan pengambilan sampel setelah katalis ditambahkan dan direfluks pada waktu reaksi 60, 75 dan 90 menit. Campuran hasil reaksi kemudian didinginkan, setelah itu disaring dengan kertas saring diperoleh filtrat, kemudian filtrat diekstraksi dengan diklorometana 20 mL. Campuran dipisahkan dengan corong pisah sehingga diperoleh lapisan atas (fase organik 1). Lapisan bawah yang tadi diperoleh kemudian diekstraksi dengan 10 mL diklorometana dan campuran dipisahkan dengan corong pisah sehingga diperoleh lapisan atas (fase organik 2) dan lapisan bawah. Lapisan fase organik 1 dan fase organik 2 dicampur kemudian campuran dicuci dengan 10 mL aquabides di dalam corong pisah, pencucian diulang kembali 1x. Setelah itu dinetralkan dengan  $Na_2CO_3$ . Setelah diperoleh filtrat, dicuci dengan aquabides 10

mL dan ditambah NaCl jenuh di dalam corong pisah. Diperoleh fase organik dan air hasil pencucian. Ditambahkan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidrat. Dialiri gas  $\text{N}_2$ . Dengan menggunakan prosedur yang sama, reaksi dilakukan dengan perbandingan mol  $\alpha$ -pinena dan aquabides. Hasil diuji dengan GC dan FT-IR untuk produk reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena. Produk terbaik kemudian diuji dengan GC-MS.

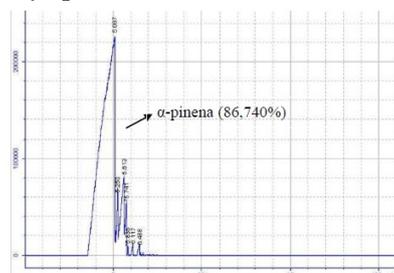
### Hasil dan Pembahasan

Identifikasi minyak terpenin secara fisik meliputi wujud, warna dan bau, sedangkan identifikasi kadar  $\alpha$ -pinena dilakukan dengan GC. Hasil yang diperoleh dari identifikasi sifat fisik minyak terpenin disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Sifat fisik minyak terpenin

No	Sifat fisik	Keterangan
1	Wujud	Cair
2	Warna	Jernih
3	Bau	Tajam

Berdasarkan Tabel 1. terlihat sifat fisik minyak terpenin sebagai berikut: berwujud cair, warna jernih, dan bau terpenin tajam. Hal ini menunjukkan bahwa sifat fisik minyak terpenin yang dihasilkan sama dengan peneliti lain (Ernawati; 2009), yang mengatakan bahwa minyak terpenin berwujud cair, berwarna jernih, dan berbau tajam. Hasil analisis komponen dengan GC dari redistilasi fraksinasi minyak terpenin disajikan pada Gambar 1. dan interprestasinya pada Tabel 2.



**Gambar 1.** Kromatogram hasil redistilasi fraksinasi dengan pengurangan tekanan minyak terpenin

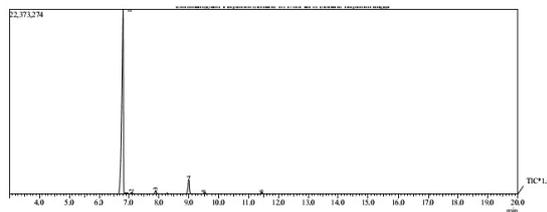
**Tabel 2.** Interpretasi kromatogram hasil redistilasi fraksinasi dengan pengurangan tekanan minyak terpenin

Puncak	Waktu Retensi (menit)	Kadar (%)
1	5,087	86,740
2	5,250	2,287
3	5,613	8,120
4	5,741	1,917

Hasil analisis komponen minyak terpenin dengan GC-MS disajikan pada Gambar 2.

Berdasarkan kromatogram GC-MS terpenin mengandung lima senyawa yaitu  $\alpha$ -pinena,  $\beta$ -pinena, kamfena, limonena, dan terpinolena

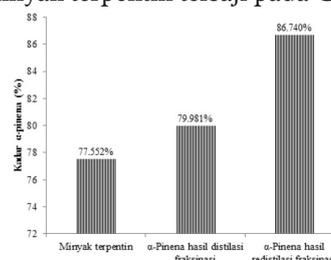
dengan kadar yang berbeda-beda pada tiap senyawa. Kadar paling tinggi dari lima senyawa tersebut yaitu  $\alpha$ -pinena dengan kadar 77,55%. Hal ini menunjukkan bahwa minyak terpenin dapat digunakan.



**Gambar 2.** Kromatogram GC-MS terpenin

Berdasarkan kromatogram hasil distilasi fraksinasi minyak terpenin mengandung  $\alpha$ -pinena dengan kadar paling tinggi dibandingkan dengan komponen-komponen lain. Hal ini menunjukkan bahwa ada kenaikan kadar  $\alpha$ -pinena, sebelum didistilasi fraksinasi kadar  $\alpha$ -pinena 77,55% setelah didistilasi fraksinasi kadar  $\alpha$ -pinena 79,98%.

Berdasarkan uji jumlah dan kadar senyawa  $\alpha$ -pinena hasil isolasi dari minyak terpenin dengan GC, maka  $\alpha$ -pinena hasil redistilasi dengan kadar 86,74% yang dijadikan sebagai sampel penelitian tahap selanjutnya, karena sampel mempunyai konsentrasi tertinggi dibandingkan dengan hasil distilasi fraksinasi minyak terpenin dan minyak terpenin awal. Semakin tinggi konsentrasi maka semakin baik hasilnya. Kenaikan kadar  $\alpha$ -pinena dari hasil isolasi minyak terpenin tersaji pada Gambar 3.

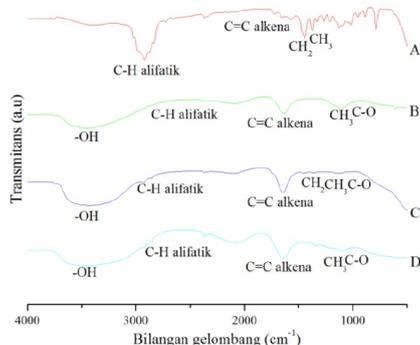


**Gambar 3.** Kenaikan kadar  $\alpha$ -pinena dari hasil isolasi minyak terpenin

Analisis reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena dalam pelarut aseton, dengan mereaksikan 2,5 g  $\alpha$ -pinena, 5 mL aquabides, dan 10 mL aseton pada temperatur 60°C. Setelah temperatur tercapai ditambah katalis asam trikloroasetat sebanyak 5,2712 g. Kemudian diambil cuplikan pada waktu reaksi 60, 75, dan 90 menit. Hasil reaksi kemudian dianalisis menggunakan FT-IR dapat disajikan pada Gambar 4.

Analisis struktur  $\alpha$ -pinena hasil isolasi minyak terpenin dengan spektrofotometer FT-IR disajikan pada Gambar 4. bahwa minyak terpenin mengandung senyawa  $\alpha$ -pinena.

Spektrum A menunjukkan adanya vibrasi rentangan C-H alifatik pada bilangan gelombang 2916,37  $\text{cm}^{-1}$ , ikatan rangkap C=C alkena pada bilangan gelombang 1651,07  $\text{cm}^{-1}$ , gugus  $\text{CH}_2$  pada bilangan gelombang 1442,75  $\text{cm}^{-1}$ , dan gugus  $\text{CH}_3$  pada bilangan gelombang 1373,32  $\text{cm}^{-1}$ .



**Gambar 4.** Spektrum FT-IR hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena pada temperatur 60°C menunjukkan A adalah  $\alpha$ -pinena dan secara berurutan B, C, D hasil dari reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena pada waktu reaksi 60, 75, 90 menit

Spektrum B menunjukkan hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena pada waktu 60 menit bahwa terdapat gugus -OH pada bilangan gelombang 3448,72  $\text{cm}^{-1}$ , gugus C-H alifatik pada bilangan gelombang 2924,09  $\text{cm}^{-1}$ , gugus C=C alkena pada bilangan gelombang 1635,64  $\text{cm}^{-1}$ , gugus  $\text{CH}_3$  pada bilangan gelombang 1334,74  $\text{cm}^{-1}$ , dan gugus C-O pada bilangan gelombang 1111  $\text{cm}^{-1}$ .

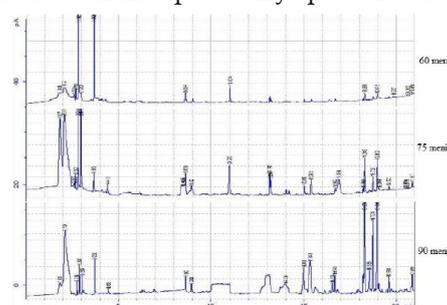
Spektrum C menunjukkan hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena pada waktu 75 menit bahwa terdapat gugus -OH pada bilangan gelombang 3417,86  $\text{cm}^{-1}$ , gugus C-H alifatik pada bilangan gelombang 2924,09  $\text{cm}^{-1}$ , gugus C=C alkena pada bilangan gelombang 1643,35  $\text{cm}^{-1}$ , gugus  $\text{CH}_2$  pada bilangan gelombang 1458,18  $\text{cm}^{-1}$ , gugus  $\text{CH}_3$  pada bilangan gelombang 1342,46  $\text{cm}^{-1}$ , dan gugus C-O pada bilangan gelombang 1118,71  $\text{cm}^{-1}$ .

Sedangkan spektrum D menunjukkan hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena pada waktu 90 menit bahwa terdapat gugus -OH pada bilangan gelombang 3448,72  $\text{cm}^{-1}$ , gugus C-H alifatik pada bilangan gelombang 2924,09  $\text{cm}^{-1}$ , gugus C=C alkena pada bilangan gelombang 1635,64  $\text{cm}^{-1}$ , gugus  $\text{CH}_3$  pada bilangan gelombang 1334,74  $\text{cm}^{-1}$ , dan gugus C-O pada bilangan gelombang 1111  $\text{cm}^{-1}$ .

Dari hasil spektrum diatas menyatakan spektrum B, C dan D sudah menghasilkan alkohol dalam senyawa hasil reaksi hidrasi dibandingkan spektrum A yang belum mengeluarkan gugus -OH. Intensitas gugus C-H

alifatik spektrum B sebesar 27,65 lebih besar daripada spektrum C dan D yang masing-masing memiliki intensitas sebesar 26,49 dan 18,14. Gugus  $\text{CH}_2$  pada spektrum B dan D tidak muncul, pada spektrum C muncul gugus  $\text{CH}_2$ .

Reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena dengan katalis asam trikloroasetat pada temperatur 60°C dengan perbandingan konsentrasi  $\alpha$ -pinena : aquabides = 1 : 1. Reaksi ini mereaksikan 2,5 g  $\alpha$ -pinena, 5 mL aquabides, dan 10 mL aseton pada temperatur 60°C. Setelah temperatur tercapai ditambah katalis asam trikloroasetat sebanyak 5,2712 g. Kemudian diambil cuplikan pada waktu reaksi 60, 75, dan 90 menit. Hasil reaksi kemudian dianalisis menggunakan GC. Berikut hasil kromatogram GC reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena waktu reaksi 60, 75, dan 90 menit pada Gambar 5 dan interprestasinya pada Tabel 3.



**Gambar 5.** Kromatogram hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena pada temperatur 60°C waktu reaksi 60, 75, dan 90 menit dengan perbandingan 1 : 1

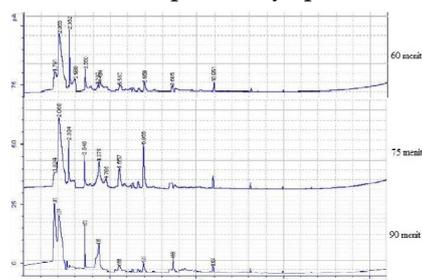
**Tabel 3.** Interpretasi kromatogram GC hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena menit ke 60, 75, dan 90 pada temperatur 60°C dengan perbandingan 1:1

No	Waktu retensi (menit)	Kadar (%)			Nama senyawa
		60	75	90	
1	7,881	46,755	11,487	16,322	
2	10,366	3,015	3,591	19,279	
3	12,769	8,533	4,094	7,540	
4	12,982	3,644	3,243	7,135	
5	13,945	27,726	3,862	11,215	$\alpha$ -Terpineol

Reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena dengan katalis asam trikloroasetat pada temperatur 60°C dengan perbandingan konsentrasi  $\alpha$ -pinena : aquabides = 1 : 2. Reaksi ini mereaksikan 2,5 g  $\alpha$ -pinena, 10 mL aquabides, dan 10 mL aseton pada temperatur 60°C. Setelah temperatur tercapai ditambah katalis asam trikloroasetat sebanyak 5,2772 g. Kemudian diambil cuplikan pada waktu reaksi 60, 75, dan 90 menit. Hasil reaksi kemudian dianalisis menggunakan GC. Berikut hasil kromatogram GC reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena waktu reaksi 60, 75, dan 90 menit pada Gambar 6. dan interprestasinya pada Tabel 4.

Reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena dengan katalis asam trikloroasetat pada temperatur 60°C dengan perbandingan konsentrasi  $\alpha$ -pinena :

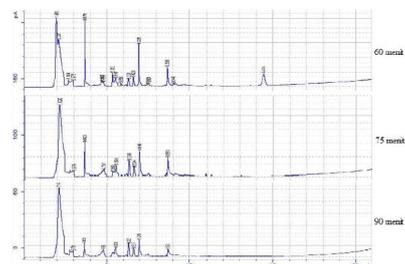
aquabides = 3 : 2. Reaksi ini mereaksikan 7,5 g  $\alpha$ -pinena, 10 mL aquabides, dan 10 mL aseton pada temperatur 60°C. Setelah temperatur tercapai ditambah katalis asam trikloroasetat sebanyak 5,2731 g. Kemudian diambil cuplikan pada waktu reaksi 60, 75, dan 90 menit. Hasil reaksi kemudian dianalisis menggunakan GC. Berikut hasil kromatogram GC reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena waktu reaksi 60, 75, dan 90 menit pada Gambar 7. dan interprestasinya pada Tabel 5.



**Gambar 6.** Kromatogram hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena pada temperatur 60 °C waktu reaksi 60, 75, dan 90 menit dengan perbandingan 1 : 2

**Tabel 4.** Interpretasi kromatogram GC hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena menit ke 60, 75, dan 90 pada temperatur 60°C dengan perbandingan 1:2

No	Waktu retensi (menit)	Kadar (%)			Nama senyawa
		60	75	90	
1	8,605	50,837	38,424	77,779	$\alpha$ -Terpineol
2	10,951	49,160	61,575	22,220	

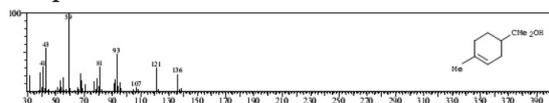


**Gambar 7.** Kromatogram hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena pada temperatur 60°C waktu reaksi 60, 75, dan 90 menit dengan perbandingan 3 : 2

**Tabel 5.** Interpretasi kromatogram GC hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena menit ke 60, 75, dan 90 pada temperatur 60°C dengan perbandingan 3:2

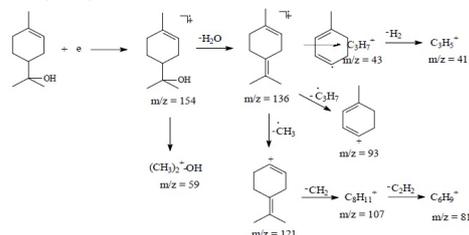
No	Waktu retensi (menit)	Kadar (%)			Nama senyawa
		60	75	90	
1	7,550	4,853	19,483	22,911	$\alpha$ -Terpineol
2	8,665	36,683	12,205	15,859	
3	9,044	5,614	39,668	37,111	
4	14,474	52,848	28,642	24,118	

Spektrum massa  $\alpha$ -terpineol disajikan pada Gambar 8, sedang fragmentasinya disajikan pada Gambar 9.



**Gambar 8.** Spektrum massa  $\alpha$ -terpineol Reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena menghasilkan

senyawa  $\alpha$ -terpineol yang merupakan komponen utama dari  $\alpha$ -terpineol. Massa molekul  $\alpha$ -terpineol adalah 154. Dari hasil spektrum massa yang diperoleh ternyata ion molekuler dengan  $m/z$  154 tidak terdeteksi oleh spektrometer massa (MS).



**Gambar 9.** Fragmentasi senyawa  $\alpha$ -terpineol

$\alpha$ -terpineol mempunyai massa molekul  $m/z$  154. Spektrum massa yang diperoleh ternyata ion molekuler dengan  $m/z$  154 tidak terdeteksi oleh spektrometer massa, tetapi diperkirakan ion molekuler yang terdeteksi adalah fragmen berikutnya yaitu pada  $m/z$  136. Pecahan khas dari suatu alkohol adalah lepasnya satu molekul air. Pada senyawa  $\alpha$ -terpineol lepasnya molekul air dari ion molekuler  $m/z$  154 membentuk pecahan dengan  $m/z$  136.

Ion molekuler pada  $m/z$  136 melepaskan  $\text{CH}_3$  membentuk pecahan dengan  $m/z$  121. Pecahan dengan  $m/z$  107 dihasilkan dari pecahan dengan  $m/z$  121 yang melepaskan  $\text{CH}_2$ . Pecahan dengan  $m/z$  107 selanjutnya melepaskan  $\text{C}_2\text{H}_2$  menghasilkan pecahan dengan  $m/z$  81. Pecahan dengan  $m/z$  93 dihasilkan dari pelepasan  $\text{C}_3\text{H}_7$  oleh pecahan dengan  $m/z$  136. Pecahan dengan  $m/z$  59 ( $(\text{CH}_3)_2\text{C}^+\text{OH}$ ) dihasilkan dari pelepasan ion molekuler sebesar 95. Puncak dasar dengan  $m/z$  41 dihasilkan dari pecahan dengan  $m/z$  136 yang melepaskan molekul sebesar 93 membentuk ion molekuler dengan  $m/z$  43 ( $\text{C}_3\text{H}_7^+$ ) yang selanjutnya melepaskan  $\text{H}_2$  membentuk pecahan dengan  $m/z$  41.

### Simpulan

Kadar  $\alpha$ -pinena sebesar 86,74% dari isolasi minyak terpentin, sedangkan hasil reaksi hidrasi  $\alpha$ -pinena menjadi  $\alpha$ -terpineol menggunakan katalis asam trikloroasetat diperoleh pada kondisi temperatur 60°C dalam waktu reaksi 60 menit dengan perbandingan konsentrasi reaktan 3 : 2 sebesar 52,85%. Hasil analisis dari spektra massa menunjukkan produk  $\alpha$ -terpineol sebagai produk utama dan diperoleh linalil propionat 1,6-oktadiena-3-ol, terpin hidrat, sikloheksanol, furanon, dan histidin sebagai produk samping dari transformasi  $\alpha$ -pinena melalui reaksi hidrasi menggunakan katalis asam trikloroasetat.

**Daftar Pustaka**

- Abdulgani, M. 2002. *Gondorukem dan Terpentin Indonesia*. Perum Perhutani Unit I Jawa Tengah: Semarang
- Aguirre, M.R. Sáenz, L.D.T. Flores, W.A. Sánchez, A.R. dan Elguézabal, A.A. 2005. Synthesis of terpineol from  $\alpha$ -pinene by homogeneous acid catalysis. *Catalysis today*, 107-108: 310-314
- Bhatia, S.P. McGhinty, D. Foxenberg, R.J. Letizia, C.S. dan Api, A.M. 2008. Fragrance Material Review on Terpineol. *Food and chemical toxicology*, 46: 5275-5279
- Ernawati, D.P. 2009. *Isomerisasi  $\alpha$ -pinena dari Minyak Terpentin dengan Katalis Asam Sulfat*. Tugas Akhir. FMIPA UNNES. Semarang
- Haneke, K.E. 2002. Turpentine (Turpentine Oil, Wood Turpentine, Sulfate Turpentine, Sulfite Turpentine), *Review of Toxicological Literature*. Nort Carolina: Integrated Laboratory Systems
- Martin, A. Elizabeth, 2012. *Kamus Sains*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar
- Pakdel, H., Sharron, S., dan Roy, C. 2001.  $\alpha$ -Terpineol from Hydration of Crude Sulfate Turpentine Oil. *J. Agric. Food Chem.*, 49(9): 4337-4341
- Santos, M.G. dan Morgado, A.F. 2005. Alpha Terpineol Production From Refined Sulfate Turpentine. *ENPROMER*, Costa verde. RJ. Brazil
- Weikel, Ross R. 2005. *Physical Transformations For Greener Chemical Processes*. Thesis. Georgia Institute Of Technology
- Wijayati, N. 2005. *Pengaruh Temperatur Pada Reaksi Isomerisasi  $\alpha$ -Pinena dengan Katalis Asam Lewis  $ZnCl_2$* . Tugas Akhir. FMIPA UNNES. Semarang