

## SINTESIS $\alpha$ -PINENE MENJADI $\alpha$ -TERPINEOL MENGGUNAKAN KATALIS $H_2SO_4$ DENGAN VARIASI SUHU REAKSI DAN VOLUME ETANOL

Elvianto Dwi Daryono

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang

Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2, Malang, 65145, Indonesia

Email : elviantodaryono@yahoo.com

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mencari suhu reaksi dan volume etanol yang optimum dalam sintesis  $\alpha$ -pinene menjadi  $\alpha$ -terpineol. Minyak terpentin yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kandungan  $\alpha$ -pinene sebesar 79,05%. Dalam penelitian ini variabel yang digunakan adalah suhu reaksi (60°, 70°, dan 80°C) dan volume etanol (105, 115, 125, 135 dan 145 mL). Sintesis dilakukan selama 4 jam dengan menggunakan labu leher tiga, pendingin balik, *hot plate*, dan *magnetic stirrer* serta termometer dengan kecepatan pengadukan skala 7 (350-700) rpm. Hasil sintesis dinetralkan hingga pH 7 menggunakan NaOH 5% kemudian dilarutkan dengan etanol pada labu ukur 250 mL. Sampel hasil sintesis dianalisa dengan metode *Gas Chromatography*. Pada penelitian ini didapatkan konsentrasi  $\alpha$ -terpineol tertinggi sebesar 57,05% dengan yield 67,79% pada suhu 70°C dan volume etanol 135 mL.

**Kata kunci:**  $\alpha$ -terpineol,  $\alpha$ -pinene, minyak terpentin, asam sulfat, etanol

### Abstract

*This study is intended to explore the optimum temperature reaction and volume of ethanol in the synthesis of  $\alpha$ -pinene to  $\alpha$ -terpineol. Turpentine oils that is used in this study contains  $\alpha$ -pinene by 79.05%. In this study the variables used is the reaction temperature (60°, 70°, and 80°C) and the volume of ethanol (105, 115, 125, 135 and 145 mL). Synthesis is done during 4 hours using a three-neck flask, condenser, hot plate, a magnetic stirrer, and a thermometer with a stirring speed of scale 7(350-700 rpm). After that, the results is neutralized to pH 7 using NaOH 5% then it is diluted with ethanol in 250 mL volumetric flask. Synthesized samples were analyzed by Gas Chromatography method. In this study, the highest concentration of  $\alpha$ -terpineol obtained 57.05% with yield 67.79% at temperature reaction 70°C and the volume of ethanol is 135 mL.*

**Keywords:**  $\alpha$ -terpineol,  $\alpha$ -pinene, turpentine oil, sulfuric acid, ethanol

### Pendahuluan

Negara Indonesia merupakan negara yang sangat kaya dengan sumber daya alam, salah satunya adalah sektor kehutanan. Sektor kehutanan memiliki sumber daya alam yang bersifat multifungsi. Dikatakan multifungsi karena selain hasil hutan berupa kayu, sektor kehutanan juga memiliki hasil hutan bukan kayu (HHBK) yang sangat beragam. Pada saat ini pemerintah Indonesia mengurangi produk hasil hutan kayu karena adanya *global climate change*, dengan demikian pemanfaatan produk hasil hutan bukan kayu yang sedang dimaksimalkan.

Salah satu hasil hutan bukan kayu yang memiliki potensi yang besar dalam pemanfaatannya adalah tanaman *Pinus Merkusii*. *Pinus Merkusii* merupakan sumber penghasil getah pinus yang digunakan untuk memproduksi gondorukem dan minyak terpentin. Produksi minyak terpentin di negara Indonesia diproduksi sebanyak 15.218 ton/tahun dengan harga Rp. 24.500/kg pada tahun 2013 berdasarkan informasi dari Indofresh, dengan pemasaran di pasar India,

Jepang, Spanyol, Amerika Serikat, Jerman, Inggris, dan Singapura.

Minyak terpentin dari Jawa Timur menurut penelitian mengandung 82,9%  $\alpha$ -pinene, 0,9% *d*-camphene, 2,2%  $\beta$ -pinene, 0,4% Myrcene, 0,4%  $\alpha$ -phellandrene, 11%  $\Delta$ -carene, 1,1% *p*-cymene, dan 1,3% *d*-limonene. Sedangkan FAO (1995) menyatakan bahwa minyak terpentin mengandung komponen pinene dengan kandungan minimal 90% adalah kualitas terbaik, kualitas menengah dengan kandungan pinene sebesar 80-90%, dan kualitas terendah kandungan pinene di bawah 80% [11].

Senyawa  $\alpha$ -pinene yang merupakan kandungan terbesar dalam minyak terpentin dapat dibuat suatu inovasi teknologi yakni sintesis menjadi terpineol sebagai senyawa obat dari terpentin yang merupakan hasil hutan non kayu [4]. Selama ini minyak terpentin Indonesia sebagian besar langsung dijual ke luar negeri tanpa ada pengolahan lebih lanjut dan sebagian kecilnya digunakan untuk kebutuhan produksi dalam negeri sebagai minyak cat, pelarut organik dan resin [1].

Merubah minyak terpentin menjadi terpineol akan memberikan nilai jual yang tinggi dibandingkan dengan menjual minyak terpentin secara langsung. Salah satu contoh adalah harga terpentin pada awal tahun 2010 adalah Rp 12.000,-an per liter, jika dibuat sebagai pembersih lantai dengan kandungan terpineol 2,5% bisa dijual dengan harga Rp 5000-an per liter. Apabila dilakukan proses pemurnian lebih lanjut pada terpineol sampai pada *grade* farmasi sebagai *fine chemical*, akan dapat digunakan sebagai salah satu komponen terapi anti kanker [2].

Selain itu, terpineol sebagai hasil sintesis dari  $\alpha$ -pinene merupakan bahan kimia yang digunakan sebagai campuran pada industri kosmetik sebagai parfum, dalam industri farmasi sebagai anti jamur dan anti serangga, desinfektan dan lain-lain [7]. Manfaat lain dari terpineol juga digunakan pada produk shampoo dan sabun pada industri kosmetik dan pada produk rumah tangga seperti pembersih dan deterjen [9]. Turunan  $\alpha$ -pinene yaitu  $\beta$ -lactam mempunyai sifat antimikroba yang paling kuat [8].

Dengan melihat berbagai latar belakang di atas maka dalam penelitian ini kami mencoba meneliti sintesis  $\alpha$ -terpineol dari  $\alpha$ -pinene dengan katalisator asam sulfat.

### Teori

*Pinus Merkusii* merupakan satu-satunya jenis pinus yang tumbuh asli di Indonesia. *Pinus Merkusii* termasuk dalam jenis pohon serba guna yang terus menerus dikembangkan dan diperluas penanamannya pada masa mendatang untuk penghasil kayu, produksi getah, dan konservasi lahan. Luas hutan pinus di Indonesia sekitar 5.521.985 ha, tersebar di NAD, Jambi, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur dan Sulawesi. Hampir semua bagian pohonnya dapat dimanfaatkan, antara lain batangnya dapat disadap untuk diambil getahnya. Getah tersebut diproses lebih lanjut menjadi gondorukem dan terpentin. Gondorukem dapat digunakan sebagai bahan untuk membuat sabun, resin dan cat. Terpentin digunakan untuk bahan industri parfum, obat-obatan, dan desinfektan.

Getah pinus (*collophony*) merupakan substansi yang transparan, kental, dan memiliki daya rekat. Getah yang dihasilkan *Pinus Merkusii* digolongkan sebagai oleoresin. Oleoresin merupakan cairan asam - asam resin dalam terpentin yang menetes ke luar apabila saluran resin pada kayu atau kulit pohon jenis daun jarum tersayat atau pecah. Minyak terpentin adalah minyak eteris yang diperoleh sebagai hasil sampingan dari pembuatan gondorukem. Secara tradisional minyak terpentin digunakan sebagai

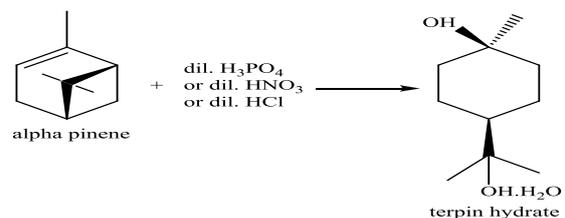
pelarut atau pembersih cat, pernis dan lain-lain. Saat ini minyak terpentin banyak digunakan sebagai disinfektan dan bahan baku industri farmasi. Derivat minyak terpentin seperti isoboryl asetat, kamper, sitral, linalool, sitrinellal, mentol dan sebagainya juga dapat dimanfaatkan [11].

Alpha pinene dan  $\beta$ -pinene adalah komponen terpentin yang merupakan material intermediet untuk sintesis berbagai macam produk turunan baik produk politerpen maupun bentuk komponen dasar yang sangat penting di industri kimia [3]. Alpha pinene dengan kemurnian tinggi mencapai 97% dapat diperoleh dengan mendistilasi terpentin menggunakan menara distilasi pada tekanan vakum [1].

Terpineol adalah alkohol dan merupakan salah satu dari golongan senyawa monoterpena yang terjadi secara alami sebagai hasil isolasi dari berbagai sumber seperti minyak pinus dan minyak cajuput. Terpineol merupakan campuran dari isomer-isomer  $\alpha$ -terpineol yang memiliki struktur yang sama dengan rantai utama. Alpha terpineol adalah suatu produk yang secara luas digunakan pada industri kosmetik sebagai parfum, dalam industri farmasi sebagai anti jamur dan anti serangga, disinfektan dan lain-lain [7].

Minyak terpentin dan air merupakan dua senyawa yang tidak bisa bercampur dengan baik, sehingga untuk mempercepat reaksi pembentukan  $\alpha$ -terpineol dari  $\alpha$ -pinene dibutuhkan solvent yang bisa melarutkan minyak terpentin.

Reaksi pembentukan  $\alpha$ -terpineol dimulai dengan pembentukan *terpine hydrate* yang dilanjutkan dengan pembentukan terpineol dari *terpine hydrate*. *Terpine hydrate* dapat terbentuk apabila  $\alpha$ -pinene direaksikan dengan asam-asam encer seperti asam klorida, asam nitrat dan asam fosfat. Reaksinya adalah sebagai berikut :



**Gambar 1. Reaksi Pembentukan *Terpine Hydrate* dari  $\alpha$ -pinene [7].**

Dalam penelitian ini reaksi yang digunakan adalah reaksi langsung dari  $\alpha$ -pinene membentuk  $\alpha$ -terpineol dengan penambahan katalis asam sulfat dan pelarut etanol. Produk utama adalah  $\alpha$ -terpineol dengan produk samping dietil eter. Reaksi pembentukan  $\alpha$ -terpineol dari  $\alpha$ -pinene dapat dilihat pada gambar 2.



7. Statif
8. Hot plate
9. Magnetic stirrer

**Hasil**

Dari hasil analisa awal dengan GC-MS didapatkan konsentrasi  $\alpha$ -pinene awal pada minyak terpenin 79,05 % dan densitas 0,84 gram/cm<sup>3</sup>. Perhitungan yield  $\alpha$ -terpineol dengan persamaan berikut:

$$\text{Yield} = \frac{\text{Massa } \alpha\text{-terpineol hasil reaksi}}{(\text{Massa } \alpha\text{-pinene awal}) + (\text{Massa etanol awal})}$$

**Pengaruh Suhu Reaksi dan Volume Metanol terhadap Densitas  $\alpha$ -terpineol**

Pada tabel 2 disajikan hasil perhitungan densitas  $\alpha$ -terpineol hasil reaksi setelah dipisahkan.

**Tabel 2. Data Perhitungan Densitas  $\alpha$ -terpineol**

Suhu (°C)	Volume Etanol (mL)	Densitas (gram/cm <sup>3</sup> )
60	105	0,9016
	115	0,9024
	125	0,9008
	135	0,8972
	145	0,8960
70	105	0,9200
	115	0,9148
	125	0,9112
	135	0,9100
	145	0,9080
80	105	0,9040
	115	0,9080
	125	0,9068
	135	0,9044
	145	0,8948

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat bahwa densitas  $\alpha$ -terpineol pada berbagai variasi suhu reaksi cenderung mengalami penurunan dengan bertambahnya jumlah etanol. Pada suhu 60°C dengan berbagai jumlah etanol diperoleh berbagai variasi densitas ; 0,9016 gram/cm<sup>3</sup>; 0,9024 gram/cm<sup>3</sup>; 0,9008 gram/cm<sup>3</sup>; 0,8972 gram/cm<sup>3</sup>; 0,8960 gram/cm<sup>3</sup>. Pada suhu 70°C diperoleh hasil densitas ; 0,9200 gram/cm<sup>3</sup>; 0,9148 gram/cm<sup>3</sup>; 0,9112 gram/cm<sup>3</sup>; 0,9100 gram/cm<sup>3</sup>; 0,9080 gram/cm<sup>3</sup>. Pada suhu 80°C diperoleh hasil densitas ; 0,9040 gram/cm<sup>3</sup>; 0,9080 gram/cm<sup>3</sup>; 0,9068 gram/cm<sup>3</sup>; 0,9044 gram/cm<sup>3</sup>; 0,8948 gram/cm<sup>3</sup>.

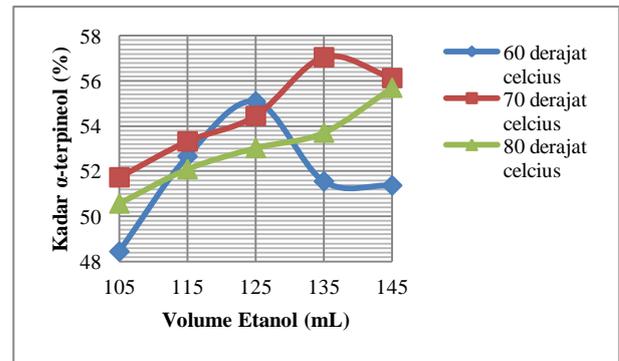
Berdasarkan hasil tersebut, terlihat bahwa dengan semakin bertambahnya jumlah etanol maka densitas  $\alpha$ -terpineol akan mengalami

penurunan. Pada Suhu 60°C densitas  $\alpha$ -terpineol pada penambahan 115 mL etanol mengalami kenaikan daripada penambahan 105 mL etanol, tetapi pada penambahan 125 mL, 135 mL dan 145 mL densitas  $\alpha$ -terpineol cenderung mengalami penurunan. Penurunan densitas dari  $\alpha$ -terpineol disebabkan karena bertambahnya jumlah etanol, hal ini dapat terjadi karena densitas etanol lebih kecil dari densitas  $\alpha$ -pinene. Etanol berfungsi melarutkan minyak terpenin, dalam penelitian ini komponen utama yang dilarutkan adalah  $\alpha$ -pinene sehingga dengan semakin bertambahnya jumlah etanol maka semakin larut pula  $\alpha$ -pinene, hal ini dapat menyebabkan penurunan jumlah densitas dari  $\alpha$ -terpineol karena densitas etanol lebih kecil dari densitas  $\alpha$ -pinene. Pada suhu 70°C hasil densitas menunjukkan dengan semakin bertambahnya jumlah etanol maka densitas  $\alpha$ -terpineol semakin kecil. Pada suhu 80°C sama halnya dengan pada suhu 60°C.

Berdasarkan literatur densitas  $\alpha$ -terpineol dengan kadar kemurnian 99% adalah 0,9330 g/cm<sup>3</sup> (MSDS). Hasil densitas yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan nilai yang lebih kecil dari 0,9330 g/cm<sup>3</sup>, hal ini dipengaruhi oleh kadar  $\alpha$ -terpineol hasil penelitian yang lebih kecil dari 99%.

**Pengaruh Volume Etanol dan Suhu Reaksi terhadap Kadar  $\alpha$ -terpineol**

Hubungan antara volume etanol terhadap kadar  $\alpha$ -terpineol pada berbagai suhu reaksi dapat dilihat pada gambar 4.



**Gambar 4. Hubungan antara Volume Etanol dan Kadar  $\alpha$ -terpineol pada Berbagai Suhu Reaksi.**

Dari gambar 4 terlihat bahwa kondisi optimum untuk kadar  $\alpha$ -terpineol pada suhu 70°C dengan volume etanol sebanyak 135 mL. Secara keseluruhan, gambar 4 menunjukkan bahwa kadar  $\alpha$ -terpineol mengalami kecenderungan untuk naik seiring dengan bertambahnya jumlah etanol dan akan turun setelah mencapai titik optimum tertentu yang berbeda untuk setiap variasi suhu.

Pada variasi suhu reaksi 60°C diperoleh hasil kadar  $\alpha$ -terpineol adalah; 48,44%; 52,66%; 55,09%; 51,55%; 51,37%. Hasil optimum untuk suhu 60°C terletak pada penambahan 125 mL etanol dan mengalami penurunan kadar  $\alpha$ -terpineol pada penambahan 135 mL dan 145 mL etanol, hal ini dapat terjadi karena pada suhu 60°C kondisi optimum adalah pada penambahan 125 mL etanol. Kecenderungan penurunan kadar  $\alpha$ -terpineol disebabkan karena kemampuan etanol untuk melarutkan  $\alpha$ -pinene hanya pada kondisi optimumnya saja, sehingga setelah melewati kondisi optimum kadar  $\alpha$ -terpineol akan mengalami penurunan.

Pada variasi suhu reaksi 70°C diperoleh kadar  $\alpha$ -terpineol adalah; 51,73%; 53,32%; 54,45%; 57,05%; 56,13%. Kondisi optimum untuk suhu 70°C terletak pada penambahan jumlah etanol sebanyak 135 mL. Hal ini dapat disebabkan karena pada 125 mL etanol, senyawa  $\alpha$ -pinene belum sepenuhnya larut dan kondisi optimum untuk larut adalah pada 135 mL etanol. Setelah melewati kondisi optimum kadar  $\alpha$ -terpineol yang dihasilkan akan mengalami penurunan. Penurunan kadar  $\alpha$ -terpineol hasil sintesis dapat juga disebabkan karena hasil sintesis bukan menghasilkan  $\alpha$ -terpineol melainkan dietil eter. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan kondisi optimum untuk suhu adalah pada suhu 70°C.

Pada variasi suhu 80°C diperoleh kadar  $\alpha$ -terpineol adalah; 50,57%; 52,09%; 53,03%; 53,71%; 55,70%. Dari hasil analisa kadar  $\alpha$ -terpineol ini terlihat bahwa belum ada kondisi optimum dari suhu 80°C karena gambar masih mengalami kecenderungan untuk naik.

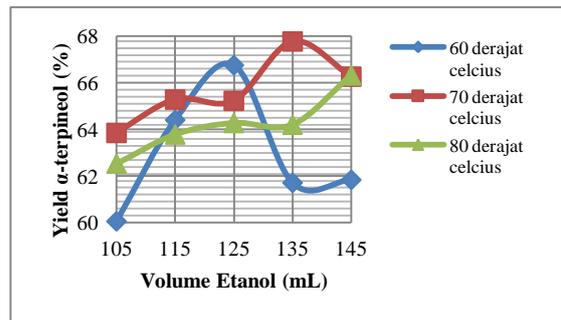
Kandungan  $\alpha$ -terpineol hasil sintesis sangat dipengaruhi oleh kualitas dari bahan baku dan terjaganya kondisi operasi. Minyak terpentin yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kandungan  $\alpha$ -pinene sebesar 79,05%, dimana prosentase ini menunjukkan prosentase kualitas terendah (FAO). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa, kandungan  $\alpha$ -terpineol hasil sintesis memiliki kadar dibawah 99% (MSDS), dimana kandungan  $\alpha$ -terpineol tertinggi dalam penelitian ini adalah 57,05%. Lebih rendahnya kandungan  $\alpha$ -terpineol dari 99% (MSDS) dipengaruhi oleh kualitas bahan baku yang memiliki kandungan  $\alpha$ -pinene hanya 79,05%.

#### Pengaruh Volume Etanol dan Suhu Reaksi terhadap Yield $\alpha$ -terpineol

Hubungan antara volume etanol terhadap yield  $\alpha$ -terpineol pada berbagai suhu reaksi dapat dilihat pada gambar 5.

Dari penelitian terdahulu yield 67% didapatkan pada penambahan 125 mL aseton dan

suhu antara 80-85°C [4]. Dari gambar 5 terlihat bahwa kondisi terbaik untuk yield terletak pada variasi suhu 70°C dengan penambahan 135 mL etanol, dengan yield sebesar 67,79%. Besarnya yield tergantung dari berapa kadar  $\alpha$ -terpineol awal. Gambar 5 menunjukkan bahwa yield  $\alpha$ -terpineol mengalami kecenderungan untuk naik seiring dengan bertambahnya jumlah etanol dan akan turun pada titik optimum tertentu yang berbeda untuk setiap variasi suhu. Yield  $\alpha$ -terpineol menunjukkan nilai yang sedikit lebih tinggi dari penelitian terdahulu [4].



Gambar 5. Hubungan antara Yield  $\alpha$ -terpineol dengan Volume Etanol pada Berbagai Suhu Reaksi

Pada hidrasi dengan katalis asam kloroasetat diperoleh konversi 99% pada suhu reaksi 70°C, waktu reaksi 4 jam, konsentrasi  $\alpha$ -pinene awal 92% dan konsentrasi katalis 6,4 mol/L [7]. Yield dari hasil penelitian tersebut lebih tinggi karena konsentrasi  $\alpha$ -pinene awal 92% lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi  $\alpha$ -pinene awal pada penelitian ini yang hanya 79,05%. Pada penelitian tentang studi kinetika reaksi heterogen  $\alpha$ -pinene menjadi terpineol dengan katalisator asam kloroasetat, didapatkan konversi  $\alpha$ -pinene 55% pada waktu reaksi 4 jam, suhu reaksi 80°C, jumlah katalis asam 0,6 mol dan kecepatan pengadukan 546 rpm [5]. Hasil penelitian ini lebih baik karena mendapatkan yield 67,79% pada suhu reaksi 70°C. Pada hidrasi  $\alpha$ -pinene menjadi terpineol dengan katalis TCA/Y-zeolit didapatkan konversi  $\alpha$ -terpineol 98% pada waktu reaksi 4 jam, suhu reaksi 65°C dengan konsentrasi  $\alpha$ -pinene awal  $\pm$  99% [8]. Yield dari hasil penelitian tersebut lebih tinggi karena konsentrasi  $\alpha$ -pinene awal yang digunakan lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi  $\alpha$ -pinene awal pada penelitian ini yang hanya 79,05%. Penelitian sintesa  $\alpha$ -terpineol mendapatkan yield 60,60% dengan konsentrasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2,0 mol/L dan konsentrasi molar anilin 0,3 mol/L [13]. Hasil penelitian ini lebih baik karena mendapatkan yield 67,79% dengan volume katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebanyak 20 mL. Pada hidrasi  $\alpha$ -pinene dengan 400 gram katalis TCA/ZrO<sub>2</sub>.nH<sub>2</sub>O, mendapatkan

konversi sekitar 60% pada suhu 80°C, waktu reaksi 300 menit, 1,84 mmol  $\alpha$ -pinene, 2,5 mL H<sub>2</sub>O dan 3,4 mL (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CHOH [6]. Hasil penelitian ini lebih baik karena mendapatkan yield 67,79% pada suhu reaksi 70°C dan waktu reaksi 4 jam.

### Kesimpulan

Hasil terbaik untuk densitas  $\alpha$ -terpineol pada sintesis  $\alpha$ -pinene menjadi  $\alpha$ -terpineol menggunakan katalisator asam sulfat dengan suhu reaksi 70°C dan jumlah etanol 105 mL adalah 0,9200 gram/cm<sup>3</sup>. Hasil terbaik pada sintesis  $\alpha$ -pinene menjadi  $\alpha$ -terpineol didapatkan kadar kandungan  $\alpha$ -terpineol sebesar 57,05% pada suhu 70°C dengan jumlah etanol 135 mL. Hasil terbaik pada sintesis  $\alpha$ -pinene menjadi  $\alpha$ -terpineol didapatkan yield  $\alpha$ -terpineol berdasarkan hasil timbangan sebesar 67,79% pada suhu 70°C dengan jumlah etanol 135 mL. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi  $\alpha$ -pinene awal sangat mempengaruhi yield.

### Daftar Pustaka

- [1] A. Budiman, A., Laporan Insentif Ristek, LPPM, 2009.
- [2] Brentwood and Franklin, United States Patent No. US 6.812.258 B2, 2004.
- [3] Fleig, chap. 14, Wiley-VCH Verlag GmbH and Co., KgaA, Weinham, 2005.
- [4] H. Pakdel, S. Sarron, C. Roy, J. Agric.Food. Chem. 49, 4337, 2001.
- [5] H. Utami, A. Budiman, Sutijan, Roto, W. B. Sediawan, Reaktor 13, 248, 2011.
- [6] M. C. Avila, N. A. Comelli, E. Rodriguez-Castellon, A. Jimenez-Lopez, R. C. Flores, E. N. Ponzi, M. I. Ponzi, Journal of Molecular Catalysis A : Chemical 322 , 106, 2010.
- [7] M. Roman-Aquirre, L. D. Torre-Saenz, W. A. Flores, A. Robau-Sanchez, A. A. Elquezabal, Catalysis Today 107-108, 310, 2005.
- [8] N. Wijayati, H. D. Pranowo, Jumina, Triyo no, Indo. J. Chem. 11, 234, 2011.
- [9] P. Dhar, P. Chan, D. T. Cohen, F. Khawam, S. Gibbons, T. Snyder-Leiby, E. Dickstein, P. K. Rai, G. W, J. Agric. Food Chem. 62, 3548, 2014.
- [10] S. P. Bhatia, C. S. Letizia, A. M. Api, Food and Chemical Toxicology 46, S280, 2008.
- [11] U. Neuenschwander, F. Guignard, I. Hermene, ChemSusChem 3, 75, 2010.
- [12] T. K. Waluyo, Jurnal Hasil Hutan 15, 89-94, Pusat Penelitian Pengembangan Hasil Hutan. Bogor, 2009.
- [13] B. Wiyono, S. Tachibana, D. Tinambunan, Forest Products Research and Development Center, 2009.
- [12] Y. Xiao-Xia, C. Si-Wu, W. Ya-Ming, Chemistry and Industry of Forest. 30, 89, 2010.