



Reaksi Isomerisasi α -Pinena Minyak Terpentin dengan Katalis Zr-Zeolit Alam Menggunakan *Microwave*

Parpulungan Hutasoit, Nanik Wijayati, dan Fransiska Widhi Mahatmanti

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima Juni 2018

Disetujui Juli 2018

Dipublikasikan Agustus
2018

Keywords:

α -pinene
isomerization reaction
microwave

Abstrak

Usaha untuk meningkatkan nilai ekonomis minyak terpenin adalah dengan melakukan transformasi α -pinena menjadi derivatnya melalui reaksi isomerisasi. Reaksi isomerisasi menggunakan katalis Zr-Zeolit alam dan karakterisasi katalis meliputi analisis kristalinitas dengan X-Ray Diffraction (XRD) dan Surface Area Analyzer (SAA). Reaksi isomerisasi dilakukan di dalam *microwave* dengan mereaksikan 10 mL minyak terpenin dan 0,5 g katalis. Reaksi dilakukan dengan variasi daya *microwave* 320, 480, dan 640 watt dan variasi waktu reaksi 5, 10, 15, 20, dan 25 menit. Senyawa hasil reaksi diuji menggunakan IR, GC, dan GC-MS. Dari hasil penelitian diperoleh hasil isomer berupa kamfena, 3-karena, α -terpinena, limonena, *p*-simena, β -pinena, dan terpinolena. Daya *microwave* yang digunakan berpengaruh pada peningkatan konsentrasi senyawa isomer yang dihasilkan, sedangkan waktu reaksi berpengaruh terhadap peningkatan konversi α -pinena menjadi senyawa isomernya. Kondisi paling baik dalam penelitian ini adalah pada daya *microwave* 640 watt dan waktu reaksi 15 menit dengan konversi α -pinena sebesar 29,907 %.

Abstract

In efforts to increase economic value of turpentine oil is perform transformation of α -pinena into derivation through isomerization reaction. Catalytic isomerization reaction use catalysts Zr-Natural zeolite and characterization the catalyst include analysis of crystallinity by X-Ray Diffraction (XRD) and Surface Area Analyzer (SAA). Isomerization reaction in the microwave with 10 mL turpentine oil reacted and 0.5 g catalysts. The reaction conduct by the variation of the microwave power 320, 480, and 640 watts and variation of reaction time of 5, 10, 15, 20, and 25 minutes. The reaction products of the compounds tested using IR, GC, and GC-MS. The result research gain isomers such as camphene, 3-carene, α -terpinene, limonene, *p*-cymene, β -pinene, and terpinolene. Increase power the microwave yields increase the concentration of the compound isomers product, whereas the reaction time to increase conversion α -pinena into isomer compound. The ideal condition in study, found to be microwave power of 640 watts and 15 minutes, yield conversion of α -pinene 29.907 %.

© 2018 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:
Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
E-mail: ulung.hutasoit@studets.unnes.ac.id

p-ISSN 2252-6951
e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Produksi minyak terpenin dari getah pinus sampai dengan bulan Desember 2012, dilaporkan mencapai 15.340 ton dengan luas hutan pinus sekitar 163.150 hektar. Adanya peningkatan permintaan industri atas minyak terpenin sebagai bahan baku farmasi, parfum, pelarut, resin dan polimer menyebabkan permintaan pasar terhadap minyak terpenin ini semakin meningkat setiap tahunnya serta didukung pula oleh adanya kecenderungan “*back to nature*” untuk memenuhi kebutuhan industri di Indonesia bahkan di dunia (Laporan Tahunan Perum Perhutani, 2012). Komponen utama dalam minyak terpenin adalah α -pinena, minyak terpenin Indonesia mengandung sekitar 57-86% α -pinena, 8-12% 3-karena dan golongan monoterpena lainnya dengan jumlah minor (Wiyono *et al.*, 2006; Masruri *et al.*, 2007).

Sekitar 80% dari terpenin di Indonesia selama ini diekspor ke negara-negara di Eropa, India, Korea Selatan, Jepang dan Amerika Serikat. Usaha untuk meningkatkan nilai ekonomi minyak terpenin adalah dengan melakukan transformasi senyawa α -pinena. Salah satu usaha yang dilakukan adalah dengan melakukan reaksi hidrasi senyawa α -pinena (Wijayati *et al.*, 2014).

Alfa-pinena merupakan bahan dasar untuk sintesis senyawa-senyawa yang memiliki harga jual tinggi seperti terpineol, kamfer, bornil klorida, dan kamfena (Masruri, 2005; Masruri *et al.*, 2014) dalam skala industri. Adanya cincin reaktif berupa ikatan rangkap di dalam struktur α -pinena menyebabkan senyawa ini tergolong dalam senyawa organik bahan alam yang menarik dan menguntungkan. Prinsipnya α -pinena dapat diubah secara kimia menjadi bahan dasar untuk pembuatan senyawa yang lebih berguna melalui reaksi adisi, reaksi hidrasi dan isomerisasi (Jozef-Zsolt, 2011).

Metode

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak terpenin, aquades, aquademin, zeolit alam (Malang), AgNO_3 , Na_2SO_4 anhidrat, HCl, HF, NH_4Cl dengan *grade pro analyst* buatan *Merck*, dan gas N_2 buatan Samator. Peralatan yang digunakan yaitu ayakan 100 *mesh*, *microwave*, SAA *Quantachrome NOVA 1200E*, XRD *Philips Expert*, FT-IR *Frontier Perkin Elmer Spectrum*, GC *Agilent 6890 Series* dan GC-MS *Perkin Elmer*.

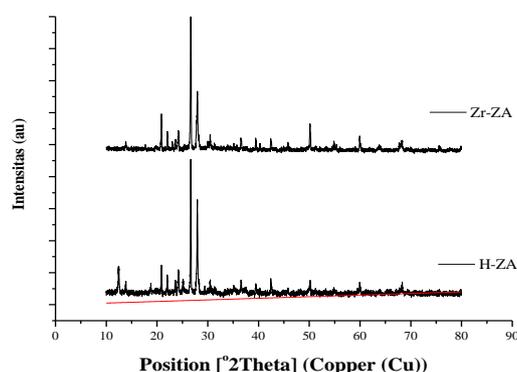
Aktivasi zeolit, merendam 100 g serbuk zeolit alam dengan 250 mL larutan HF 1% selama 30 menit kemudian dicuci dengan aquademin. Zeolit bebas HF dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C selama 3 jam kemudian dihaluskan kembali 100 *mesh*. Merendam zeolit bebas HF dengan HCl 2M selama 30 menit pada temperatur 50 oC sambil diaduk dengan pengaduk magnet, kemudian direndam dengan aquademin sampai ion Cl^- hilang (uji dengan AgNO_3 1%) selanjutnya zeolit dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C selama 3 jam dan dihaluskan kembali. Hasil aktivasi ini disebut zeolit alam teraktivasi asam. Merendam zeolit alam teraktivasi dengan NH_4Cl 1N kemudian dicuci dengan aquademin sampai ion Cl^- hilang (uji dengan AgNO_3 1%), dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C selama 3 jam, dan dihaluskan kembali 100 *mesh*. Hasil dari proses ini disebut H-zeolit alam dan dikarakterisasi menggunakan SAA dan XRD.

Impregnasi Zr dari ZrCl_4 pada H-zeolit alam, sebanyak 55 g H-zeolit alam direndam dalam 100 mL larutan ZrCl_4 3M. Campuran dipanaskan pada temperatur 70°C sambil diaduk dengan pengaduk magnet hingga semua larutan menguap dan dikalsinasi pada temperatur 500°C selama 5 jam. Hasil dari proses ini disebut Zr-zeolit alam (Zr-ZA) kemudian dikarakterisasi menggunakan SAA dan XRD.

Reaksi isomerisasi α -pinena menggunakan *microwave*, Sebanyak 10 mL α -pinena kemudian dimasukkan kedalam erlenmeyer kemudian ditambahkan katalis Zr-zeolit alam sebanyak 0,5 g. Dilakukan pemanasan dengan *microwave* dengan waktu 5 menit dan daya 320 watt. Campuran dipisahkan dengan disentrifugasi selama 15 menit untuk memisahkan katalis dari hasil reaksi, kemudian disaring dan hasil reaksi dianalisis dengan kromatografi gas. Mengulangi dengan waktu 10, 15, 20, dan 25 menit. Mengulangi menggunakan daya 480 watt dengan waktu 5, 10, 15, 20, dan 25 menit. Mengulangi menggunakan daya 640 watt dengan waktu 5, 10, 15, 20, dan 25 menit.

Hasil dan Pembahasan

Katalis H-ZA dan Zr-ZA yang telah dikalsinasi, dikarakterisasi menggunakan XRD. Analisis ini digunakan untuk menentukan kristalinitas (struktur kristal) dan kisi kristal dari katalis H-ZA dan katalis Zr-ZA. Analisis XRD dilakukan dengan instrumen XRD sumber sinar $\text{Cu K}\alpha$ dengan range $2\theta = 10 - 80^\circ$. Difraktogram dari katalis H-ZA dan Zr-ZA disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Difraktogram dari katalis H-ZA dan Zr-ZA

Berdasarkan hasil analisis XRD, H-ZA dan Zr-ZA memiliki puncak-puncak khas yang dibandingkan dengan data dari JCPDS (*Joint Committee of Powder Diffraction Standar*). Penentuan kristalinitas zeolit alam dilakukan secara kualitatif. Puncak-puncak pada difraktogram zeolit alam Malang yang telah diaktivasi menunjukkan difraktogram khas dengan adanya struktur *klinoptilolit* sebagai kandungan mineral utama dan kemungkinan adanya campuran dari jenis *mordenit*, *kuarsa* dan material pengotor lainnya. Lestari (2010) menyatakan bahwa zeolit alam Indonesia (Malang) banyak mengandung *mordenit* yang tercampur dengan *klinoptilolit*. Hampir sama dengan hasil XRD pada penelitian ini yang menunjukkan bahwa zeolit alam Malang yang telah diaktivasi dengan perlakuan asam memiliki kandungan mineral dengan struktur *klinoptilolit*. Berdasarkan hasil difraktogram H-ZA, terjadi sedikit pergeseran posisi puncak ke posisi sudut 2θ yang semakin sesuai dengan posisi puncak khas *klinoptilolit* (Tabel 1).

Tabel 1. Posisi puncak khas *klinoptilolit* pada zeolit alam teraktivasi

Standar Klinoptilolit (HEU)		H-ZA	
Posisi (2θ)	d-spacing (Å)	Posisi (2θ)	d-spacing (Å)
9,88	8,955	9,55	9,251
19,10	4,648	18,82	4,713
20,40	4,354	20,42	4,348
23,81	3,736	23,59	3,770
26,32	3,386	26,61	3,348
28,80	3,100	29,41	3,036

Sumber Standar JCPDS *Klinoptilolit* (Lestari, 2010)

Pola difraktogram dari H-ZA dan Zr-ZA terlihat hampir sama, yang menunjukkan tidak terjadinya perubahan struktur padatan secara signifikan setelah dilakukan pengembunan logam. Puncak pada difraktogram Zr-ZA masih berbentuk runcing yang mengindikasikan bahwa material tersebut merupakan kristalin, dan telah terjadi proses penukaran ion H^+ dengan Zr^{4+} sehingga katalis ini bersifat kristalin yang stabil (Muthiah, 2014). Pada H-ZA terlihat puncak tajam pada $2\theta = 20,95$ ($d=4,239$ Å), pada $2\theta = 26,65$ ($d=3,344$ Å), dan pada $2\theta = 50,13$ ($d=1,819$ Å). Sedangkan berdasarkan hasil difraktogram XRD diketahui logam Zr telah berhasil terdistribusi dalam zeolit alam, yang ditandai dengan adanya puncak pada $2\theta = 35,17$ ($d=2,551$ Å), pada $2\theta = 50,13$ ($d=1,819$ Å), dan pada $2\theta = 59,91$ ($d=1,543$ Å). Ada pun perbandingan kenaikan intensitas H-ZA dan Zr-ZA disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan intensitas H-ZA dan Zr-ZA pada sudut 2θ khas *klinoptilolit*

Sudut 2θ	Intensitas H-ZA (%)	Intensitas Zr-ZA (%)
20,9	16,7	7,94
23,59	6,03	5,19
26,6	100,00	100,00
27,9	69,66	32,00
50,13	8,20	12,77

Perubahan intensitas ada yang naik dan ada yang turun bergantung dari struktur kristal, posisi atom dalam unit sel dan vibrasi termalnya (Sibarani, 2012). Struktur kristal pada katalis tidak mengalami banyak perubahan karena penurunan intensitas, hal ini dimungkinkan karena sudah stabil saat diaktivasi yang ditunjukkan dari posisi puncak yang tidak bergeser secara signifikan. Tabel 2 menunjukkan bahwa

zeolit alam yang telah diimpregnasi dengan Zr^{4+} mengalami penataan ulang kristal setelah proses impregnasi dan kalsinasinya sehingga tingkat kristalinitas *klinoptilolit*nya meningkat. Semakin tinggi intensitas maka kristalinitas semakin baik. Kristalinitas yang tinggi menunjukkan sifat katalitik zeolit semakin tinggi, stabil pada temperatur tinggi, porositas luas, dan pengembangan bebas dari pengotor (Ariyanti *et al.*, 2015).

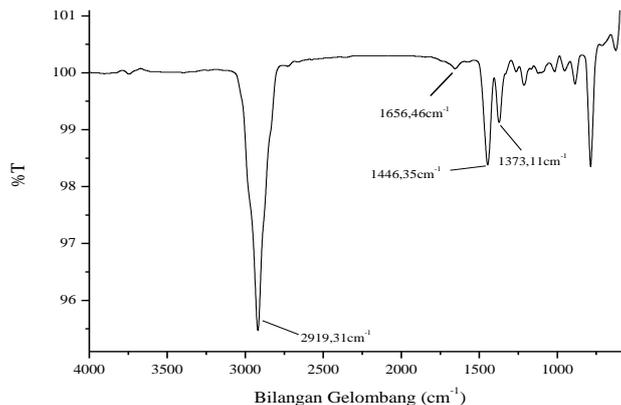
Karakterisasi katalis selanjutnya menggunakan metode BET dengan instrumen *Surface Area Analyzer Quantachrome novaWin* 10.01. Karakterisasi menggunakan SAA bertujuan untuk mengetahui luas permukaan dari katalis H-ZA dan katalis Zr-ZA. Karakterisasi luas permukaan, volume dan rata-rata jari-jari pori katalis menggunakan metode BET didasarkan pada fenomena adsorpsi gas lapis tunggal yang berlangsung pada temperatur tetap. Pada analisis ini digunakan gas nitrogen sebagai adsorbat pada permukaan katalis. Gas nitrogen yang digunakan memiliki konsentrasi tertentu yang berfungsi sebagai tekanan. Perlakuan asam dan termal pada aktivasi zeolit alam menyebabkan meningkatnya luas permukaan dan volume pori karena hilangnya molekul molekul pengotor yang menutupi permukaan zeolit alam maupun yang terjebak dalam rongga zeolit alam. Hasil pengukuran luas permukaan, rata-rata jari-jari pori, dan volume total pori katalis yaitu luas permukaan katalis Zr-ZA menjadi lebih besar dibandingkan dengan luas permukaan H-ZA. Data selengkapnya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran luas permukaan spesifik, rerata jejari pori, dan volume total pori katalis

Katalis	Luas permukaan (m^2/g)	Rata-rata jari-jari pori (\AA)	Volume pori (cc/g)
H-ZA	39,052	179,6	$1,124 \times 10^{-2}$
Zr-ZA	33,647	204,9	$1,217 \times 10^{-2}$

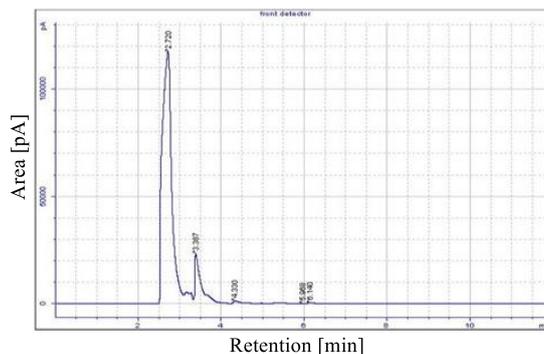
Tabel 3 menunjukkan adanya kenaikan rerata jejari pori dan volume total pori katalis setelah pengembangan logam Zr. Kenaikan rerata jejari pori dan volume total pori diperkirakan karena masuknya logam Zr pada permukaan zeolit alam.

Hasil analisis menggunakan spektrofotometer inframerah pada Gambar 2 menunjukkan adanya beberapa serapan karakteristik. Puncak 2919 cm^{-1} menunjukkan adanya serapan gugus C-H alkana, puncak 1656 cm^{-1} menunjukkan adanya rentangan C=C alkena, puncak 1446 cm^{-1} menunjukkan gugus CH_2 dan puncak 1373 cm^{-1} menunjukkan gugus CH_3 .



Gambar 2. Spektrum IR α -pinena

Hasil kromatogram kromatografi gas pada Gambar 3 menunjukkan adanya tiga puncak. Puncak tertinggi dengan waktu retensi 2,720 menit merupakan senyawa paling dominan dengan persentase kadar sebesar 85,86%. Puncak ini diyakini merupakan puncak senyawa α -pinena, diperkuat juga dengan hasil analisis strukturnya menggunakan spektrofotometer inframerah yang menunjukkan beberapa gugus fungsi yang menyusun senyawa α -pinena. Hasil analisis kadar α -pinena dengan GC disajikan pada Gambar 3 dan interpretasinya pada Tabel 4.



Gambar 3. Kromatogram GC minyak terpenin

Tabel 4. Interpretasi kromatogram α -pinena

Puncak	Waktu retensi (menit)	Kadar (%)
1	2,720	85,867
2	3,387	10,605
3	4,330	0,691
4	5,968	0,668
5	6,140	2,166

Pada penelitian ini didapatkan beberapa macam produk isomer α -pinena antara lain kamfena, 3-karena, α -terpinena, limonena, *p*-simena, β -pinena, dan terpinolena. Produk yang dihasilkan memiliki kondisi optimum masing-masing. Hasil reaksi isomerisasi dengan variasi daya *microwave* dan waktu reaksi dengan katalis Zr-ZA yang disajikan pada Tabel 5.

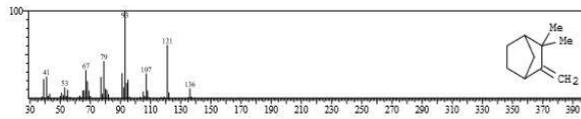
Tabel 5. Hasil reaksi isomerisasi α -pinena dengan katalis Zr-ZA

Daya (watt)	Waktu Reaksi (menit)	Kadar Produk Hasil Reaksi (%)							
		A	B	C	D	E	F	G	H
320	5	53,096	0,211	3,008	0,425	-	0,645	10,558	1,634
	10	81,936	0,889	1,067	0,647	-	-	0,060	-
	15	72,665	0,992	1,033	0,567	0,488	-	0,590	-
	20	87,302	0,735	1,240	0,237	0,282	-	0,179	2,382
	25	84,893	0,881	1,390	0,324	0,391	-	0,388	1,590
480	5	72,930	-	1,026	0,223	0,470	0,375	0,392	0,631
	10	82,218	1,085	1,961	-	-	-	-	1,449
	15	85,959	0,934	1,417	1,786	0,430	0,540	0,585	0,642
	20	46,318	-	0,504	1,643	0,507	0,881	0,955	-
	25	84,826	1,048	1,426	1,774	0,832	0,701	0,959	-
640	5	67,962	1,198	1,395	0,454	0,659	0,465	0,795	-
	10	84,625	1,126	2,044	-	-	-	-	-
	15	60,186	0,936	1,422	1,210	0,909	0,915	1,140	-
	20	84,690	0,970	1,425	0,238	0,752	0,587	0,846	-
	25	74,644	1,137	2,022	2,421	1,085	0,918	1,237	-

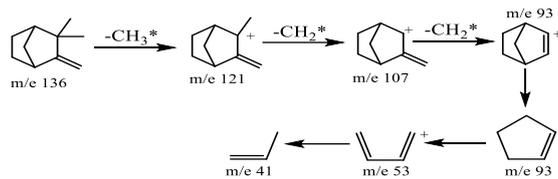
Keterangan: A = α -pinena, B = Kamfena, C = β -pinena, D = 3-karena, E = α -terpinena, F = Limonena, G = *p*-simena, H = Terpinolena

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui produk kamfena maksimum terjadi pada daya *microwave* 640 watt dan waktu reaksi 5 menit dengan kadar sebesar 1,198%, produk β -pinena maksimum terjadi pada daya *microwave* 320 dan waktu 5 menit dengan kadar sebesar 3,008%, produk 3-karena maksimum pada daya *microwave* 640 watt dan waktu reaksi 25 menit dengan kadar sebesar 2,421%, produk α -terpinena maksimum pada daya *microwave* 640 watt dan waktu reaksi 25 menit dengan kadar sebesar 1,085%, produk limonena maksimum pada daya *microwave* 640 watt dan waktu reaksi 25 menit dengan kadar sebesar 0,918%, produk *p*-simena maksimum pada daya *microwave* 320 watt dan waktu reaksi 5 menit dengan kadar sebesar 10,558%, dan yang terakhir yaitu terpinolena maksimum terjadi pada daya *microwave* 320 watt dan waktu reaksi 20 menit dengan kadar sebesar 2,382%.

Menurut Santi (2013) pada kondisi temperatur (daya *microwave*) yang cukup, energi yang tersedia mencukupi sehingga kemungkinan terjadinya tumbukan antar reaktan yang menyebabkan reaksi akan semakin besar, sehingga produk yang dihasilkan juga akan semakin besar. Hasil reaksi isomerisasi α -pinena pada masing-masing variasi temperatur (daya *microwave*) menghasilkan kenaikan kadar produk dengan kenaikan waktu reaksi. Terdapat produk yang mengalami kenaikan kadar kemudian menurun pada waktu reaksi tertentu dimungkinkan karena pada jalannya reaksi terdapat senyawa lain yang bukan isomer α -pinena (Comelli *et al.*, 2005). Spektrum massa senyawa hasil reaksi α -pinena yang pertama disajikan pada Gambar 4 dan fragmentasinya pada Gambar 5.

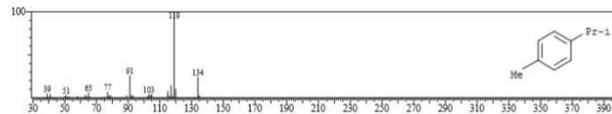


Gambar 4. Spektrum massa kamdana

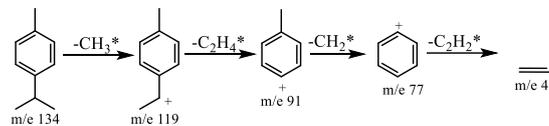


Gambar 5. Skema fragmentasi kamdana

Spektrum Gambar 4 muncul pada waktu retensi 12,400 menit. Spektrum ini merupakan senyawa kamdana dengan massa molekul relatif 136. Senyawa kamdana mempunyai massa molekul dengan m/e 136 dan fragmentasi terjadi dari m/e 136. Ion molekul pada m/e 136 melepaskan CH_3 membentuk pecahan ion molekul dengan m/e 121 kemudian ion molekul dengan m/e 121 melepaskan CH_2 membentuk pecahan ion molekul dengan m/e 107 kemudian menjadi m/e 93 akibat lepasnya CH_2 . Ion molekul dengan m/e 93 mengalami pecahan lebih lanjut menjadi m/e 53 dengan melepaskan CH_2 lalu melepaskan C^* sehingga menjadi pecahan dengan m/e 41. Spektrum massa senyawa hasil reaksi α -pinena yang kedua disajikan pada Gambar 6 dan fragmentasinya pada Gambar 7.

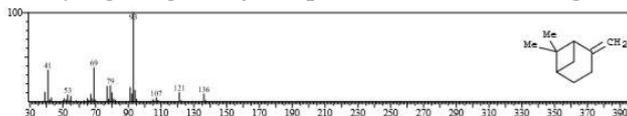


Gambar 6. Spektrum massa *p*-simena

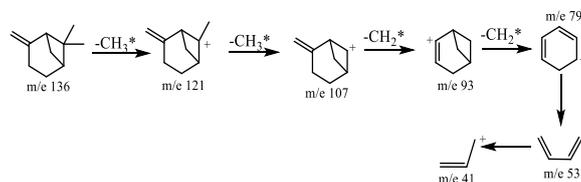


Gambar 7. Skema fragmentasi *p*-simena

Spektrum dengan waktu retensi 13,292 menit merupakan senyawa *p*-simena dengan massa molekul relatif 136. Senyawa *p*-simena mempunyai massa molekul m/e 136, fragmentasi terjadi dari m/e 136. Pecahan m/e 41 yang dihasilkan dari pecahan m/e 136 dengan melepaskan C_7H_{11} . Spektrum massa senyawa hasil reaksi α -pinena yang ketiga disajikan pada Gambar 8 dan fragmentasinya pada Gambar 9.

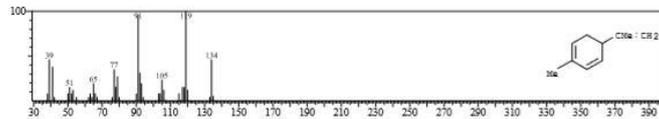


Gambar 8. Spektrum massa β -pinena

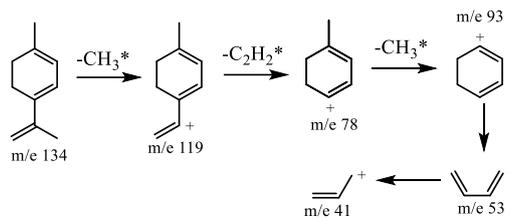


Gambar 9. Skema fragmentasi β -pinena

Spektrum Gambar 8 muncul pada waktu retensi 13,392 menit, spektrum ini merupakan senyawa β -pinena dengan massa molekul relatif 136. Senyawa β -pinena mempunyai massa molekul m/e 136, fragmentasi terjadi dari m/e 136. Fragmentasi diatas pada m/e 93 merupakan puncak dasar senyawa β -pinena yang mengalami pelepasan gugus alkil. Puncak pada m/e 121 muncul dengan lepasnya radikal metil CH_3 , selanjutnya lepas molekul C_2H_2 menghasilkan puncak pada m/e 93. Puncak ion molekul pada m/e 93 juga bisa terjadi karena lepasnya radikal C_3H_7 yang merupakan puncak dasar. Dengan lepasnya molekul netral C_3H_4 muncul fragmen pada m/e 53 atau lepasnya molekul C_4H_4 sehingga muncul puncak pada m/e 41. Spektrum massa senyawa hasil reaksi α -pinena yang keempat disajikan pada Gambar 10 dan fragmentasinya pada Gambar 11.

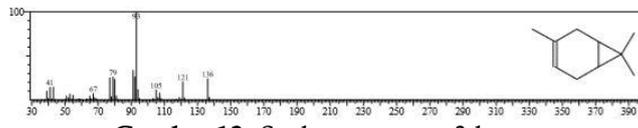


Gambar 10. Spektrum massa α -terpinena

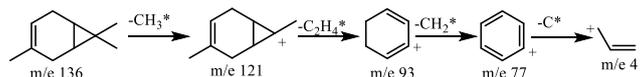


Gambar 11. Skema fragmentasi α -terpinena

Spektrum massa senyawa hasil reaksi α -pinena yang kelima disajikan pada Gambar 12 dan fragmentasinya pada Gambar 13.

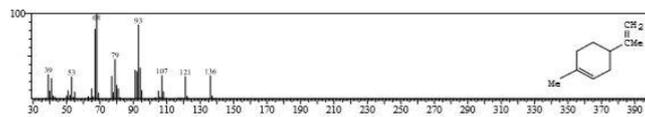


Gambar 12. Spektrum massa 3-karena

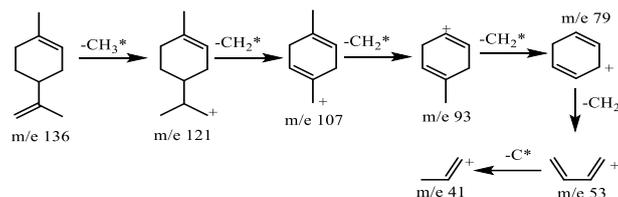


Gambar 13. Skema fragmentasi 3-karena

Spektrum dengan waktu retensi 14,358 menit merupakan senyawa 3-karena dengan massa molekul relatif 136. Senyawa 3-karena mempunyai massa molekul m/e 136, fragmentasi terjadi dari m/e 136. Pecahan m/e 41 yang dihasilkan dari pecahan m/e 136 dengan melepaskan C_7H_{11} . Spektrum massa senyawa hasil reaksi α -pinena yang keenam disajikan pada Gambar 14 dan fragmentasinya pada Gambar 15.



Gambar 14. Spektrum massa limonena



Gambar 15. Skema fragmentasi limonena

Spektrum dengan waktu retensi 15,042 menit dimungkinkan merupakan senyawa limonena dengan massa molekul relatif 136. Senyawa limonena mempunyai massa molekul m/e 136, fragmentasi terjadi dari m/e 136. Pecahan m/e 41 yang dihasilkan dari pecahan m/e 136 dengan melepaskan C_7H_{11} .

Simpulan

Karakterisasi katalis Zr-zeolit alam meliputi analisis kristalinitas yang diamati dengan X-Ray Diffraction (XRD) yang menunjukkan katalis mengandung mineral *clinoptilolit*. Daya *microwave* yang digunakan berpengaruh terhadap laju reaksi dan peningkatan konsentrasi senyawa isomer yang dihasilkan, sedangkan waktu reaksi berpengaruh terhadap konversi α -pinena menjadi senyawa isomernya yang ditunjukkan dengan meningkatnya konsentrasi produk isomer. Kondisi paling baik dalam penelitian ini adalah pada daya *microwave* 640 watt dan waktu reaksi 15 menit menggunakan katalis Zr-ZA alam dengan konversi α -pinena sebesar 29,907% dengan hasil isomer berupa kamfena, β -pinena, 3-karena, α -terpinena, limonena dan *p*-simena.

Daftar Pustaka

- Ariyanti, D., Harjito. 2015. Optimasi Temperatur pada Proses Perengkahan Katalitik Polietilen menjadi Gasolin menggunakan Katalis Mo-Ni/ZA. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 4(1):62-68
- Jozef-Zsolt, S.B. 2011. *The Study of α -Pinene Isomerization in Acidic Heterogenous Catalysis*. Faculty of Chemistry and Chemical Engineering: "Babeş-Bolyai" University
- Laporan Tahunan Perum Perhutani. 2012. Pemantapan Proses Bisnis menuju Perhutani Ekselen, diakses pada tanggal 26 Agustus 2017 melalui <http://perumperhutani.com/wpcontent/uploads/2013/07/ARA>
- Lestari, Y.D., 2010. Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia UNY*: Yogyakarta
- Masruri dan A. Srihardyastuti. 2005. Reaksi Asiloksilasi Hidroksilasi terhadap α -Pinena: Pemanfaatan Produk Reaksinya sebagai Penghambat Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. *NATURAL*, 9(1): 6-11
- Masruri, Bambang, P., dan Muhamad, M. 2014. Alpha-Pinene in Acidic Conditions: Products Determination and the Reaction Kinetics, *Proceeding of the 4th Annual Basic Science International Conference (BaSIC)*, February 12-13rd. Batu: Indonesia
- Masruri, Mohamad, F.R., dan Tegas, I.P. 2007. Identifikasi dan Uji Aktifitas Antibakteri Senyawa Volatil Terpenoid Minyak Terpentin. *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati (Life Sciences)*, 19(1): 32-35
- Santi, D. 2013. Modifikasi Zeolit Alam sebagai Katalis dan Uji Aktivitas Katalis dalam Reaksi Hidrorengkah Minyak Kulit Jambu Mete (*Anacardium Occidentale*) menjadi Biogasoline dan Biodiesel. *Istech.*, 5(2): 104-108
- Sibarani, L.K. 2012. Preparasi, Karakterisasi, dan Uji Aktifitas Katalis NiCr/Zeolit Alam pada Proses Perengkahan Limbah Plastik menjadi Fraksi Bensin. *Jurnal Kimia*.
- Wijayati, N., Supartono, S.B.W. Kusuma. 2014. Pengaruh Temperatur dan Waktu pada Reaksi Hidrasi α -Pinena dari Minyak Terpentin dengan Katalis Zeolit alam. *Jurnal MIPA*, 37(2): 146-153
- Wiyono, B., Sanro, T., dan Djaban, T. 2006. Chemical Composition of Indonesia Pinus merkusii Turpentine Oil, Gum Oleoresins dan Rosins from Sumatra and Java. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9(1): 7-14
- Yadav, M., Chudasama, C., Jasra, R. 2004. Isomerisation of α -Pinene using Modified *Montmorillonite* Clays. *Journal of Molecular Catalysis. A Chemical*, 216(1): 51-59