



PENGARUH WAKTU DAN TEMPERATUR PADA REAKSI ISOMERISASI α -PINENA MENGGUNAKAN KATALIS Zr^{4+} /ZEOLIT ALAM

Tri Handayani*), Nanik Wijayati dan Harjono

Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Semarang

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

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima September 2015
Disetujui Oktober 2015
Dipublikasikan November 2015

Kata kunci:
 Zr^{4+} /zeolit alam
waktu
temperatur
isomerisasi α -pinena

Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk mempelajari pengaruh waktu dan temperatur pada reaksi isomerisasi α -pinena menggunakan katalis Zr^{4+} /zeolit alam. Karakterisasi terhadap katalis meliputi: kristalinitas, yang diamati dengan *X-Ray Diffraction* (XRD), jumlah Zr^{4+} teremban yang diamati menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF), luas area dan porositas katalis diamati menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA), dan keasaman katalis diamati melalui metode gravimetri. Reaksi isomerisasi dilakukan di dalam reaktor *batch* dengan variasi temperatur 90, 120 dan 150°C dan variasi waktu reaksi yaitu 60, 90, 120, 150 dan 180 menit. Hasil isomerisasi paling baik dalam penelitian ini diperoleh pada 150°C dengan waktu reaksi 180 menit. Jenis isomer yang diperoleh diamati menggunakan GC-MS. Hasil karakterisasi katalis mengindikasikan bahwa modifikasi katalis dengan logam Zr meningkatkan keasaman dari 2,76 ke 6,64 mmol/g dan tidak merusak struktur kristal secara signifikan. Konversi produk tertinggi dalam penelitian adalah 9,24%, hasil ini kurang maksimal disebabkan oleh perlakuan awal terhadap katalis menghasilkan luas area yang rendah. Dengan demikian, temperatur dan waktu reaksi berpengaruh terhadap konsentrasi produk isomerisasi α -pinena di samping pengaruh katalis yang digunakan.

Abstract

Effects of time and temperature on α -pinene isomerization reaction using catalysts Zr^{4+} /natural zeolite was studied. Characterization of the catalysts include: crystallinity, observed using X-Ray Diffraction, count Zr^{4+} carried observed using X-Ray Fluorescence, area and porosity catalyst was observed using the Surface Area Analyzer, and acidity catalyst observed through gravimetric method. Isomerization reaction carried out in a batch reactor with temperature variations 90, 120 and 150°C and reaction time variations of 60, 90, 120, 150 and 180 minutes. Best results of isomerisation in this study was obtained at 150°C with a reaction time of 180 minutes. Kinds of isomer obtained was observed using GC-MS. Catalyst characterization results indicate that modification of the catalyst by cation Zr^{4+} increases the acidity from 2.76 to 6.64 mmol/g and does not damage the crystal structure significantly. The highest product conversion in this research is 9.24%, less than the maximum results caused by pre-treatment of the catalyst produces a low area. Thus, temperature and reaction time affect the concentration of α -pinene isomerization product in addition to the effect of the catalyst used.

Pendahuluan

Produksi minyak terpenin semakin meningkat setiap tahun yang disebabkan adanya peningkatan permintaan dari industri atas minyak terpenin sebagai bahan baku farmasi, parfum, pelarut, resin dan polimer. Minyak terpenin Indonesia mengandung sekitar 57-86% α -pinena, 8-12% 3-karena dan golongan - lainnya dengan jumlah minor (Wiyono, *et al.*; 2006; Masruri, *et al.*; 2007). Sintesis beberapa senyawa berbahan dasar α -pinena menghasilkan terpineol, kamfer, bornil klorida, dan kamfena dalam skala industri memiliki harga jual yang tinggi (Masruri, *et al.*; 2014). Adanya cincin reaktif berupa ikatan rangkap di dalam struktur α -pinena menyebabkan senyawa ini tergolong dalam senyawa organik bahan alam yang menarik dan sangat menguntungkan.

Isomerisasi α -pinena dapat menghasilkan senyawa bisiklik, monosiklik, atau produk lainnya. Beberapa penelitian mengenai isomerisasi α -pinena telah dikembangkan. Berdasarkan penelitian Severino, *et al.* (1996) melakukan reaksi isomerisasi α -pinena menggunakan zeolit sebagai katalisnya, menyatakan bahwa situs asam Lewis pada katalis tersebut (lebih lemah dari situs Bronsted) bermanfaat untuk pembentukan senyawa bisiklik, sedangkan situs Bronsted bertanggung jawab untuk pembentukan senyawa monosiklik. Yadav, *et al.* (2004) melakukan reaksi katalisis menggunakan montmorillonit *clay* dimodifikasi dengan asam sulfat, diperoleh hasil konversi senyawa α -pinena mencapai 96% dengan selektivitas produk kamfena sebesar 39-49%.

Katalis homogen telah digunakan oleh sebagian besar industri, dan menimbulkan dampak negatif berupa sejumlah besar limbah asam berbahaya, juga memiliki kekurangan karena sulit dipisahkan dari produknya. Mengingat keselamatan lingkungan dan alasan ekonomis, ada upaya berkelanjutan untuk menggantikan katalis asam konvensional dengan katalis asam padat heterogen yang baru. Katalis heterogen dapat digunakan sebagai alternatif dengan peluang positif terkait peningkatan hasil dan selektivitas proses yakni melalui reaksi isomerisasi α -pinena (Reddy, *et al.*; 2005).

Pada penelitian ini, penulis menerapkan penggunaan katalis heterogen berupa Zr^{4+}/ZA terhadap isomerisasi α -pinena dan dipelajari pengaruh waktu dan temperatur reaksinya.

Metode Penelitian

Peralatan yang digunakan antara lain:

ayakan 100 mesh, GC *Hawlett Packard 5890 Series II*, GC-MS *Shimadzu QP 5000*, SAA *Quantachrome ASiQwin 1.11*, XRD *Philips Expert*, XRF *PANalytical Minipal 4*, dan Spektrofotometer FT-IR *Shimadzu FT-IR 8201 PC*. Bahan yang digunakan: minyak terpenin, aquades, aquademin, zeolit alam (Malang), $AgNO_3$, HCl, NH_4Cl , HF dengan *grade pro analyst* buatan *Merck* Na_2SO_4 anhidrat, dan gas N_2 dari PT. Samator.

Proses preparasi dan aktivasi katalis dimulai dengan proses pencucian zeolit alam dengan aquades pada temperatur kamar sebanyak tiga kali kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C selama 3 jam. Kemudian dilakukan proses aktivasi dan dealuminasi zeolit alam dengan perendaman dalam larutan HF, HCl dan NH_4Cl (Trisunaryanti, *et al.*; 2005). Zeolit alam direndam dengan larutan HF 1% selama 30 menit, kemudian dicuci dengan aquademin. Selanjutnya dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C selama 3 jam, lalu dihaluskan kembali. Zeolit alam yang telah direndam HF, selanjutnya direndam dengan larutan HCl 2M selama 30 menit pada temperatur 50°C sambil diaduk dengan *magnetic stirrer*. Kemudian mencuci zeolit alam hasil rendaman HCl dengan aquademin sampai ion Cl^- hilang. Selanjutnya mengeringkan zeolit alam bebas ion Cl^- dalam oven pada temperatur 120°C selama 3 jam dan dihaluskan kembali. Zeolit alam teraktivasi asam direndam dengan larutan NH_4Cl 1N. Kemudian dicuci dengan aquademin sampai ion Cl^- hilang, lalu dikeringkan dalam oven pada temperatur 120°C selama 3 jam.

Zeolit alam yang telah diaktivasi, dikalsinasi pada temperatur 400°C selama 4 jam dalam tanur kalsinasi dengan dialiri gas nitrogen 10 mL/menit. Selanjutnya zeolit alam diimpregnasi logam zirkonium dengan konsentrasi logam zirkonium sebanyak 10% (b/b) dilanjutkan kalsinasi kembali pada temperatur 400°C selama 4 jam.

Katalis yang telah diaktivasi dan dimodifikasi kemudian diuji kemampuan katalitiknya untuk reaksi isomerisasi. Reaksi dilakukan dalam reaktor *batch* dengan kontrol pengadukan dan temperatur. Reaksi isomerisasi dilakukan dengan memasukkan 10 mL α -pinena ke dalam labu leher tiga. Kemudian dipanaskan sampai temperatur 90°C. Selanjutnya memasukkan katalis Zr^{4+}/ZA sebanyak 0,5 g dan direaksikan selama 60 menit (Comelli, *et al.*; 2005). Melakukan pengambilan sampel setelah katalis ditam-

bahkan pada waktu reaksi 60, 90, 120, 150 dan 180 menit. Produk dipisahkan dengan disentrifugasi selama 15 menit. Langkah selanjutnya adalah mengulangi tahapan reaksi yang sama untuk variasi temperatur 120 dan 150°C. Jenis isomer yang diperoleh dianalisis menggunakan GC-MS.

Hasil dan Pembahasan

Modifikasi zeolit alam melalui dealuminasi dan impregnasi dilakukan dengan pencucian dengan HF 1% selama 30 menit. Proses pencucian dengan HF 1% bertujuan untuk melarutkan oksida-oksida pengotor termasuk silika dan alumina bebas. Dealuminasi zeolit alam dilakukan dengan menambahkan HCl 2M ke dalam zeolit alam kering. Perendaman dengan HCl dapat melarutkan pengotor baik organik maupun anorganik yang bersifat menutupi pori, sehingga pori-pori zeolit menjadi terbuka dan permukaannya semakin luas (Lestari; 2010). Selanjutnya perendaman menggunakan larutan NH_4Cl yang bertujuan untuk mengganti kation-kation penyeimbang dalam zeolit seperti K^+ , Na^+ dan Ca^{2+} dengan NH_4^+ . Garam NH_4Cl digunakan sebagai penukar kation karena NH_4Cl mudah mengalami ionisasi menjadi NH_4^+ dan bertukar dengan Na^+ dan Ca^{2+} membentuk NH_4/ZA .

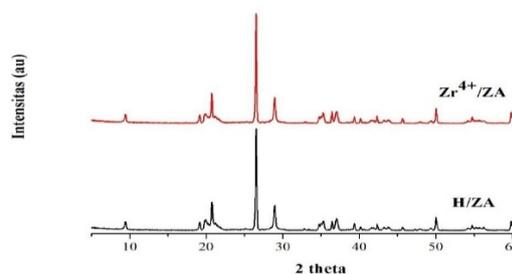
Impregnasi dilakukan melalui perendaman zeolit alam dalam larutan ZrCl_4 sambil diaduk dan dipanaskan pada temperatur 90°C. Proses ini bertujuan untuk menempelkan sisi aktif berupa ion logam Zr^{4+} ke dalam struktur pori dari padatan zeolit. Selanjutnya dilakukan kalsinasi pada suhu 400°C selama 4 jam untuk menghilangkan air maupun pengotor organik yang mungkin mengkontaminasi saat proses impregnasi. Analisis kandungan logam zeolit alam termodifikasi dilakukan menggunakan XRF untuk mengetahui jumlah ion logam zirkonium yang telah berhasil diimbangkan ke dalam pori-pori zeolit alam sebagai pendukung katalis. Hasil analisis komposisi kimia H/ZA dan Zr^{4+}/ZA disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data XRF katalis H/ZA dan Zr^{4+}/ZA

Jenis logam	Kadar logam (%)	
	H/ZA	Zr^{4+}/ZA
Al	10,00	9,50
Si	47,30	41,60
K	0,95	0,79
Ti	5,64	4,86
Cr	0,71	0,60
Mn	0,10	0,08
Ni	2,87	2,55
Cu	0,41	0,38
Zr	0	11,00

Zeolit modifikasi sebagian mengalami pengurangan konsentrasi, seperti yang terjadi pada kalium dan Cr krom. Hal ini dimungkinkan kation tersebut telah digantikan oleh amonium ketika proses aktivasi zeolit alam dan zirkonium mengisi logam pada zeolit (Rianto, *et al.*; 2012). Hasil analisis jumlah ion logam teremban dengan XRF menunjukkan bahwa zeolit alam teraktivasi tidak mengandung ion logam Zr^{4+} , sedangkan pada sampel Zr^{4+}/ZA mengandung ion logam Zr^{4+} sebanyak 11%. Proses modifikasi katalis diikuti dengan proses kalsinasi pada suhu 400°C selama 4 jam untuk menghasilkan Zr^{4+}/ZA .

Karakterisasi kristalinitas zeolit termodifikasi dilakukan menggunakan XRD. Penentuan kristalinitas zeolit alam dilakukan secara kualitatif. Difraktogram zeolit hasil uji menggunakan XRD dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan difraktogram H/ZA dan Zr^{4+}/ZA

Pola difraktogram dari H/ZA dan Zr^{4+}/ZA terlihat hampir sama, yang menunjukkan tidak terjadinya perubahan struktur padatan secara signifikan setelah dilakukan pengembangan logam. Puncak pada difraktogram Zr^{4+}/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 $2\theta=20,76$ ($d=4,27$ Å), pada $2\theta=28,97$ ($d=3,07$ Å), dan pada $2\theta=50,03$ ($d=1,82$ Å). Sedangkan berdasarkan hasil difraktogram XRD diketahui logam Zr telah berhasil terdistribusi dalam zeolit alam, yang ditandai dengan adanya puncak pada $2\theta=35,07$ ($d=2,55$ Å), pada $2\theta=50,03$ ($d=1,82$ Å), dan pada $2\theta=50,18$ ($d=1,81$ Å).

Hasil pengukuran luas permukaan, volume total pori dan rata-rata jejari pori menggunakan metode BET disajikan pada Tabel 2. Tabel 2. menunjukkan adanya kenaikan luas permukaan spesifik dan volume total pori katalis setelah pengembangan dengan logam Zr. Kenaikan luas permukaan spesifik dan volume total pori

diperkirakan karena masuknya logam Zr pada permukaan zeolit alam sehingga membentuk pori baru.

Tabel 2. Hasil pengukuran luas permukaan spesifik, rerata jejari pori, dan volume total pori katalis

Jenis katalis	Luas permukaan spesifik (m^2/g)	Rerata jejari pori (\AA)	Volume pori (cc/g)
H/ZA	3,010	157,7	$2,37 \times 10^{-2}$
Zr ⁴⁺ /ZA	3,100	163,8	$2,54 \times 10^{-2}$

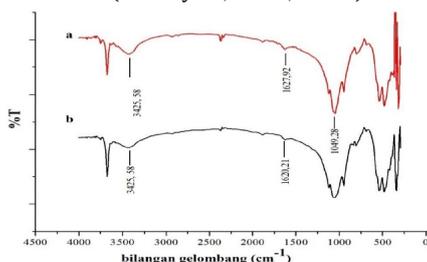
Pada penelitian ini didapatkan diameter pori-pori zeolit yang meningkat setelah terimpregnasi logam. Siddiqui, *et al.* (2011) menyatakan bahwa pengaruh penambahan logam pada zeolit juga dapat dilihat dari rata-rata diameter pori yang juga meningkat. Rata-rata diameter pori pada katalis mengindikasikan adanya pori-pori ukuran mikropori dan mesopori yang baik digunakan untuk pembentukan hidrokarbon rantai pendek.

Uji keasaman pada penelitian ini dilakukan dengan cara adsorpsi gas amonia dan piridin, kemudian dihitung jumlah mmol masing-masing gas yang teradsorpsi. Hasil pengukuran keasaman katalis menggunakan metode gravimetri dengan amoniak dan piridin sebagai basa adsorbatnya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data hasil penentuan jumlah situs asam katalis

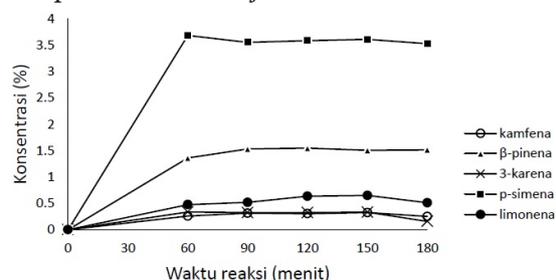
Katalis	Keasaman (mmol/gram)	
	Total (amonia)	Permukaan (piridin)
H/ZA	2,76	0,10
Zr ⁴⁺ /ZA	6,64	0,14

Keasaman katalis diuji dengan adsorpsi gas amonia dan piridin untuk mengetahui keasaman dalam rongga zeolit. Mengingat ukuran molekul amonia lebih kecil daripada piridin, maka gas amonia dapat teradsorpsi pada permukaan luar dan dalam zeolit sedangkan piridin akan terserap pada permukaan luar zeolit. Secara kualitatif kekuatan situs asam (keasaman) dapat ditentukan adanya proton yang berikatan dengan piridin, yaitu terbentuknya ion piridinium yang membuktikan bersifat asam Bronsted (Badriyah, *et al.*; 2012).



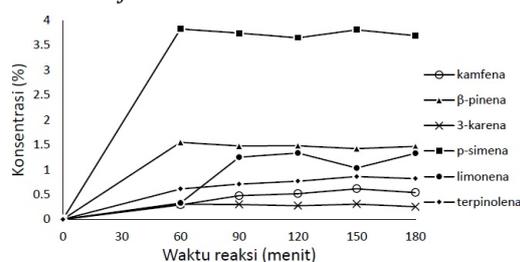
Gambar 2. Spektra IR untuk katalis (a) Zr⁴⁺/ZA (b) H/ZA

Berdasarkan Gambar 2. terlihat adanya perbedaan spektra pada katalis H/ZA dan Zr⁴⁺/ZA dengan kenaikan serapan. Bertambahnya situs asam dimungkinkan karena terembannya logam pada zeolit. Data pada Tabel 3. menunjukkan adanya pengembangan logam Zr dimungkinkan menyebabkan kenaikan keasaman katalis karena logam Zr memiliki orbital *d* yang belum terisi penuh sehingga efektif menerima pasangan elektron dari basa adsorbat. Sumbangan jumlah situs asam dari logam Zr ini merupakan situs asam Lewis (Comelli, *et al.*; 2006). Adanya jumlah situs aktif besar, maka daya adsorpsi terhadap reaktan juga semakin besar. Senyawa yang terdapat pada hasil reaksi isomerisasi α -pinena dengan katalis Zr⁴⁺/ZA dengan masing-masing waktu reaksi dianalisis dengan kromatografi gas. Pengaruh waktu reaksi terhadap hasil isomerisasi α -pinena pada temperatur 90°C disajikan dalam Gambar 3.



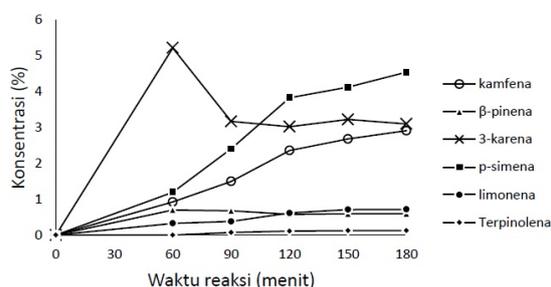
Gambar 3. Pengaruh waktu reaksi terhadap kadar produk isomerisasi α -pinena

Konversi senyawa α -pinena tertinggi terjadi pada waktu reaksi 180 menit sebesar 1,50% dan kadar α -pinena 92,79%. Reaksi isomerisasi α -pinena temperatur 90°C menghasilkan senyawa isomer berupa kamfena, β -pinena, 3-karena, *p*-simena dan limonena. Pada temperatur reaksi 120°C, senyawa isomer yang dihasilkan berupa kamfena, β -pinena, 3-karena, *p*-simena, limonena dan terpinolena. Konversi senyawa α -pinena tertinggi terjadi pada waktu reaksi 180 menit sebesar 2,40 dengan kadar α -pinena 91,89%. Pengaruh waktu reaksi terhadap hasil reaksi isomerisasi α -pinena pada temperatur 120°C disajikan dalam Gambar 4.



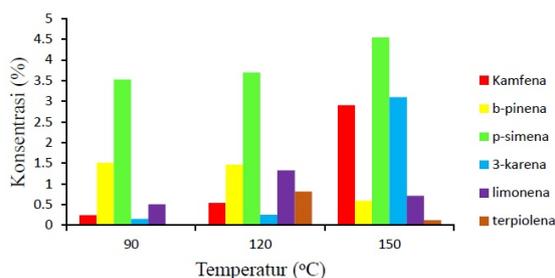
Gambar 4. Pengaruh waktu reaksi terhadap kadar produk isomerisasi α -pinena temperatur 120°C

Comelli *et al.* (2005) melakukan reaksi isomerisasi α -pinena dengan katalis zirkonium sulfat pada temperatur reaksi 90 dan 120°C, diperoleh produk senyawa isomer diantaranya kamfena, *p*-simena, limonena dan terpinolena dengan konsentrasi terbesar pada waktu reaksi 180 menit. Pada temperatur 150°C, senyawa isomer yang dihasilkan berupa kamfena, β -pinena, 3-karena, *p*-simena, limonena dan terpinolena. Konversi senyawa α -pinena tertinggi terjadi pada waktu reaksi 180 menit sebesar 9,24% dengan kadar α -pinena 85,50%. Pengaruh waktu reaksi terhadap hasil reaksi isomerisasi α -pinena pada temperatur 150°C disajikan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh waktu reaksi terhadap kadar produk isomerisasi α -pinena temperatur 150°C

Berdasarkan Gambar 6, dapat diketahui bahwa semakin tinggi temperatur reaksi, secara umum produk-produk isomer akan meningkat konsentrasinya antara lain: kamfena, *p*-simena dan 3-karena. Beberapa produk yang lain, optimal pada temperatur tertentu (120°C) yaitu limonena dan terpinolena. Diantara produk isomer yang berhasil diteliti, terdapat satu produk isomer yang sensitif terhadap kenaikan temperatur yaitu β -pinena.



Gambar 6. Pengaruh temperatur terhadap konsentrasi produk isomer

Berdasarkan analisis data senyawa hasil isomerisasi α -pinena, seiring bertambahnya temperatur reaksi maka bertambah pula persen konversi α -pinena. Pada kondisi temperatur 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 (Santi; 2013). Hasil reaksi isomerisasi α -pinena pada masing-masing variasi temperatur menghasilkan kenaikan kadar produk dengan kenaikan waktu reaksi. Masih terdapat produk yang mengalami kenaikan kadar kemudian menurun pada waktu reaksi tertentu. Senyawa yang mengalami kenaikan jumlah kadar dan kemudian menurun dimungkinkan karena pada jalannya reaksi terbentuk senyawa lain yang bukan isomer α -pinena (Comelli, *et al.*; 2005).

Konversi terbesar yang tercapai pada penelitian ini adalah 9,24%, hasil ini kurang maksimal disebabkan oleh perlakuan awal terhadap katalis menghasilkan luas area yang rendah. Berdasarkan hasil karakterisasi katalis, Zr^{4+}/ZA memiliki luas permukaan dan keasaman permukaan yang relatif kecil. Dengan luas permukaan dan keasaman katalis yang kecil, hanya sedikit situs aktif yang terbentuk menyebabkan kontak yang terjadi antara umpan dan katalis sedikit, sehingga produk yang dihasilkan juga sedikit. Kalsinasi katalis pada temperatur 400°C diduga kurang maksimal untuk meningkatkan sifat permukaan katalis, sehingga keberadaan ion logam Zr^{4+} terimpreg pada zeolit alam belum terikat secara kimia. Hal ini menyebabkan kurang maksimalnya kinerja katalis untuk menghasilkan produk isomer, sehingga konversi senyawa yang didapatkan pada penelitian ini relatif kecil. Secara umum produk isomer yang dihasilkan memiliki konsentrasi relatif kecil, sehingga efektifitas katalis yang digunakan terlihat kurang maksimal. Tetapi telah dapat dibuktikan bahwa katalis Zr^{4+}/ZA dapat mentransformasi α -pinena menjadi senyawa isomernya walaupun akurasinya masih sangat rendah.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh waktu dan temperatur pada reaksi isomerisasi α -pinena menggunakan katalis Zr^{4+}/ZA disimpulkan bahwa temperatur berpengaruh terhadap peningkatan konsentrasi senyawa isomer yang dihasilkan. Sedangkan waktu reaksi berpengaruh terhadap konversi α -pinena menjadi senyawa isomernya yang ditunjukkan dengan meningkatnya konsentrasi produk isomer. Adapun temperatur dan waktu reaksi yang paling baik dalam penelitian ini adalah 150°C dan 180 menit dengan senyawa hasil isomer berupa kamfena, β -pinena, 3-karena, *p*-simena, limonena dan terpinolena.

Daftar Pustaka

- Badriyah, L., S. Kadarwati, Harjito. 2012. Pengaruh Temperatur pada Reaksi Hidrodenitrogenasi Piridin dengan Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam. *Indonesian Journal Chemical Science*, 1(1): 61-67
- Comelli, N.A., E.N. Ponzi, M.I. Ponzi. 2005. Isomerization of α -Pinene, Limonene, α -Terpinene, and Terpinolene on Sulfated Zirconia. *JAACS*, 82: 531-535
- Comelli, N.A., E.N. Ponzi, M.I. Ponzi. 2006. α -Pinene Isomerization to Camphene Effect of Thermal Treatment on Sulfated Zirconia. *Chemical Engineering Journal*, 117 (2): 93-99
- Lestari, Y.D. 2010. *Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara*. Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia UNY
- Masruri, B. Purwono, dan M. Muchalal. 2014. *α -Pinene in Acidic Conditions: Products Determination and the Reaction Kinetics*. Proceeding of The 4th Annual Basic Science International Conference (BaSIC) 2014, February 12-13rd. Batu, Indonesia
- Muthiah, S. 2014. *Aktivitas dan Selektivitas Katalis Zr^{4+} -Zeolit Beta pada Reaksi Asetilasi 2-Metoksinaftalena dengan Anhidrida Asam Asetat*. Skripsi. FMIPA Universitas Negeri Semarang. Semarang
- Rianto, L.B., S. Amalia, S.N. Khalifah. 2012. Pengaruh Impregnasi Logam Titanium pada Zeolit Alam Malang terhadap Luas Permukaan Zeolit. *Alchemy*, 2(1): 58-67
- 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
- Severino, A., Esculcas, A., Rocha, J., Vital, J., Lobo, L., 1996. Effect of Extra-Lattice Aluminium Species on the Activity, Selectivity and Stability of Acid Zeolites in the Liquid Phase Isomerisation of α -Pinene. *Applied Catalysis A General*, 142(2): 255-278
- Siddiqui, M.A.B., A.M. Aitani, M.R. Saeed, N. Al-Yassir, S. Al-Khattaf. 2011. Enhancing Propylene Production from Catalytic Cracking of Arabian Light VGO over Novel Zeolites as FCC Catalyst Additives. *Journal Fuel Elsevier*
- Wiyono, B., S. Tachibana, dan D. Tinambuan. 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