



## PERANAN KATALIS $\text{Fe}^{3+}$ -ZEOLIT BETA PADA REAKSI SIKLISASI-ASETILASI SITRONELAL MENJADI ISOPULEGIL ASETAT

Indri Saputri\*), Edy Cahyono dan Ersanghono Kusumo

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

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

### Info Artikel

Sejarah Artikel:  
Diterima Agustus 2012  
Disetujui September 2012  
Dipublikasikan November 2012

Kata kunci:  
Siklisasi-asetilasi  
sitronelal  
 $\text{Fe}^{3+}$ -zeolit beta

### Abstrak

Studi tentang aktivitas dan selektivitas katalis  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolit beta pada reaksi siklisasi-asetilasi sitronelal menjadi isopulegil asetat telah dipelajari. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui aktivitas dan selektivitas katalis  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolit beta terhadap reaksi siklisasi-asetilasi sitronelal menjadi isopulegil asetat. Katalis yang digunakan adalah  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolit beta yang dipreparasi dengan metode yang meliputi aktivasi H-zeolit beta, pertukaran ion dengan  $\text{FeCl}_3$  0,1 M, dan kalsinasi. Karakterisasi katalis meliputi kristalinitas katalis dengan *X Ray Diffraction* (XRD) dan porositas katalis dengan *Surface Area Analyzer* (SAA). Sitronelal adalah salah satu senyawa monoterpena yang dapat mengalami reaksi siklisasi-asetilasi dengan katalis homogen dan heterogen. Reaksi siklisasi-asetilasi sitronelal dengan katalis  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolit beta menjadi isopulegil asetat menggunakan anhidrida asam asetat di refluks selama 9 jam pada suhu 29°C dan 80°C yang diambil cuplikannya pada waktu 3, 6, dan 9 jam. Produk yang dihasilkan dianalisis menggunakan *Gas Chromatography* (GC) dan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS). Hasil analisis GC menunjukkan aktivitas dan selektivitas katalis terbesar dihasilkan oleh  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolit beta pada temperatur 80°C waktu 9 jam dengan menghasilkan aktivitas dan selektivitas sebesar 38,58% dan 8,64% sedangkan analisis GC-MS menunjukkan bahwa terbentuk produk isopulegil asetat.

### Abstract

The study of catalytic activity and selectivity of  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolite beta in the cyclization-acetylation reaction of citronellal into isopulegil acetate have been studied. The purpose of this study was to determine the activity and selectivity of  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolite beta cyclization-acetylation reaction of citronellal catalysis to isopulegil acetate. The catalyst used is  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolite beta are prepared by methods that include the activation of H-zeolite beta, ion exchange with  $\text{FeCl}_3$  0,1 M, and calcination. Characterization of catalysts include crystallinity of the catalysts with X Ray Diffraction (XRD) and porosity of the catalyst with Surface Area Analyzer (SAA). Citronellal is one monoterpena compounds that can undergo cyclization-acetylation reaction with homogeneous and heterogeneous catalysts. Cyclization-acetylation reaction of citronellal with  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolite beta catalyst to isopulegil acetate using acetic acid anhydride at reflux for 9 hours at temperature of 29°C and 80°C, was taken at 3, 6, and 9 hours. The resulting products were analyzed using Gas Chromatography (GC) and Gas Chromatography - Mass Spectroscopy (GC-MS). The results of GC analysis showed the greatest activity and selectivity of the catalyst produced by  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolite beta at temperatures of 80°C time of 9 hours with the percentage of 38.58% and 8.64%, while GC-MS analysis showed that the product formed isopulegil acetate.

© 2012 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:  
E-mail: a115\_indri\_smantid@yahoo.co.id

ISSN NO 2252-6951

## Pendahuluan

Minyak sereh wangi adalah salah satu minyak atsiri komersial Indonesia yang diperoleh melalui proses penyulingan. Menurut Dewan Atsiri Indonesia dan IPB (2009), Indonesia adalah produsen minyak sereh wangi nomor tiga terbesar di dunia setelah Cina dan Vietnam. Minyak sereh mengandung 3 komponen utama yaitu sitronelal, sitronelol, dan geraniol (Sastrohamidjojo, 2002). Sitronelal adalah minyak atsiri dengan nilai ekonomis yang tinggi dan penting dalam dunia industri. Sumber utama minyak tersebut adalah minyak sereh.

Minyak sereh merupakan komoditi disektor agribisnis yang memiliki pasaran bagus dan berdaya saing kuat dipasaran luar negeri. Tetapi tanaman sereh ini masih banyak yang belum diolah lebih lanjut untuk menaikkan nilai ekonominya. Di Indonesia sereh wangi hanya berada di daerah Jawa barat dan di Bandungan Jawa Tengah yang mengandung 85-97 % total alkohol, dihitung sebagai geraniol dan 34-45% total aldehida, dihitung sebagai sitronelal. Di dalam perdagangan dikenal juga "*Rhodinol*" yang merupakan campuran sitronelol dan geraniol.

Dalam industri parfum, komponen minyak sereh yang banyak digunakan adalah sitronelol dan geraniol, sedangkan sitronelal tidak digunakan secara langsung (priatmoko & sastrohamidjojo, 1991), oleh karena itu sitronelal dapat dimanfaatkan dengan cara diolah lebih lanjut agar menjadi bahan yang bermanfaat dan dapat digunakan. Isopulegил asetat adalah senyawa fragrans dan perisa yang dapat disintesis melalui satu tahap yaitu siklisasi-asetilasi sitronelal menjadi isopulegил asetat atau dua tahap yang meliputi reaksi siklisasi sitronelal menjadi isopulegил dan asetilasi isopulegил menjadi isopulegил asetat (Cahyono dkk, 2010). Reaksi siklisasi-asetilasi sitronelal menjadi isopulegил asetat menarik untuk dipelajari karena isopulegил asetat dapat digunakan sebagai senyawa antara pembuatan mentol yang banyak dimanfaatkan dalam komponen parfum dan obat-obatan (Sabini, 2006). Sehingga banyak dilakukan siklisasi sitronelal menjadi turunannya seperti isopulegил (Fatimah dkk, 2008) maupun siklisasi-asetilasi sitronelal menjadi isopulegил asetat (Cahyono dkk, 2010).

Penggunaan katalis heterogen bisa menjadi suatu alternatif yang sangat menarik dalam industri kimia karena kemudahan dalam

pemisahan dan katalis ini dapat digunakan kembali. Selain itu, harga katalis heterogen pada umumnya lebih rendah daripada katalis homogen. Secara lingkungan, penggunaan katalis heterogen juga lebih ramah lingkungan daripada katalis homogen (Triono, 2002).

Dalam penelitian ini akan dipreparasi katalis dari ion logam  $Fe^{3+}$  yang diimbangkan pada zeolit beta. Zeolit beta tersebut diharapkan dapat digunakan sebagai pengemban karena memiliki stabilitas pemanasan yang tinggi, porositas yang baik dan luas permukaan yang besar (Ningrum, 2009). Selain itu ion logam  $Fe^{3+}$  dipilih sebagai bahan aktif katalis karena berkaitan dengan belum penuhnya elektron pada orbital d sehingga dapat mempromosikan reaksi katalisis.

Menurut Arvella 2004 dalam Cahyono dkk 2010, hasil sintesis menggunakan zeolit beta lebih selektif dibandingkan dengan menggunakan zeolit lain berdasarkan urutan H-Beta-11 > H-MCM-41 > H-ZSM-5 >  $SiO_2$ . Sedangkan ion logam  $Fe^{3+}$  yang diimbangkan pada zeolit beta untuk menambah selektifitas katalis berdasarkan urutan logam  $Zr^{4+}$  >  $Fe^{3+}$  >  $Al^{3+}$  >  $Ce^{3+}$  >  $Zn^{2+}$  >  $H^+$  >  $Na^+$  yang diimbangkan pada monmorilonit (Tateiwa dkk, 1997). Selain itu,  $Fe^{3+}$  tidak terlalu bahaya dan memiliki harga yang relatif lebih murah dibandingkan  $Zr^{4+}$ . Sehingga pada penelitian ini dilakukan siklisasi-asetilasi sitronelal menggunakan katalis  $Fe^{3+}$ -Zeolit beta.

Tingginya kebutuhan turunan senyawa sitronelal dan geraniol tersebut mendorong para ilmuwan untuk mengembangkan metode sintesis yang bersifat selektif dari Sitronelal. Dalam penelitian ini akan dilakukan konversi sitronelal menjadi isopulegил asetat melalui isolasi minyak sereh dan siklisasi-asetilasi sitronelal menjadi isopulegил asetat.

## Metode Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sitronelal (E-Merck), Zeolit Beta (Tosoh Corporation),  $FeCl_3$  (E-Merck),  $AgNO_3$  (E-Merck), Anhidrida Asam Asetat (E-Merck).

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat refluks, hot plate dan magnetik stirer (Cimarec 2 Termolyne), Penyaring Buchner, Kertas Whatman, Pompa vakum, Kromatografi Gas (GC) (Hewlett Packard 5890 Series II), Kromatografi Gas-Spektrofotometer Massa (GC-MS) (Shimadzu QP 2010), Sentrifuge, X-Ray

*Diffraction* (XRD), dan *Surface Area Analyzer* (SAA).

Preparasi dan Karakterisasi Katalis Fe<sup>3+</sup>-Zeolit Beta dengan cara H-zeolit beta dipanaskan pada oven pada suhu 150°C selama 2 jam sehingga terbentuk H-zeolit beta aktif. Kemudian 5 gram H-zeolit beta aktif direndam dalam 25 mL FeCl<sub>3</sub> 0,1 M selama 24 jam dan diaduk dengan menggunakan stirer. Campuran disaring menggunakan penyaring Buchner dan dicuci dengan aquades. Setelah itu dideteksi dengan larutan AgNO<sub>3</sub> hingga bebas ion Cl<sup>-</sup>, dihasilkan Fe<sup>3+</sup>-zeolit beta yang dikeringkan pada suhu 120°C selama 3 jam dan dikalsinasi pada suhu 400°C selama 3 jam. Kemudian dilakukan uji karakterisasi katalis yang meliputi uji kristalinitas dengan XRD dan uji porositas digunakan SAA.

Reaksi siklisasi-asetilasi sitronelal dilakukan dengan merefluks 7,1 mL sitronelal, 7,0 mL anhidrida asam asetat dan 1 gram katalis dalam labu alas bulat dengan pengadukan pada suhu 29°C dan 80°C. Selama reaksi berlangsung diambil sampel masing-masing sebanyak 1 mL pada jam ke 3; 6; 9 kemudian masing-masing sampel ditambah 1 mL n-Heksan dan air hingga volume menjadi 10 mL dan dipisahkan dengan *centrifuge*. Isopulegik asetat hasil siklisasi dianalisis dengan GC dan GC-MS.

### Hasil dan Pembahasan

Preparasi katalis dilakukan untuk meningkatkan selektivitas dan aktivitas katalis terhadap reaktan sehingga diperoleh produk dengan rendemen tinggi. Salah satu preparasi katalis yang dilakukan adalah dengan memodifikasi katalis H-zeolit beta menjadi Fe<sup>3+</sup>-zeolit beta. Untuk mengetahui keberhasilan proses pengembangan katalis dapat dilihat dari analisis sifat-sifat permukaan katalis menggunakan SAA dan kristalinitas katalis menggunakan XRD.

Menurut teori BET (Bruner, Emmert, and Teller), banyaknya gas yang teradsorpsi pada permukaan padatan berbanding langsung dengan luas permukaan, sehingga semakin besar gas nitrogen yang teradsorpsi di permukaan maka luas permukaan semakin besar. Hasil analisis sifat-sifat permukaan katalis menggunakan SAA dapat dilihat pada Tabel 1.

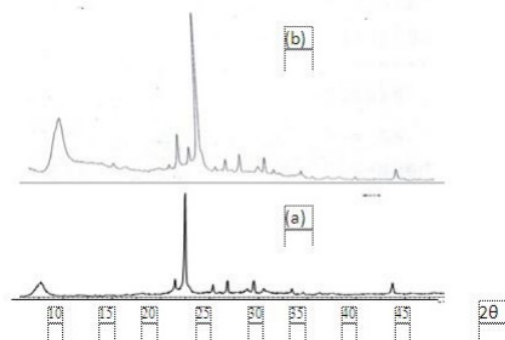
Berdasarkan uji porositas dapat dilihat terjadi peningkatan luas permukaan spesifik yang cukup besar dari 0,452 m<sup>2</sup>/g pada H-zeolit beta menjadi 12,939 m<sup>2</sup>/g pada Fe<sup>3+</sup>-zeolit beta

(Tabel 1). Peningkatan tersebut disebabkan karena terjadinya pembukaan pori zeolit beta yang awalnya masih tertutup oleh pengotor. Selama proses kalsinasi molekul-molekul pengotor seperti air dan gas yang terikat secara kimiawi pada permukaan H-zeolit beta lepas dan membentuk ruang kosong.

**Tabel 1.** Sifat-sifat permukaan katalis H-zeolit beta dan Fe<sup>3+</sup>-zeolit beta

Parameter	H-Zeolit Beta	Fe <sup>3+</sup> - Zeolit Beta
Luas muka spesifik (m <sup>2</sup> /g)	0.452	12.939
Volume total (cc/g)	0.015	0.046
Rerata jejari total (Å)	302.826	16.839

Hasil uji porositas juga menunjukkan luas permukaan spesifik H-zeolit beta meningkat setelah dilakukan pertukaran menggunakan ion logam Fe<sup>3+</sup> menjadi Fe<sup>3+</sup>-zeolit beta. Proses pertukaran ion mengakibatkan terjadinya pengembangan ruang antar lapisan zeolit beta dan terbentuk sistem pori yang baik membentuk luas permukaan semakin besar. Setelah pertukaran ion, dilakukan kalsinasi untuk menghilangkan pengotor organik dan air yang masih menempel pada permukaan dan terikat secara kimia pada kerangka Fe<sup>3+</sup>-zeolit beta sehingga meninggalkan ruang kosong. Hal ini menyebabkan pori pada permukaan Fe<sup>3+</sup>-zeolit beta semakin terbuka dan menyebabkan luas permukaan spesifik pada Fe<sup>3+</sup>-zeolit beta meningkat. Peningkatan luas permukaan juga menyebabkan volume total pori meningkat dari 0,015cc/g menjadi 0,046 cc/g. Hasil analisis juga menunjukkan adanya penurunan rerata jejari pori total karena terbukanya pori berukuran kurang dari 50 nm yaitu dari rerata jejari pori awal 302,826 Å menjadi 16,839 Å. Kristalinitas katalis dapat diketahui dari hasil analisis menggunakan XRD yang ditunjukkan pada Gambar 1.



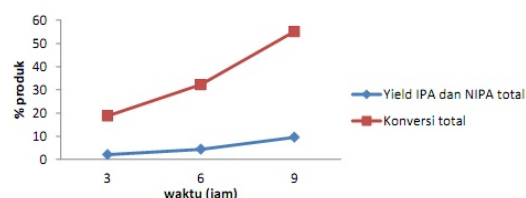
**Gambar 1.** Perbandingan difraktogram H-Zeolit Beta (a) dan Fe-Zeolit Beta (b)

Puncak tajam H-zeolit beta teramati pada  $2\theta=7,68^\circ$  ( $d=11,49\text{\AA}$ ),  $2\theta=21,46^\circ$  ( $d=4,14\text{\AA}$ ), dan  $2\theta=22,48^\circ$  ( $d=3,95\text{\AA}$ ) (dapat dilihat pada Tabel 4.2) yang merupakan puncak karakteristik dari zeolit beta sesuai dengan hasil JCPDS (*Joint Commite of Powder Diffraction Standart*). Pada katalis  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolit beta puncak khas ditunjukkan pada  $2\theta=7,12^\circ$  ( $d=12,41\text{\AA}$ ),  $2\theta=7,42^\circ$  ( $d=11,90\text{\AA}$ ),  $2\theta=7,98^\circ$  ( $d=11,07\text{\AA}$ ), dan terbentuk puncak baru pada  $2\theta=20,51^\circ$  ( $d=4,33$ ). Munculnya puncak khas tersebut pada difraktogram  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolit beta menunjukkan terjadinya penukaran ion oleh ion logam  $\text{Fe}^{3+}$  pada H-zeolit beta. Terlihat bahwa adanya penurunan intensitas pada beberapa puncak difraktogram  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolit beta dibandingkan dengan difraktogram H-zeolit beta. Namun, penurunan ini tidak mempengaruhi kristalinitas dari katalis secara signifikan karena puncak-puncak difraktogram  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolit beta masih runcing yang mengindikasikan bahwa material tersebut merupakan kristalin.

Siklisasi sitronelal dilakukan dengan menggunakan katalis  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolit beta pada temperatur  $29^\circ\text{C}$  dan  $80^\circ\text{C}$ . Reaksi siklisasi-asetilasi sitronelal menggunakan katalis  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolit beta menghasilkan produk isopulegil asetat (IPA), neo isopulegil asetat (NIPA), dan produk samping lainnya. Yield dari isopulegil asetat (IPA) dan neo isopulegil asetat (NIPA) yang terbentuk semakin meningkat dengan kenaikan waktu reaksi dan temperatur. Peningkatan produk IPA dan NIPA total dipengaruhi oleh kenaikan temperatur, hal ini dapat diketahui dari hasil reaksi pada temperatur  $80^\circ\text{C}$  menghasilkan produk yang lebih banyak dibandingkan dengan reaksi pada temperatur  $29^\circ\text{C}$ . Hasil terbaik diperoleh pada temperatur  $80^\circ\text{C}$  waktu 9 jam dengan hasil IPA dan NIPA total sebesar 9,54% sedangkan pada temperatur  $29^\circ\text{C}$  waktu 9 jam IPA dan NIPA total yang dihasilkan sebesar 3,39%. Reaksi pada temperatur  $29^\circ\text{C}$  berjalan sangat lambat sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi siklisasi-asetilasi sitronelal menjadi isopulegil asetat sulit berlangsung pada temperatur tersebut. Hubungan Yield IPA dan NIPA total (%) terhadap waktu reaksi pada reaksi siklisasi-asetilasi sitronelal menjadi isopulegil asetat semakin meningkat dapat dilihat pada Gambar 2.

Konversi produk total yang dihasilkan juga semakin meningkat pada temperatur tinggi dengan waktu reaksi yang semakin lama (Gambar 2). Konversi sitronelal menjadi

Produk terbaik pada temperatur  $80^\circ\text{C}$  waktu 9 jam sebesar 55,13% sedangkan pada temperatur  $29^\circ\text{C}$  waktu 9 jam konversi sitronelal menjadi produk sebesar 8,29%. Konversi total sitronelal menjadi produk masih kurang maksimal sehingga dimungkinkan perpanjangan waktu reaksi atau kenaikan temperatur dapat dilakukan agar semua reaktan sitronelal terkonversi menjadi produk.



**Gambar 2.** Hubungan Yield IPA dan NIPA total (%) serta konversi total (%) reaksi siklisasi-asetilasi sitronelal menjadi isopulegil asetat pada temperatur  $80^\circ\text{C}$

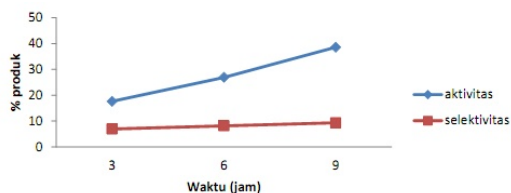
Siklisasi-asetilasi sitronelal menjadi isopulegil asetat membutuhkan katalis yang aktif dan selektif sehingga dapat diperoleh produk dengan rendemen tinggi dan sesuai dengan target yaitu isopulegil asetat. Pada reaksi siklisasi-asetilasi ini digunakan katalis  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolit beta yang menghasilkan produk dengan aktivitas dan selektivitas cukup tinggi.

Aktivitas reaksi siklisasi-asetilasi sitronelal menggunakan katalis  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolit beta meningkat dengan semakin bertambahnya waktu reaksi dan temperatur tinggi. Pada reaksi ini produk yang dihasilkan masih sangat rendah karena masih tersisa reaktan sitronelal yang cukup banyak sehingga dimungkinkan sitronelal masih dapat bereaksi dengan penambahan waktu lebih dari 9 jam. Hasil yang memberikan aktivitas pembentukan IPA dan NIPA total terbaik yaitu pada temperatur  $80^\circ\text{C}$  waktu 9 jam sebesar 38,58% sedangkan pada temperatur  $29^\circ\text{C}$  waktu 9 jam sebesar 8,64%. Kecilnya aktivitas ini dapat dilihat dari masih terdapat banyak sisa sitronelal pada analisis menggunakan GC pada waktu reaksi 9 jam sebesar 39,4%. Hubungan aktivitas dan selektivitas (%) terhadap waktu reaksi pada reaksi siklisasi-asetilasi sitronelal menjadi isopulegil asetat semakin meningkat dapat dilihat pada Gambar 3.

Selain itu, dapat ditunjukkan pada Gambar 3. bahwa selektivitas reaksi siklisasi-asetilasi sitronelal menggunakan katalis  $\text{Fe}^{3+}$ -zeolit beta meningkat dengan semakin lama waktu reaksi. Pada reaksi ini selektivitas yang dihasilkan masih cukup rendah karena masih banyak

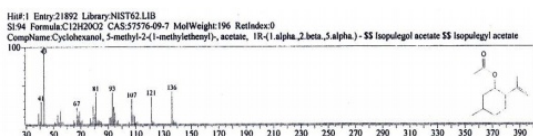


produk samping yang juga ikut terbentuk menjadi produk hasil konversi sitronelal sehingga perlu digunakan katalis yang lebih selektif agar produk yang dihasilkan merupakan isopulegил asetat.



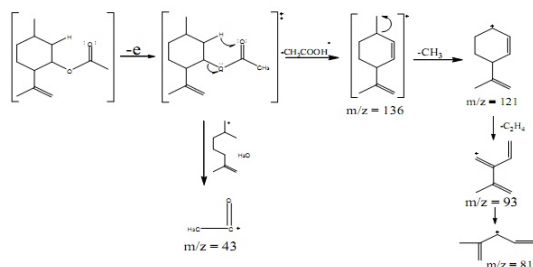
**Gambar 3.** Hubungan aktivitas dan selektivitas (%) terhadap waktu reaksi siklisasi-asetilasi sitronelal menjadi isopulegил asetat pada temperatur 80°C

Hasil analisis menggunakan GC-MS dapat diketahui terbentuk produk isopulegил asetat dan neo isopulegил asetat pada waktu retensi 12.383 dan 12.518. Untuk mengetahui terbentuknya produk isopulegил asetat dapat dilihat dari hasil analisis menggunakan GC-MS pada waktu retensi 12.383 terbentuk fragmentasi 136, 121, 107, 93, 81, 67, 43, 41 yang menunjukkan fragmentasi isopulegил asetat. Fragmentasi pada waktu retensi 12.383 tersebut dapat menunjukkan bahwa reaksi siklisasi-asetilasi sitronelal menjadi isopulegил asetat menghasilkan produk isopulegил asetat walaupun dengan rendemen yang masih rendah dan masih terdapat banyak sisa reaktan sitronelal. Spektra massa isopulegил asetat ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Spektra massa isopulegил asetat

Berdasarkan data spektra massa dapat diperkirakan fragmentasi isopulegил asetat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Fragmentasi isopulegил asetat

Isopulegил asetat mempunyai massa molekul  $m/z=196$ . Spektrum massa yang diperoleh tidak terdeteksi oleh spektrometer massa, tetapi diperkirakan ion molekul yang

terdeteksi adalah fragmen berikutnya yaitu pada  $m/z=136$ . Dalam spektrometer massa, reaksi pertama suatu molekul adalah ionisasi awal (pengambilan sebuah elektron). Hilangnya sebuah elektron menghasilkan ion molekul (Fessenden & Fessenden, 1996). Puncak pada  $m/z=136$  terjadi karena adanya pelepasan asetat. Dengan lepasnya radikal metil dari  $m/z=136$ , maka muncul puncak pada  $m/z=121$ . Puncak pada  $m/z=93$  muncul dengan lepasnya molekul  $C_2H_4$ . Puncak pada  $m/z=81$  muncul karena lepasnya  $CH_2$ . Sedangkan puncak pada  $m/z=43$  terbentuk karena lepasnya isopulegил sehingga terbentuk ion asetilium.

### Simpulan

Simpulan yang diperoleh dari hasil penelitian tersebut adalah didapatkan padatan katalis  $Fe^{3+}$ -zeolit beta memiliki luas permukaan spesifik 12,939  $m^2/gram$ , rerata jejari pori 16,84 Å, dan berdasarkan hasil XRD pertukaran ion logam  $Fe^{3+}$  tidak merusak kristalinitas zeolit beta. Presentase produk isopulegил asetat paling besar pada temperatur 80°C dan waktu 9 jam sebesar 5,13%.

### Daftar Pustaka

- Cahyono, E., M. Muchalal., Triyono & Harno, D.P. 2010. Kinetic Study Cyclisation-Asetilation of (R)-(+)-Citronellal by Modified Natural Zeolite as Solid Solvent. *Indonesian Journal of Chemistry*, vol 10:194-198.
- Dewan Atsiri Indonesia dan IPB. 2009. *Minyak Atsiri Indonesia*. <http://www.Minyak/Atsiri/Indonesia.html>. [13 November 2011].
- Fatimah, Is., Dwiwarso R. & Torikul H. 2008. Peranan Katalis  $TiO_2/SiO_2$ -Mormorillonit pada reaksi konversi sitronellal menjadi isopulegил. *Reaktor*. vol.12 No. 2. Hal: 83-89.
- Fessenden, R. J. & Fessenden, J. S. 1996. *Kimia Organik. Edisi Ketiga. Jilid 2*. Diterjemahkan oleh A.H. Pudjaatmaka. 1992. Jakarta: Erlangga.
- Ningrum, N. S. 2009. Pengkajian Pengaruh Penambahan Nikel dan Krom Pada Katalis Berbasis Besi Untuk Pencairan Batubara. Vol 5. No 3. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*. Bandung.
- Priatmoko, H. Sastrohamidjojo. 1991. *Sintesis Mentol dari Sitronelal Hasil Isolasi Minyak Sereh*. Jogjakarta. FMIPA UGM.
- Sabini, D. 2006. *Aplikasi Minyak Atsiri pada Produk Home Care dan Personal Care, Konverensi Nasional Minyak Atsiri 2006*. Solo.
- Sastrohamidjojo, H. 2002. *Kimia Minyak Atsiri*.

- Yogyakarta: FMIPA UGM.
- Tateiwa, J., Kimura, A., Takasuka, M., & Uemura, A. 1997. Metal Cation-Exchanged Montmorillonite (Mn+-Mont)-Catalysed Carbonyl-ene Reactions. *Journal Chemistry. Soc; Perkin Trans. 1*: 2169-2174.
- Triyono. 2002. *Kimia Katalis*. Yogyakarta: FMIPA UGM.