

SINTESIS ZSM-5 DARI ZEOLIT ALAM LAMPUNG (ZAL) DAN BAGASSE FLY ASH (BFA) DENGAN MENGGUNAKAN *TEMPLATE* ETHYLAMINE (PENENTUAN RASIO MOL $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ TERBAIK)

Eti Purwaningsih¹, Simparmin Br Ginting¹, Muhammad Hanif¹, Devi Purnama Sari¹

¹Teknik Kimia Universitas Lampung
Email: eti.purwaningsih20@gmail.com

Diterima 28 November 2016, direvisi 1 Januari 2017, diterbitkan 28 Mei 2017

Abstrak

Telah dilakukan penelitian sintesis ZSM-5 dari bahan baku ZAL (Zeolit Alam Lampung) dan BFA (*Bagasse Fly Ash*) sebagai sumber silika dan alumina menggunakan template ETA (*ethylamine*) sebagai *Structure Directing Agent*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ terbaik yang menghasilkan kristal ZSM-5 tertinggi. Sintesis ZSM-5 dilakukan di dalam *autoclave* pada suhu 175°C tekanan *autogenous* selama 26 jam tanpa pengadukan. Komposisi molar *gel* sintesis yaitu $\text{SiO}_2 : x \text{Al}_2\text{O}_3 : 0,09 \text{Na}_2\text{O} : 42 \text{H}_2\text{O} : 0,2 \text{ETA}$. Rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang diteliti yaitu 88, 93, 98 mol/mol. Produk sintesis dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa kristal yang terbentuk. Dari hasil karakterisasi dengan XRD untuk semua variasi rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ tidak diperoleh kristal ZSM-5 sebagai produk utama, namun produk yang terbentuk berupa kristal *silicon oxide* (*Quartz*). Dari data XRD dengan menggunakan metode *Based Amorf* diperoleh kecenderungan semakin meningkat rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ maka persen kristalinitas juga semakin meningkat. Persen kristalinitas tertinggi adalah sebesar 28,93% pada rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 98 mol/mol.

Kata kunci: BFA (*BagasseFlyAsh*), Zeolit ZAL, ZSM-5, *Ethylamine* (ETA)

Abstract

The research had been conduct about ZSM-5 from Lampung Natural Zeolite (ZAL) and Bagasse Fly Ash (BFA) as silica and alumina source by using ETA template, as structure directing agent. The purpose of this research was to gain best mol ratio of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Synthesis ZSM-5 was conduct in an autoclave at 175°C with autogenous p ressure for 26 hours with no stirring. Molar composition of gel from sample is $\text{SiO}_2: x \text{Al}_2\text{O}_3 : 0,09 \text{Na}_2\text{O} : 42 \text{H}_2\text{O} : 0,2 \text{ETA}$. Molar ratio of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ which observed are 88, 93, 98 mol/mol. The product then analyzed by X-Ray Diffraction. Analysis result which obtained from each mol ratio of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ didn't obtain ZSM-5 crystal as its product. But the product formed was silicon oxide (quartz) crystal. Based on based amorf calculation it was gained preference that the higher mol ratio of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ so the higher percent of crystallinity. The highest crystallinity was 28,93% at mol ratio of 98 mol/mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$.

Keywords: BFA (*BagasseFlyAsh*), ZAL Zeolite, ZSM-5, *Ethylamine* (ETA)

PENDAHULUAN

Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah. Unit pembangun utama yang membangun struktur mineral zeolit adalah SiO_2 dan Al_2O_3 yang membentuk tetrahedral, dimana setiap atom oksigen berada pada keempat sudutnya. Atom oksigen yang terdapat dalam struktur zeolit terbagi antar dua tetrahedral, sehingga membentuk suatu kerangka yang bersambung. Penggantian Si^{4+} dengan Al^{3+} dalam kerangka zeolit menyebabkan kerangka bermuatan negatif. Ini merupakan sisi aktif zeolit yang menyebabkan zeolit sebagai penukar ion, *adsorben*, maupun sebagai katalis (Ribeiro, 1984).

Penggunaan zeolit sebagai katalis kini sangat diminati oleh industri minyak bumi. Zeolit tersebut berfungsi sebagai perengkah konversi hidrokarbon. Salah satu jenis zeolit yang sering digunakan dalam perekahan hidrokarbon adalah ZSM-5 (*Zeolite Socony Mobile-5*). Namun selama ini masyarakat Indonesia selalu mengimpor bahan baku pembuatan ZSM-5 dari negara lain dengan harga yang relatif mahal, padahal bahan baku untuk sintesis katalis perengkah ini melimpah keberadaannya di Indonesia.

Lampung adalah salah satu daerah penghasil zeolit alam terbesar di Indonesia. Pada tahun 2012 data Direktorat Pengembangan Potensi Daerah (BKPM) menyatakan bahwa Lampung memiliki sumber zeolit alam 31.173.505 ton [1]. Sumber zeolit yang melimpah menginspirasi peneliti untuk memanfaatkan Zeolit Alam Lampung (ZAL) yang berasal dari Kalianda, Lampung Selatan sebagai sumber silika alumina bahan baku pembuatan ZSM-5.

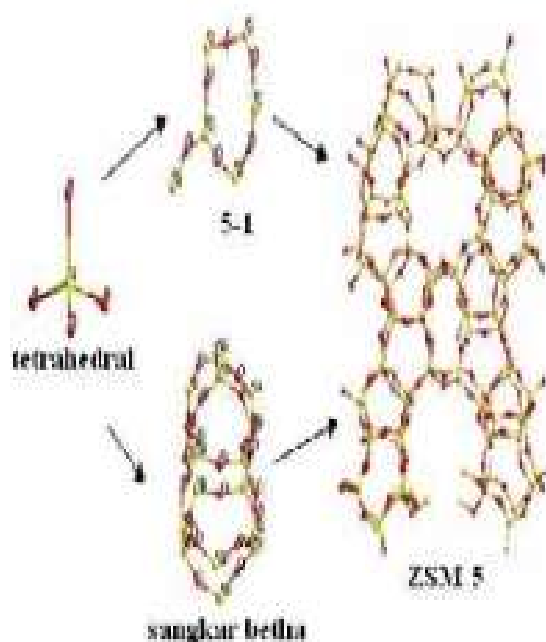
Zeolit Alam Lampung (ZAL) belum dapat menjadi bahan baku tunggal pembuatan ZSM-5 karena rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang masih tergolong rendah yaitu hanya berkisar 8,84 mol/mol (Minatama, 2010). Sedangkan untuk mensintesis ZSM-5 membutuhkan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang tinggi. Oleh karena itu peneliti membutuhkan sumber silika penambah untuk mencukupi kebutuhan silika dalam mensintesis ZSM-5.

Pada tahun 2013 Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung menyatakan bahwa Lampung juga memiliki potensi tebu yang sangat melimpah dengan kapasitas produksi pada tahun 2012 adalah 62.914 ton [1]. Tebu tersebut menjadi bahan baku dalam proses pembuatan gula, sehingga di tiap produksi gula dengan menggunakan bahan baku tebu akan menghasilkan limbah berupa ampas tebu (*bagasse*). Saat ini limbah *bagasse fly ash* BFA belum dimanfaatkan dengan tepat sehingga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.

Dari hasil analisis Gravimetri *bagasse fly ash* (BFA) PT. GMP Lampung Tengah yang dilakukan di Laboratorium Afiliasi Kimia Universitas Indonesia *bagasse fly ash* (BFA) mengandung senyawa silika (SiO_2) yang tinggi yaitu 85% sehingga dapat digunakan sebagai sumber silika pada sintesis ZSM-5 [2].

Rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ memiliki peran sebagai *precursor*, yaitu pemicu utama terbentuknya struktur kristal. Proses terbentuknya kristal zeolit diawali dengan melarutnya Si dan Al selanjutnya pembentukan gel aluminosilikat dan kemudian pembentukan zeolit. Maka semakin banyak Si yang melarut dalam larutan basa maka akan sangat mempengaruhi pembentukan kristal zeolit. Konsentrasi alumina dalam gel akan mempengaruhi laju kristalisasi ZSM-5 dari gel. Laju kristalisasi akan meningkat dengan meningkatnya rasio Si/Al [3].

Modifikasi molekul zeolit ZSM-5 dilakukan dengan membuat kerangka struktur satu unit sel zeolit ZSM-5 yang terdiri dari tujuh sangkar β . Sangkar β sering disebut sebagai sangkar pentasil, yang tersusun dari 13 TO4 dimana T adalah atom Si dan Al. Kerangka dasar struktur satu unit sel zeolit ZSM-5 dibuat dengan T seluruhnya Atom Si (Rasio Si/Al = 10-100) serta tersusun oleh 42 buah unit bangun struktur tanpa adanya pengaruh kation ataupun molekul air. Jadi yang menentukan kerangka struktur zeolit ZSM-5 dalam penelitian ini adalah atom Si, atom Al dan atom Oksigen [4]. Proses pemodelan molekul ZSM-5 dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Proses Pemodelan Zeolit ZSM-5 [4]

Pada penelitian ini prosedur sintesis ZSM-5 yang mengacu pada penelitian yang telah dilakukan S. Sang *et al* [5]. Namun yang membedakan adalah bahan baku yang digunakan yaitu dengan menggunakan BFA dan ZAL sebagai sumber silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) dengan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang divariasikan 88,93, dan 98 mol/mol.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Zeolit Alam Lampung (ZAL) yang berasal dari CV.MINATAMA Bandar Lampung, *Bagasse Fly Ash* (BFA) yang berasal dari PT Gunung Madu Plantations (GMP) Lampung Tengah, H_2SO_4 96 % PA Merck, Aquades, NaOH PA Merck, dan ETA Merck. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Ayakan 200 Mesh, Neraca Digital Type Pgw 254, Gelas Ukur Type Pyrex Iwaxi 500 ml, Gelas Kimia Type Pyrex Iwaxi 250 ml, Pipet Tetes Type Biologix 3 ml, *Magnetic Stirrer* Type Wornerlab 1-2 liter, pH meter Type Pocket pH 0-14, Corong Type Cam huni 100 mm, Kertas Saring Type Whatman filter ketebalan 0,01 mm berat 5g/m^2 , Spatula Type GM-TR037 20 cm x 2 cm x 2 cm, Cawan Porselin 75 ml, *Autoclave* 350 ml, Oven Type Memert 59 cm x 62 cm x 39 cm, Alat Penumbuk Type GM-908MT diameter 16 cm, *Furnace* Type D550 Neyvulcan Tanur, Duran Desikator Vaccum diameter 25 cm volume 10 Liter dan Alat XRD Shimadzu di Pusat Laboratorium Terpadu Universitas Islam Negeri (UIN) Syarif Hidayatullah Jakarta.

Pada tahap awal dilakukan *Pretreatment* ZAL dengan melakukan pemanasan pada oven dengan temperatur 105°C selama 2 jam. Selanjutnya melakukan *Pretreatment* BFA yang mengacu pada proses yang dilakukan oleh Kurniati (2009) [6] dengan sedikit modifikasi konsentrasi H_2SO_4 dan suhu kalsinasi. Adapun yang dilakukan adalah menumbuk BFA sampai halus, lalu diayak dengan ayakan berukuran 230 mesh. Kemudian merendam 15 gram BFA dalam larutan H_2SO_4 5 mL pada gelas kimia dan mengencerkan dengan aquades sebanyak 200 mL dan melakukan pengadukan selama 30 menit. Selanjutnya melakukan penyaringan dengan kertas saring untuk memisahkan filtrat dan endapan BFA. Endapan BFA yang terbentuk dicuci dengan aquades sebanyak tiga kali dan dikeringkan pada oven 105°C selama 1 jam. BFA kering dibakar dalam *furnace* pada 600°C selama 4 jam dan didinginkan. Kemudian dilakukan analisis gravimetri di Balai Pengujian dan Kalibrasi Balai Riset dan Standarisasi Industri (BARISTAN) Bandar Lampung.

Sintesis ZSM-5 mengacu pada prosedur yang telah dilakukan S. Sang *et al* (2004) [5]. Semua bahan disiapkan dengan ditimbang dan dibagi dengan berat yang sesuai dengan yang diinginkan. Selanjutnya membuat larutan A dan B dari bahan yang sudah disiapkan. Pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 88 mol/mol larutan A dibuat dengan melarutkan 0,7992 gram NaOH dan 12,99 gram BFA (hasil *pretreatment*) dalam 84 ml *aquadest* lalu diaduk. Selanjutnya Larutan B dibuat dengan melarutkan 1,935 gram ZAL (hasil *pretreatment*), 2 gram *template ethylamine* dan 84 ml *aquadest*. Kemudian larutan A dan Larutan B dicampur dan diaduk menggunakan *Magnetic stirrer* selama 30 menit hingga homogen.

Campuran yang dihasilkan memiliki pH berkisar 14. Untuk memperoleh pH 8, ke dalam larutan tersebut ditambahkan H_2SO_4 pekat setetes demi setetes hingga dicapai pH 8. Campuran akhir yang dihasilkan berupa larutan yang terdapat endapan berwarna coklat. Campuran yang dihasilkan dimasukkan ke dalam *autoclave* dan dipanaskan pada temperatur tetap 175°C dengan tekanan *autogenous* selama 26 jam tanpa pengadukan. Padatan yang terbentuk dari hasil reaksi tersebut disaring, dicuci dengan aquades 3 kali, kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur 100°C selama 12 jam. Produk yang dihasilkan selanjutnya dilakukan karakterisasi XRD di Pusat Laboratorium Terpadu Universitas Islam Negeri (UIN) Syarif Hidayatullah Jakarta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Komposisi SiO_2 dan Al_2O_3 ZAL

Parameter	Komposisi (%)
SiO_2	68,5
Al_2O_3	13,17

Sumber: CV. Minatama (2010) [7]

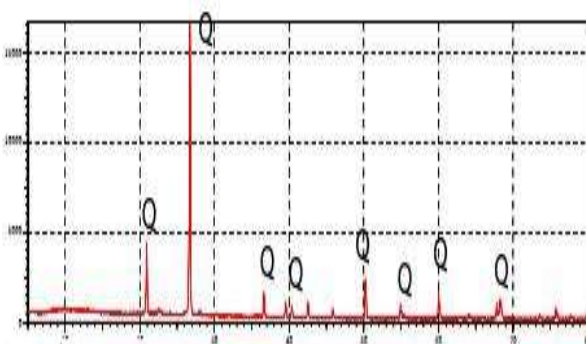
Tabel 2. Hasil Analisis Gravimetri *Pretreated* BFA

Parameter	Komposisi (%)
SiO_2	94,94
Al_2O_3	5,06

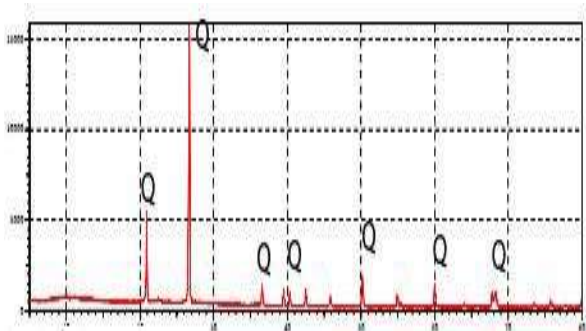
Dari **Tabel 1** dapat diketahui bahwa rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dari ZAL adalah 8,89 mol/mol. Sedangkan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ untuk sintesis ZSM-5 berkisar 20-100 mol/mol. Oleh karena itu peneliti menambahkan BFA hasil *pretreatment* sebagai sumber silika penambah agar rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pada bahan baku dapat meningkat, adapun komposisi SiO_2 dan Al_2O_3 hasil analisis gravimetri [8] dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Selanjutnya terhadap produk hasil sintesis dilakukan karakterisasi *X-Ray Diffraction*

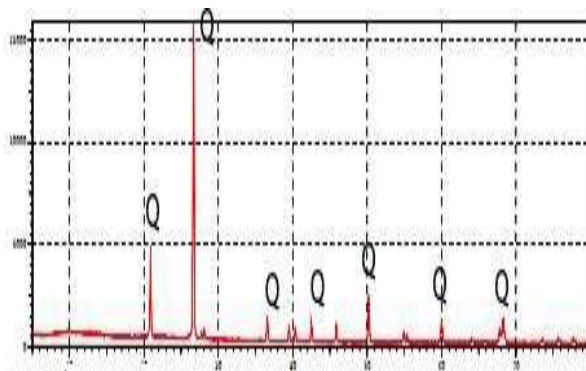
untuk mendeteksi jenis kristal yang terbentuk dan menghitung berapa jumlah persen kristalinitasnya. Pola difraksi pada masing-masing variasi rasio Si/Al tertera pada **Gambar 2** sampai **Gambar 4**.



Gambar 2. Pola Difraksi Produk Pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 88 mol/mol



Gambar 3. Pola Difraksi Produk Pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 93 mol/mol



Gambar 4. Pola Difraksi Produk Pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 93 mol/mol

Keterangan:
Q = Quartz

Tabel 3. Persen Kristalinitas Quartz

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (mol/mol)	% Kristalinitas
88	16,28
93	24,46
98	28,65

Dari **Gambar 2** sampai **Gambar 4** dapat dilihat bahwa untuk semua variasi rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ tidak diperoleh kristal ZSM-5 sebagai produk utama, namun produk yang terbentuk berupa kristal *silicon oxide* (Quartz). Sedangkan senyawa Al_2O_3 tidak terdapat disemua run. Dimana Al_2O_3 berperan penting dalam pembentukan kerangka zeolit, komponen pembentuk zeolit yaitu kerangka alumina silikat, logam alkali dan air [9].

Dari hasil perhitungan persen kristalinitas menggunakan metode *Based Amorf* diperoleh kecenderungan bahwa Persen kristalinitas produk meningkat seiring dengan meningkatnya rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Adapun nilai persen kristalinitas pada beragam rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Persen kristalinitas produk meningkat seiring dengan meningkatnya rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Sehingga dapat dijelaskan bahwa laju kristalisasi akan meningkat dengan meningkatnya rasio Si/Al. Rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ berperan sebagai *precursor*, yaitu pemicu utama terbentuknya struktur kristal. Proses terbentuknya kristal zeolit diawali dengan melarutnya Si dan Al selanjutnya terjadi pembentukan gel aluminasilikat dan kemudian terbentuklah struktur kristal zeolit. Dengan demikian semakin banyak Si yang melarut dalam larutan basa maka kristal zeolit yang terbentuk akan semakin meningkat [10].

Selain rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ juga terdapat variabel lain yang mempengaruhi laju kristalisasi zeolit yaitu variabel waktu dan suhu [11]. Pada rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 176 mol menghasilkan produk analcim dan ada juga yang menghasilkan kristal ZSM-5. Hal ini terjadi karena zeolit mengalami fase metastabil yaitu dengan adanya suhu dan waktu pengkristalan yang berbeda maka produk kristal zeolit yang dihasilkan pun dapat berubah.

Namun dalam hal ini proses sintesis ZSM-5 yang mengacu pada prosedur S. Sang *et al* (2004) [5] tidak memberikan manfaat yang signifikan, hal ini dapat dilihat dari persen kristalinitas produk yang dihasilkan masih rendah seperti yang tercantum dalam **Tabel 3**, persen kristalinitas produk tertinggi yaitu hanya 28,65%.

Hal ini berbeda dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh S. Sang *et al* (2004) [5], dengan proses kristalisasi yang berlangsung pada 175°C dan tekanan *autogenous* selama 26 jam tanpa pengadukan, dan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang divariasikan yaitu senilai 88 mol, 93 mol,

dan 98 mol bisa menghasilkan produk ZSM-5 dengan persen kristalinitas tertinggi senilai 100%.

Namun ketika kondisi kristalisasi tersebut diterapkan pada penelitian ini, tidak memberikan hasil yang sama, melainkan produk kristal yang terbentuk hanyalah kristal *Quartz*. Ini membuktikan bahwa kondisi sintesis tersebut tidak cocok untuk diterapkan pada sintesis ZSM-5 yang menggunakan BFA dan ZAL sebagai sumber SiO₂ dan Al₂O₃. Hal ini diduga karena sumber silika yang terdapat pada BFA dan ZAL banyak mengandung polimer silikat. Laju pelarutan atau depolimerisasi menjadi lambat pada gel yang banyak mengandung polimer silikat dan akan berpengaruh pada langkah penentuan laju nukleasi ZSM-5. Metode nukleasi via gel menunjukkan bahwa proses pembentukan nukleasi terjadi pada fasa gel, sedangkan pertumbuhan kristal baru terjadi setelah semua fasa gel melarut. Gel melarut secara kontinyu dan spesies terlarut berubah menjadi kristal-kristal inti sel dalam larutan [3].

Disamping itu, tidak terbentuknya ZSM-5 diduga karena terjadinya proses dealuminasi zeolit. Dealuminasi zeolit sebagai aluminosilikat dengan asam dapat dipandang sebagai proses penggantian aluminium dengan hidrogen yang melibatkan perubahan struktur Aluminosilikat Si-O-Al menjadi struktur silika dalam bentuk gugus silanol -Si-OH. Semakin besar konsentrasi asam yang digunakan untuk mengaktifasi zeolit menyebabkan kristalinitas zeolit relatif mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh penambahan konsentrasi asam yang semakin besar dan menyebabkan dealuminasi (Al yang keluar dari kerangka zeolit) semakin banyak. Hal ini sesuai dengan penelitian ini dimana pada penelitian ini digunakan H₂SO₄ yang menyebabkan proses dealuminasi. Oleh karena itu dengan lepasnya atom Al yang semakin banyak dari kerangka struktur ZSM-5 menyebabkan dekrystalisasi yang akan mengakibatkan meningkatnya struktur kristal yang tidak teratur sehingga kristalinitas berkurang bahkan dapat mengakibatkan tidak terbentuknya struktur ZSM-5 [12].

Dengan adanya dealuminasi aluminium dalam kerangka zeolit mengakibatkan jumlah aluminium dalam kerangka zeolit berkurang. Berkurangnya aluminium dalam kerangka zeolit akan berpengaruh terhadap kemampuan penyerapan. Pada struktur zeolit, semua atom Al dalam bentuk tetrahedra sehingga atom Al akan bermuatan negatif karena berkoordinasi dengan 4 atom oksigen dan selalu dinetralkan oleh kation alkali untuk mencapai senyawa yang stabil [13].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa dari hasil analisis kualitatif tidak diperoleh produk ZSM-5, melainkan produk yang terbentuk adalah kristal silika *silica oxide (quartz)*. Hasil perhitungan persen kristalinitas tertinggi pada rasio SiO₂/Al₂O₃ 98 mol/mol sebesar 28,65%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada Kementerian RISTEKDIKTI atas dukungan dana Penelitian Hibah Bersaing T.A. 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung BKPM. 2013. PotensiTebu.** <http://regionalinvestment.bkpm.go.id/newsipi/d/id/commodityara.php?ic =744&ia=18>
- [2] Utomo H & Ginting SBr. 2013. *Sintesis Zeolit ZSM-5 dari Fy Ash Baggase dengan Penambah Alumina*. Bandar Lampung: Laporan Penelitian Universitas Lampung
- [3] Jacob PA & Martens JA. 1987. *Synthesis of High Silica Aluminosilicate Zeolite*. Netherlands :Elsevier Science Publishing Company Inc.
- [4] Subandi. 1999. *Pemodelan molekul Faujasit Dan Pengaruh Rasio Si/Al Serta Template Organik Terhadap Diameter Rongga faujasit*. Skripsi.Yogyakarta: UGM
- [5] Sang Shiyun, Chang F, Liu Z, He Changqing, He Yanli, dan Xu Lei (2004). *Difference of ZSM-5 zeolites synthesized with various templates*. China: Elsevier Scientific publishing Company
- [6] Kurniati E. 2009. *Ekstraksi Silica White Powder dari Limbah Padat Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Dieng*. UPN Press. Surabaya
- [7] CV. Minatama. 2010. *Composition and Properties of ZKK*. Bandar Lampung : CV Minatama Produsen Zeolite ZKK
- [8] Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi. 2015. *Sertifikat Hasil Uji Gravimetri*. Bandar Lampung: Balai Riset Dan Standarisasi Industri
- [9] Van Bekkum, H.,Flanigen, E.M. and Jansen, J.C. 1991. *Introduction to Zeolite Science and Practice*. Elsevier. Amsterdam
- [10] Ghasemi L.V.S., Z. Younesi, H. dan Kazemian, H. (2014). *Synthesis of nanosized ZSM-5 zeolite using extracted silica from rice husk without adding any alumina source*. Iran: Springer

- [11] Young K., Na, Sup S., Bu, Wee L., Chul, Choon C., Won, Byung Y., Kyung, dan Park Yong-ki (2009). *The effect of Na₂SO₄ salt on the synthesis of ZSM-5 by template free crystallization method*. Republic of Korea : ELSEVIER
- [12] Pardoyo, Listiana, dan Adi Darmawan (2009). *Pengaruh Perlakuan HCl Pada Kristalinitas dan Kemampuan Adsorpsi Zeolit Alam Terhadap Ion Ca²⁺*. Semarang: UNDIP
- [13] Suryartono, Komardi, Q.S. 1986. *Penerapan dan Pemanfaatan Zeolit Bayah untuk Gas dan Cairan*. Pusat Pengembangan Teknologi Mineral: Bandung