

SINTESIS ZSM-5 DARI *PRETREATED* ZEOLIT ALAM LAMPUNG (PZAL) DAN *BAGASSE FLY ASH* (BFA) DENGAN *TEMPLATE ETHYLAMINE* (PENENTUAN RASIO MOL Na⁺/SiO₂ TERBAIK)

SYNTHESIS OF ZSM-5 FROM *PRETREATED* ZEOLIT ALAM LAMPUNG (PZAL) AND *BAGASSE FLY ASH* (BFA) WITH *ETHYLAMINE* TEMPLATE (DETERMINATION OF Na⁺/SiO₂ BEST MOL RATIO)

Rendri Ardinata¹, Simparmin Br Ginting¹, Muhammad Hanif¹

Teknik Kimia Universitas Lampung
Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145
Email : ardirendri@gmail.com

Abstrak

Zeolite Socony Mobile-5 (ZSM-5) disintesis dari bahan baku Zeolit Alam Lampung (ZAL) dan *Bagasse Fly Ash* (BFA) dengan menggunakan template *ethylamine* (ETA) melalui proses hidrotermal. Proses sintesis ZSM-5 dilakukan di dalam autoklaf pada suhu 175 °C dengan tekanan *autogenous* tanpa pengadukan dan berlangsung selama 26 jam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh rasio mol Na⁺/SiO₂ terbaik yang menghasilkan kristal ZSM-5 tertinggi. Komposisi molar sintesis ZSM-5 adalah SiO₂:0,011Al₂O₃:xNa₂O:42H₂O:0,2ETA, dimana x: 0,083; 0,087; dan 0,09 mol. Produk hasil sintesis kemudian dianalisis dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fase kristal yang terbentuk. Hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa dari semua variasi Na⁺/SiO₂ tidak diperoleh ZSM-5 sebagai produk utama namun yang diperoleh adalah kristal silika (*quartz*). Berdasarkan perhitungan *based amorf* dari hasil XRD, diperoleh persen kristalinitas produk. Persen kristalinitas tertinggi produk diperoleh pada rasio mol Na⁺/SiO₂ sebesar 0,083 mol/mol dengan persen kristalinitas 22,21%.

Kata Kunci: *Bagasse Fly Ash* (BFA), Zeolit Alam Lampung (ZAL), ZSM-5, *Ethylamine*

Abstract

Zeolite Socony Mobile-5 (ZSM-5) was synthesized from raw materials of Lampung Natural Zeolite (ZAL) and *Bagasse Fly Ash* (BFA) by using *ethylamine* template (ETA) through hydrothermal process. The synthesis process of ZSM-5 was conducted in an autoclave at 175 °C with *autogenous* pressure without stirring for 26 hours. Molar composition of ZSM-5 synthesis is SiO₂.0,011Al₂O₃.x Na₂O.42 H₂O.0,2ETA, with x: 0,083, 0,087, and 0,09 mol/mol. Synthesis product then analyzed with *X-Ray Diffraction* (XRD) to find out the crystal phase that had been formed. Characterization result from *X-Ray Diffraction* (XRD) shows that from all variation of Na⁺/SiO₂ did not obtain ZSM-5 as main product but the obtained product was silica crystal (*quartz*). Based on *based amorf* calculation from XRD, it was gained the crystallinity percent of product. The highest product crystallinity was obtained at mol ratio 0,083 mol/mol Na⁺/SiO₂ with crystallinity percent of 22,21%.

Keywords: *Bagasse Fly Ash* (BFA), Natural Zeolite of Lampung (ZAL), ZSM-5, *Ethylamine*

PENDAHULUAN

Zeolit merupakan mineral yang memiliki struktur kristal teratur. Struktur zeolit adalah polimer kristal anorganik didasarkan kerangka tetrahedral dari kerangka utama zeolit berupa Aluminium (Al) dan Silikon (Si) dan dihubungkan satu dengan lainnya melalui pemakaian elektron bersama dari atom oksigen. Dalam proses sintesis zeolit diperlukan suatu alkali dalam bentuk ion Na⁺ atau K⁺ biasanya dibuat dalam bentuk rasio Na⁺/SiO₂ atau K⁺/SiO₂ yang diperlukan untuk sintesis zeolit pada kondisi dasar yang mengarahkan pembentukan struktur kristal,

dimana rasio ion-ion ini sebanding dengan laju pembentukan kristal zeolit [1]. 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*).

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian mengenai sintesis ZSM-5, antara lain Hakan T., Nadir (2006) melakukan proses sintesis ZSM-5 dengan bahan baku *colloidal silica* (*Ludox HS-40*, 40 wt. % SiO₂, Aldrich, lot no: 17726AD) dan *sodium aluminate (anhydrous technical*, Riedel-de Häen, lot no: 43380). Dari

penelitian yang telah dilakukan diperoleh persen kristalinitas sebesar 42% pada rasio mol Na^+/SiO_2 sebesar 0.56 dan 52% pada rasio mol Na^+/SiO_2 sebesar 1,0 mol/mol [2]. Ren, Nan *et al.* (2010) menyelidiki pengaruh alkalinitas pada struktur dan sifat kimia dari ZSM-5 dengan melakukan proses sintesis ZSM-5 bebas-SDA (*Structure Directing Agent*) atau *template* melalui proses hidrotermal bebas-TPA dengan penggunaan *reactive gel* yang mengandung *aluminosilicate* dan *seed* nanokristal silikat-1 (260 nm dalam campuran gel 4 wt.%) dan diperoleh kristalinitas produk sebesar 73% [3]. Pada tahun 2004 dilakukan proses sintesis ZSM-5 dari abu layang batu bara (*lignite fly ash*) dan abu sekam padi (*rice husk ash*) sebagai sumber silika penambah serta penggunaan SDA organik TPABr (*Tetra Propyl Ammonium Bromide*). Dan diperoleh ZSM-5 dengan *yield* sebesar 59 % [4]. Selanjutnya pada tahun 2013 dilakukan proses sintesis ZSM-5 dari Zeolit Alam Lampung (ZAL) dan *Bagasse Fly Ash* (BFA) menggunakan SDA organik TPABr (*Tetra Propyl Ammonium Bromide*) dengan memvariasikan nilai rasio mol Na^+/SiO_2 . Namun, masih tidak diperoleh produk utama berupa ZSM-5, tetapi yang diperoleh berupa *analcim*, *heulandite*, *clinoptilolite* dan *quartz*. Kristalinitas produk tertinggi yang diperoleh yaitu sebesar 21,8% [5]. S. Sang *et al.* pada tahun 2004 melakukan proses sintesis ZSM-5 dengan menggunakan *water glass* dan aluminium sulfat sebagai sumber silika penambah serta dengan penggunaan berbagai jenis *template* organik yaitu *n-buthylamine* (BTA), *ethylamine* (ETA), *isopropylamine* (IPA), *ethylenediamine* (EDA), *ethanol* (ETL), *ethanol-ammonium* (ETL-AM), dan tanpa SDA. Dari hasil analisis XRD, diketahui bahwa ZSM-5 dengan persen kristalinitas tertinggi diperoleh pada *template ethylamine* (ETA). Pada penggunaan *template ethylamine* (ETA) diperoleh persen kristalinitas sebesar 100,2%. Sedangkan pada penggunaan *template* BTA diperoleh produk ZSM-5 dengan persen kristalinitas 100%, *template* IPA sebesar 96,9%, *template* EDA sebesar 94,4%, *template* ETL sebesar 85%, *template* ETL-AM sebesar 81,3% serta tanpa *template* sebesar 84% [6]

Dari beberapa hasil penelitian yang telah dikemukakan, dapat diketahui bahwa ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses sintesis ZSM-5 antara lain yaitu sumber silika-alumina dan rasio Na^+/SiO_2 . Silika alumina ini dapat berasal dari bahan sintesis atau bahan baku alam. Bahan baku alam ZSM-5 banyak

ditemukan di Indonesia, salah satunya yaitu Zeolit Alam Lampung (ZAL) yang pada tahun 2012 jumlahnya mencapai 31.173.505 ton [7]. Namun, rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang terkandung dalam ZAL masih rendah [8]. Sedangkan untuk mensintesis ZSM-5 membutuhkan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang tinggi. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan *Bagasse Fly Ash* (BFA) hasil *pretreatment* dengan metode Kurniati (2009) [9]. Sehingga masalah yang akan dibahas dalam jurnal ini adalah pengaruh rasio mol pelarut Na^+/SiO_2 pada proses sintesis ZSM-5 melalui prosedur penelitian S. Sang *et al.* dengan SDA terbaik namun dengan sumber silika-alumina yang berbeda berupa ZAL dan BFA. Komposisi molar dari penelitian ini adalah $\text{SiO}_2:0,011\text{Al}_2\text{O}_3:x\text{Na}_2\text{O}:42\text{H}_2\text{O}:0,2\text{ETA}$, dimana x: 0,083; 0,087; dan 0,09 mol/mol.

BAHAN DAN METODE

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium penelitian Teknik Kimia Universitas Lampung dan Teknologi Industri Proses BPPT - Serpong, Tangerang. Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret - Agustus 2015.

B. Bahan dan Alat

Pretreatment BFA dan ZAL

Bahan yang digunakan yaitu *Bagasse Fly Ash* (BFA) yang berasal dari PT Gunung Madu Plantations (GMP) Lampung Tengah, Zeolit Alam Lampung (ZAL) yang berasal dari CV. Minatama, H_2SO_4 96% p.a (Merck), aquades. Sedangkan alat yang digunakan antara lain: *Stirrer*, *beaker glass*, neraca digital, penyaring/ayakan dengan ukuran 230 mesh, oven, kain penyaring, *autoclave*, sendok, cawan, gelas ukur, corong, dan alat penumbuk

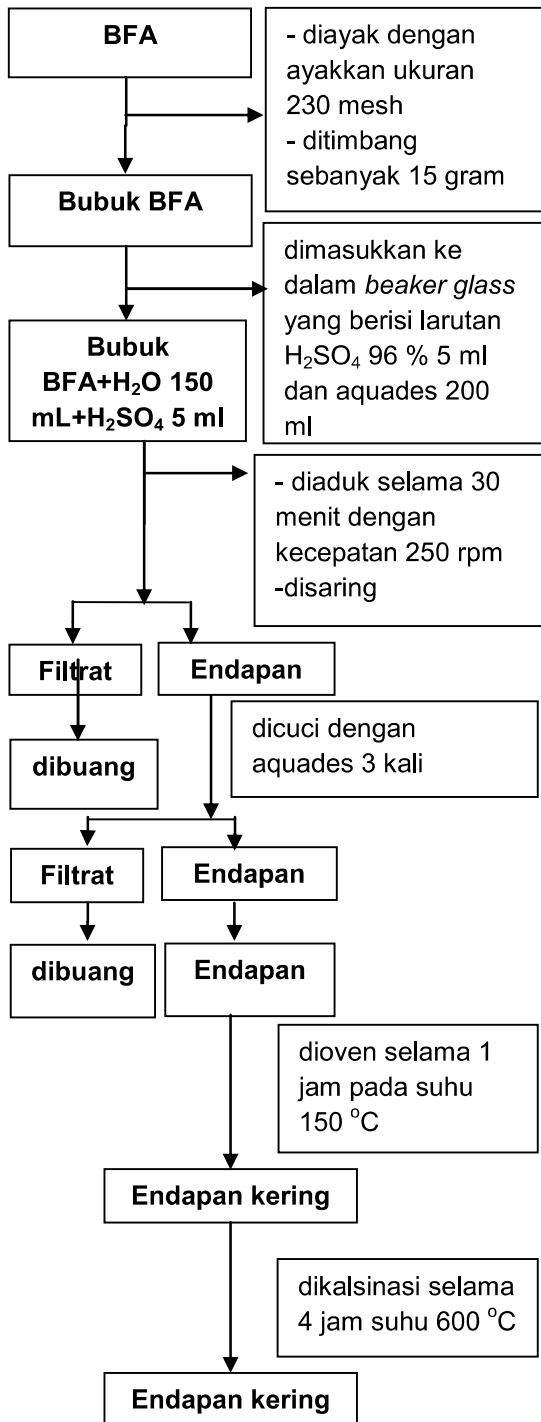
Sintesis ZSM-5

Bahan yang dipakai antara lain Zeolit Alam Lampung (ZAL) yang berasal dari CV. Minatama, *Bagasse Fly Ash* (BFA) yang berasal dari PT Gunung Madu Plantations (GMP), NaOH p.a (Merck), *ethylamine* (ETA) p.a (Merck), Aquades, H_2SO_4 96% p.a (Merck). Alat yang digunakan yaitu autoklaf, oven, pH meter, neraca digital, gelas kimia, *furnace*, pipet tetes, desikator.

C. Metode Penelitian

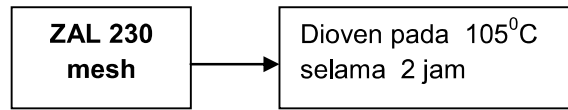
Diagram alir *pretreatment* BFA, *pretreatment* ZAL dan sintesis ZSM-5 dijelaskan pada Gambar 1, 2 dan 3 berikut ini.

Metode Pretreatment BFA



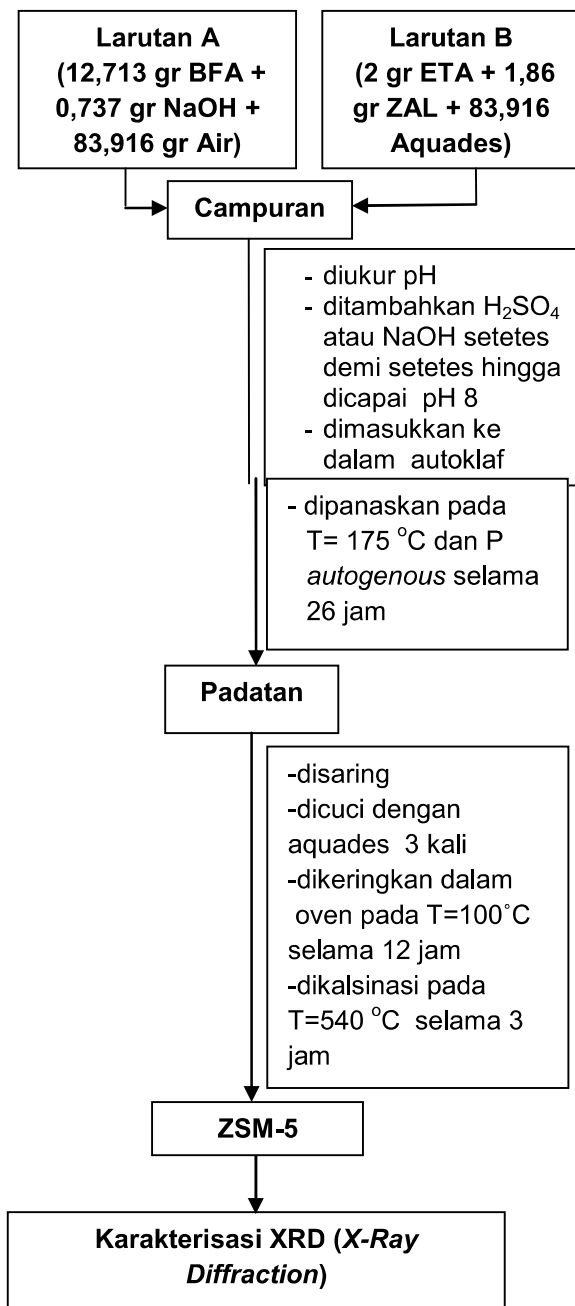
Gambar 1. Diagram alir *pretreatment* Bagasse Fly Ash (BFA)

Proses *pretreatment* ZAL ini mengacu pada prosedur Murtiyati dan Ginting [10]



Gambar 2. Diagram alir *pretreatment* Zeolit Alam Lampung (ZAL)

Metode Sintesis ZSM-5



Gambar 3. Diagram alir sintesis ZSM-5

Metode Pretreatment ZAL

Prosedur ini mengikuti prosedur sintesis yang dilakukan oleh S. Sang *et al* (2004) untuk rasio $\text{Na}^+/\text{SiO}_2 = 0,083 \text{ mol/mol}$.

D. Penentuan Produk Hasil Sintesis

Dari proses XRD yang dilakukan terhadap produk yang dihasilkan, selanjutnya produk dapat dikarakterisasi secara kualitatif dan kuantitatif.

Analisis Secara Kualitatif

Secara kualitatif yaitu mengetahui jenis kristal dengan cara membandingkan data puncak pola difraksi XRD sampel dengan data puncak pola difraksi XRD standar. ZSM-5 yang digunakan sebagai standar pada penelitian ini adalah ZSM-5 murni, *Zeolyst International*.

Analisis Secara Kuantitatif Metode Based Amorf

Metode *based amorf* ini digunakan menghitung Luas kristalin dari Luas keseluruhan (kristal + amorf), dimana untuk menghitung masing-masing Luas menggunakan Luas Trapezoidal.

$$\Sigma \{ - () () \} \quad (1)$$

Keterangan :

I_{n+1} = nilai Intensitas pada data ke n+1

I_n = nilai Intensitas pada data ke n

2_{n+1} = nilai 2θ pada data ke n+1

2_n = nilai 2θ pada data ke n

Persamaan (1) digunakan untuk menghitung luas area kristalin dan luas area keseluruhan.

Sehingga persen kristalinitas dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\text{-----} \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis Gravimetri dari BFA hasil *pretreatment*

Hasil analisis gravimetri yang dilakukan di Laboratorium Kimia Balai Riset dan Standarisasi Industri (Baristand) Lampung [11] setelah proses *treatment* pada BFA yang ditampilkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Kandungan BFA

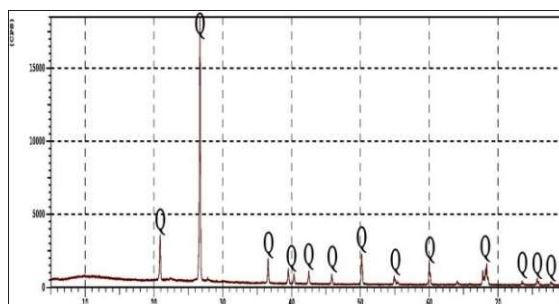
Nama	SiO ₂	Al ₂ O ₃
BFA	94,94%	5,06%

Dan berdasarkan data CV. Minatama, ZAL mengandung 68,5% SiO₂ dan 13,17% Al₂O₃ [8]. Proses *pretreatment* pada BFA menggunakan metode Kurniati (2009) yang dilakukan secara fisika dan kimia menggunakan H₂SO₄ yang bertujuan untuk mengurangi konsentrasi oksida-oksida logam dalam bahan serta pengotor lain yang mungkin ada dalam BFA sehingga diperoleh kemurnian bahan yang lebih tinggi.

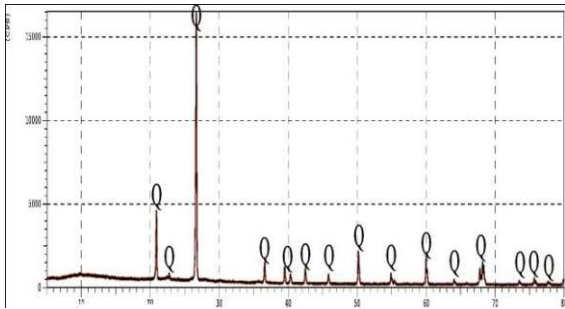
Hasil analisis X-Ray Diffraction (XRD)

Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) yang bertujuan untuk memperoleh informasi perubahan struktur mikro dan kristalin yang terjadi selama proses sintesis. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui jenis zeolit apa yang terbentuk dengan mengetahui pola difraksi XRD pada setiap variasi. Dimana pola difraksi yang didapat berupa hubungan 2θ dengan intensitasnya. Sehingga dapat diketahui apakah dalam produk reaksi sintesis ini terbentuk ZSM-5 yang merupakan produk utama, reaktan, dan produk-produk antara yang terbentuk pada fasa meta stabil [12].

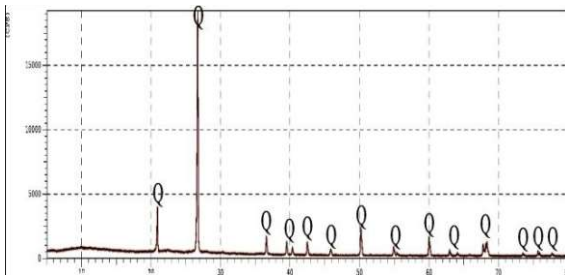
Pola XRD yang dihasilkan untuk variasi rasio Na^+/SiO_2 0,083; 0,087; dan 0,09 dapat dilihat pada Gambar 4, 5, dan 6.



Gambar 4. Pola XRD rasio Na^+/SiO_2 sebesar 0,083 mol/mol



Gambar 5. Pola XRD rasio Na^+/SiO_2 sebesar 0,087 mol/mol



Gambar 6. Pola XRD rasio Na^+/SiO_2 sebesar 0,09 mol/mol

Keterangan:
Q = Quartz

Dapat dilihat dari Gambar 4, 5 dan 6 bahwa pola yang dihasilkan tidak membentuk ZSM-5 melainkan produk yang terbentuk adalah *silica quartz*.

Hasil Analisis Kuantitatif Metode Based Amorf

Dengan menggunakan metode *based amorf* dapat ditentukan nilai persen kristalinitas produk, seperti ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Persen kristalinitas *silica quartz* dengan metode *based amorf*.

21,61% dan 21,73%. Persen kristalinitas produk tertinggi diperoleh pada rasio pelarut Na^+/SiO_2 0,083 mol/mol yaitu sebesar 22,21%. Namun, persen kristalinitas yang didapat dari ketiga rasio pelarut masih relatif rendah. Hal ini disebabkan silika yang terdapat dalam bahan baku sulit melarut, sehingga sulit untuk membentuk ZSM-5 dan cenderung membentuk struktur lain.

Selain itu, Tabel 2 juga menunjukkan bahwa rasio Na^+/SiO_2 terbaik pada penelitian ini yaitu pada rasio 0,083 mol/mol. Dimana semakin tinggi konsentrasi NaOH yang digunakan sebagai pelarut maka semakin rendah intensitas silika alumina yang tidak bereaksi. Hal ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya konsentrasi NaOH, maka reaktan yang tidak bereaksi dalam produk semakin kecil sehingga dapat meningkatkan persen kristalinitas produk yang didapat. Konsentrasi basa mineral berpengaruh terhadap karakteristik produk yang dihasilkan. Semakin tinggi penggunaan larutan NaOH pada proses hidrotermal menyebabkan terjadinya konversi fraksi amorf dan sebagian mineral aluminasilikat menjadi mineral zeolit [1]. Sedangkan Al_2O_3 berperan penting dalam pembentukan kerangka zeolit, dimana komponen pembentuk utama zeolit yaitu alumina silikat, logam alkali dan air [13]. Dari penelitian sintesis ZSM-5 ini tidak diperoleh produk utama hasil reaksi berupa ZSM-5, namun yang diperoleh berupa produk kuarsa silika (*silica quartz*).

Pada proses sintesis ZSM-5 ini, pH yang dikondisikan yaitu pH 8. Namun, dari hasil analisis yang diperoleh diketahui bahwa produk yang terbentuk tidak berupa ZSM-5 melainkan *silica quartz*. Hal ini mengindikasikan bahwa pada pH 8 belum terdapat fase metastabil dimana jika pH dinaikkan, maka produk *quartz* akan mengalami fase metastabil dan akan

Rasio Na^+/SiO_2	Kristalinitas Produk (%)	beru bah menj adi krista I zeolit
0,083	22,21	
0,087	21,61	
0,09	21,73	

Dari Tabel 2 dan Gambar 4, dapat dilihat pada rasio pelarut Na^+/SiO_2 0,083 mol/mol diperoleh persen kristalinitas produk sebesar 22,21 %. Hal ini menunjukkan bahwa pada rasio pelarut Na^+/SiO_2 0,083 mol/mol terbentuk kristal produk sebesar 22,21%, sedangkan sisanya 77,79% merupakan amorf. Pada rasio pelarut Na^+/SiO_2 0,087 dan 0,09 mol/mol diperoleh persen kristalinitas produk berturut-turut sebesar

. Hal ini dijelaskan pada penelitian Baradaran *et al.*, dimana alkalinitas sangat berperan penting dalam pembentukan fase kristal ZSM-5. Alkalinitas dapat mengubah tingkat nukleasi dan tingkat kristalisasi. Alkalinitas juga mempengaruhi morfologi keseragaman fasa, luas permukaan, pH larutan dan karakteristik katalitik dari katalis ZSM-5. Ketika pH larutan sebesar 8,7 dihasilkan produk berfase *amorf*,

pada pH 12,1 diperoleh produk dengan fase mordenit sedangkan pada pH 9,7 dihasilkan ZSM-5 dengan persen kristalinitas sebesar 75% [13]. Hasil penelitian yang telah dilakukan ini juga menunjukkan hal yang sama, dimana peningkatan rasio Na^+/SiO_2 dengan penambahan NaOH meningkatkan persen kristalinitas produk. Selain pH, waktu juga turut berpengaruh pada keberhasilan proses sintesis ZSM-5. Ketika waktu sintesis yang digunakan adalah 72 jam pada pH 9,7 diperoleh kristal ZSM-5 yang tinggi [14].

Dengan demikian untuk sintesis ZSM-5 pada pH 8 serta waktu sintesis 26 jam belum menghasilkan produk yang diinginkan berupa ZSM-5. Oleh karena itu, pH larutan pada proses sintesis ZSM-5 perlu dinaikkan dengan penambahan NaOH dan waktu sintesis ZSM-5 juga perlu diperpanjang.

Di sisi lain, pembentukan produk berupa ZSM-5 dipengaruhi oleh keberadaan Na_2SO_4 yang dibuktikan melalui penelitian [15]. Dimana senyawa ini mengganggu pembentukan kristal ZSM-5 dengan meningkatkan laju pengendapan senyawa aluminosilikat. Senyawa Na_2SO_4 ini terbentuk dari pencampuran larutan H_2SO_4 serta NaOH selama proses kalibrasi pH. Proses kalibrasi pH pada penelitian ini menggunakan H_2SO_4 yang cukup banyak. Hal ini karena sebelum proses kalibrasi, larutan memiliki pH sebesar 12, sedangkan pH yang sesuai prosedur adalah 8. Dan senyawa H_2SO_4 ini kemudian akan bereaksi dengan NaOH yang ada dalam larutan, selanjutnya membentuk senyawa Na_2SO_4 . Senyawa Na_2SO_4 ini kemudian mengakibatkan peningkatan laju pengendapan senyawa aluminasilikat dan berakibat pada penurunan kelarutan aluminasilikat serta menyebabkan tidak terbentuknya produk berupa ZSM-5.

Selain itu, penggunaan template organik pada penelitian ini tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada penelitian yang ditandai dengan tidak terbentuknya produk utama berupa ZSM-5. Namun produk yang terbentuk hanya berupa *silica quartz*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada berbagai rasio Na^+/SiO_2 , diketahui bahwa tidak diperoleh produk utama berupa ZSM-5, namun produk yang diperoleh berupa kuarsa silika (*silica quartz*) dengan kristalinitas produk tertinggi ketika rasio mol Na^+/SiO_2 0,083

mol/mol yaitu sebesar 22,21 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas dukungan dana Penelitian Hibah Bersaing T.A 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Weitkamp, J., dan Pupe, L. 1999. *Catalysis and Zeolites Fundamental and Application*, Berlin. Germany
- [2] T. Nadir, Hakan. 2006. *Synthesis and Characterization of Zeolite Beta*. Ankara : Middle East Technical University.
- [3] Ren, Nan, Subotic, Boris, Bronic, Josip. 2010. *Crystalization of Sub-Micrometer Sized ZSM-5 Zeolites in SDA-Free System*. Catalunya : Intechopen.
- [4] Chareonpanich Metta, Namto T, Kongkachuichay P & Limtrakul J. 2004. *Synthesis of ZSM-5 Zeolite from Lignite Fly Ash and Rice Husk Ash*. *Fuel Processing Technology* 85 (2004) 1623 – 1634 .
- [5] Mustaina & Ginting, S. Br. 2013. *Penentuan Rasio Mol Pelarut Na^+/SiO_2 Terbaik Pada Sintesis ZSM-5 Dari Zeolit Alam Lampung (ZAL) Dengan Sumber Silika Penambah Bagasse Fly Ash (BFA) Menggunakan Template Tetra Propylammonium Bromide (TPABr)*. Bandar Lampung: Seminar Nasional Sains & Teknologi V, Lembaga Penelitian Universitas Lampung.
- [6] 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
- [7] Direktorat Pengembangan Potensi Daerah BKPM. 2012. *Potensi Zeolit dari Lampung*. <http://regionalinvestment.bkpm.go.id/newsipid/id/commodityara.php?ic=744&ia=18>
- [8] CV. Minatama. 2010. *Composition and Properties of ZKK*. Bandar Lampung : CV Minatama Produsen Zeolite ZKK.
- [9] Kurniati E. 2009. *Ekstraksi Silica White Powder dari Limbah Padat Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Dieng*. UPN Press. Surabaya
- [10] Murtiyati dan Ginting, Simparmin, Br. 2008. *Penggunaan Adsorben Zeolit Alam Teraktivasi Dan Bentonit Bekas Hasil*

Regenerasi Pada Proses Pemurnian Minyak Goreng Bekas. Laporan Penelitian Jurusan Teknik Kimia FT Universitas Lampung : Bandar Lampung.

- [11] Laboratorium Pengujian Dan Kalibrasi. 2015. *Sertifikat Hasil Uji Gravimetri*. Bandar Lampung: Balai Riset dan Standardisasi Industri.
- [12] Goto, Y. dan Sand, L.B. 1988. *Crystallization of ZSM-5 from Natural Japanese Mordenit and Clinoptilolite*, di dalam *Occurrence Properties and Utilization of Natural Zeolite*. Akademai Kaido.
- [13] Van Bekkum, H., Flanigen, E.M. and Jansen, J.C. 1991. *Introduction to Zeolite Science and Practice*. Elsevier. Amsterdam
- [14] Baradaran, S., Sohrabi, M., Moghimpour, B.P., Javid, R.S. 2015. *Effect of pH on The Synthesis of ZSM-5 Zeolite Using TEOS and Performance of H-ZSM-5 Catalyst in Propane Aromatization*. Tehran: The 15th Iranian National Congress of Chemical Engineering (IChEC 2015) University of Tehran.
- [15] Young, K.N., Sup, S.B., Wee, L.C., Choon, C.W., Byung, Y.K., Park, Y.K. 2009. *The Effect of Na₂SO₄ Salt on The Synthesis of ZSM-5 by Template Free Crystallization Method*. Seoul: Elsevier, *Microporous and Mesoporous Journal*.