

**Sintesis H-ZSM-5 dari Zeolit Alam Lampung (ZAL)
dengan Sumber Silika Penambah *Bagasse Fly Ash*
(BFA)
(Penentuan Rasio TPABr/SiO₂ untuk Memperoleh
Produk H-ZSM-5 yang memiliki Kristalinitas
Optimum)**

Darmansyah^{1*}, Simparmin br. Ginting¹, Dery Widiana¹, Hens Saputra²
¹Jurusan Teknik Kimia, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia
²Pusat Teknologi Industri Proses – TIRBR, BPPT, Jakarta, Indonesia
*e-mail : darmansyah82@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mencari rasio mol TPABr/SiO₂ yang tepat untuk menghasilkan produk H-ZSM-5 dengan persen kristalinitas yang tinggi. *Pretreatment* secara kimia-fisika dilakukan untuk menghilangkan *impurities* berupa logam – logam oksida pada *bagasse fly ash* (BFA). Sintesis ZSM-5 dilakukan di dalam autoklaf pada suhu 180°C dan tekanan *autogenous* dengan parameter yang ditetapkan antara lain rasio mol SiO₂/Al₂O₃ 30 mol/mol, rasio mol NaOH/SiO₂ 0,6 mol/mol dan rasio mol H₂O/SiO₂ 30 mol/mol. Sedangkan parameter yang divariasikan yaitu rasio mol TPABr/SiO₂ sebesar 0,04; 0,05; dan 0,06 mol/mol. Kemudian dilakukan karakterisasi produk secara kualitatif dan kuantitatif. Hasil percobaan menunjukkan bahwa tidak terbentuk produk ZSM-5, melainkan produk – produk antara berupa *analcim* dan *albite high* serta masih didominasi oleh SiO₂ sebagai sisa reaktan. Produk antara dominan yang terbentuk dalam percobaan ini yaitu *analcim*. Persen kristalinitas produk dari ketiga run yaitu sebesar 18,7 %, 17,5 % dan 18,9 %. Persen kristalinitas produk tertinggi, yaitu 18,9 % didapat pada kondisi sintesis dengan rasio mol TPABr/SiO₂ sebesar 0,06 mol/mol.

Kata kunci: *fly ash*, H-ZSM-5, TPABr, zeolit

1 Pendahuluan

Zeolit merupakan kristal alumina silika berongga yang mengandung molekul alkali atau alkali tanah dan molekul air. Zeolit dapat dimanfaatkan dalam industri sebagai penukar ion, adsorben dan katalis (Darmansyah dkk, 2012). Zeolit terdiri dari zeolit alam dan zeolit sintesis. Salah satu jenis zeolit sintesis yang sering digunakan sebagai katalis dalam proses perengkahan hidrokarbon adalah H-ZSM-5. H-ZSM-5 (*Zeolite Socony Mobile-5*) adalah salah satu jenis zeolit dengan *framework* tipe *mordenite*, memiliki diameter pori 0,54 nm dan rasio mol SiO₂/Al₂O₃ tinggi (range 10-100 mol/mol). Pemanfaatan H-ZSM-5 sebagai katalis dalam proses perengkahan hidrokarbon kini semakin diminati oleh industri *petroleum*. Kebutuhan katalis perengkahan di Indonesia sangat besar, yaitu sekitar 17-20 ton/tahun dan selama ini

dipenuhi dengan cara mengimpor dari negara lain (Nurjannah dkk, 2010 serta Saripin dan Kurniawan, 2010).

Lampung memiliki sumber zeolit alam yang melimpah. Pada tahun 2012, data Direktorat Pengembangan Potensi Daerah (BKPM) menyatakan bahwa Lampung memiliki sumber zeolit alam sebesar 31.173.505 ton. Zeolit alam Lampung (ZAL) memiliki kandungan silika (SiO_2) yang cukup tinggi, yaitu sebesar 68,5 % (CV. MINATAMA, 2010). Hal tersebut menginspirasi peneliti untuk memanfaatkan ZAL sebagai bahan baku pembuatan H-ZSM-5. Namun, ZAL memiliki rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang belum mencukupi untuk dikonversi menjadi H-ZSM-5. Dimana rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pada ZAL hanya 8,83 mol/mol, sehingga perlu penambahan sumber silika lain. Salah satu sumber silika yang menjanjikan untuk dikembangkan dalam proses sintesis H-ZSM-5 yaitu limbah pabrik gula.

Limbah pabrik gula yaitu ampas tebu (*bagasse*). Ampas tebu mudah terbakar karena di dalamnya terkandung air, gula, serat dan mikroba, yang apabila tertumpuk akan terfermentasi dan melepaskan panas sehingga beresiko menimbulkan kebakaran pabrik (Hamawi, 2005). Oleh karena itu, saat ini pabrik gula memanfaatkan ampas tersebut sebagai bahan bakar *boiler*. Hasil sampingan dari pembakaran ampas tebu tersebut disebut dengan *bagasse fly ash* (BFA). Sampai saat ini, BFA belum dimanfaatkan secara maksimal. Untuk menghindari penumpukan, setiap 4-8 jam, BFA diangkut dari dalam *boiler*. Tumpukan BFA yang telah dipindahkan dari dalam *boiler* dapat berpotensi untuk mengganggu stabilitas lingkungan, seperti menimbulkan pencemaran lingkungan.

Potensi BFA untuk dimanfaatkan sebagai sumber penambah silika pada sintesis H-ZSM-5 terletak pada tingginya ketersediaan BFA di Indonesia, khususnya di Lampung. Lampung memiliki perkebunan tebu yang luas. Data statistik Indonesia tahun 2008-2012 menyatakan bahwa luas lahan tebu di daerah Lampung pada tahun 2011 adalah 117.405 ha. Dimana produksi tebu untuk daerah Lampung telah mengalami peningkatan dari 658.338 ton/tahun pada tahun 2011 menjadi 720.961 ton/tahun pada tahun 2012 (Sutono, 2013). Selain itu, Lampung juga memiliki salah satu pabrik gula terbesar di Indonesia, yaitu PT. *Gunung Madu Plantation* (Lampung Tengah), produksi tebu mencapai rata – rata 2 juta ton/tahun dengan luas lahan tebu sekitar 25.000 ha (PT GUNUNG MADU PLANTATIONS, 2009). Abu *bagasse* yang dihasilkan PT. *Gunung Madu Plantation* (Lampung Tengah) cukup besar, sekitar 500-600 ton per hari, sehingga BFA yang dihasilkan sangat potensial untuk dimanfaatkan kembali.

Sebagai sumber silika penambah, BFA didominasi oleh silika sebesar 49,98 % (Purnomo dkk, 2007). Adanya pengotor pada sumber penambah silika dapat mengganggu proses sintesis H-ZSM-5. Oleh karena itu, *pretreatment* untuk menghilangkan pengotor pada BFA perlu dilakukan guna meningkatkan kandungan silika dan menghilangkan pengotor – pengotor yang mengganggu dalam proses sintesis. Pengotor – pengotor yang terkandung dalam BFA berupa logam – logam oksida dapat dihilangkan dengan cara mengekstraksi silika dari BFA dengan

menggunakan larutan asam sulfat kemudian dikalsinasi. Metode tersebut dilakukan oleh Kurniati (2009) untuk mengekstraksi silika dari *fly ash* batu bara.

Pada tahun 2012, Forsela dan Ginting berhasil mensintesis ZSM-5 dari zeolit alam Lampung dengan penambah silika yang berasal dari abu sekam padi dan silika ekstrak sekam padi menggunakan *template* TPABr. Persen kristalinitas tertinggi didapat pada rasio TPABr/SiO₂ sebesar 0,05 mol/mol. Kemudian Andhika dan Ginting (2012) mensintesis ZSM-5 dari *fly ash bagasse* (BFA). Dari hasil XRD diketahui tidak terbentuk ZSM-5, melainkan masih berupa silika. Hal ini diduga karena sifat silika yang berasal dari *bagasse* sukar larut dan juga tidak terdapat alumina yang dibutuhkan sebagai bahan baku sintesis ZSM-5. Selanjutnya, Utomo dan Ginting (2012) kembali mensintesis ZSM-5 dari BFA dengan menggunakan alumina sintetis dan melakukan *pretreatment* terhadap BFA menggunakan larutan H₂SO₄ kemudian dikalsinasi untuk menghilangkan pengotor logam oksida yang didapat dari Kurniati (2009) dan dihasilkan ZSM-5 namun persen kristalinitas yang dihasilkan masih sangat rendah yaitu 29,42%. Dari beberapa penelitian tersebut diketahui bahwa zeolit dapat disintesis dari zeolit alam dan biomassa. Dimana perlu kondisi yang sesuai perlu menjadi perhatian ketika mensintesis zeolit tersebut.

Dilatarbelakangi oleh tingginya kebutuhan H-ZSM-5 khususnya sebagai katalis perengkahan dalam industri *petroleum* dan besarnya potensi ZAL dan BFA sebagai bahan baku sintesis H-ZSM-5 di Indonesia khususnya di Lampung, maka perlu dilakukan penelitian mengenai sintesis H-ZSM-5 dari ZAL dengan sumber silika penambah yang berasal dari BFA.

2 Metodologi

2.1 Bahan dan Alat

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *bagasse fly ash* yang berasal dari sisa pembakaran boiler PT. Gunung Madu Plantation (Lampung Tengah), zeolit alam Lampung yang berasal dari Kalianda (Lampung Selatan), H₂SO₄ 96 %, aquades, NaOH dan TPABr. Sedangkan alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu peralatan gelas, *magnetic stirrer*, neraca digital, penyaring/ayakan 100 mesh, oven, kertas penyaring, cawan dan alat penumbuk, corong, autoklaf, pH meter, *furnace*, desikator dan alat XRD (*X-ray diffraction*).

2.2 Prosedur Pretreatment BFA

Pretreatment BFA dilakukan untuk menghilangkan pengotor berupa logam – logam oksida yang terkandung di dalam *bagasse fly ash* (BFA). Ekstraksi silika dari abu limbah *bagasse* mengacu pada prosedur yang telah dilakukan oleh Kurniati (2009). *Fly ash bagasse* diayak dengan ayakan berukuran 100 mesh. *Beaker glass* diisi dengan aquades sebanyak 150 mL. H₂SO₄ 96 % dimasukkan sebanyak 5 mL ke dalam *beaker glass* yang telah berisi aquades. *Fly ash bagasse* yang telah diayak sebanyak 15 gr dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang telah berisi larutan H₂SO₄. Campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit dengan kecepatan 100 rpm. Campuran disaring dengan menggunakan kertas penyaring hingga terpisah antara endapan dan

filtratnya. Endapan dicuci dengan aquades sebanyak tiga kali, lalu endapan disaring dengan kertas penyaring kembali. Endapan dikeringkan di dalam oven pada suhu 150°C selama 1 jam untuk menghilangkan kadar air. Endapan yang telah dikeringkan kemudian dikalsinasi di dalam *furnace* pada suhu 600°C selama 4 jam. Endapan yang telah dikalsinasi dianalisis dengan metode gravimetri.

2.3 Prosedur *Pretreatment* ZAL

Pretreatment ZAL ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air pada permukaan ZAL akibat kontak dengan uap air yang terkandung dalam udara. *Pretreatment* ini dilakukan dengan memanaskan ZAL dalam oven bertemperatur 105°C selama 2 jam. Kemudian ZAL dimasukkan ke dalam desikator.

2.4 Sintesis ZSM-5

Rasio mol TPABr/SiO₂ divariasikan, yaitu 0,04, 0,05 dan 0,06 mol/mol. Rasio komposisi campuran bahan – bahan yang lain dibuat tetap, yaitu rasio mol H₂O/SiO₂ 30 mol/mol (Ginting, 1999), rasio mol NaOH/SiO₂ 0,6 mol/mol (Mustaina dan Ginting, 2013) dan rasio SiO₂/Al₂O₃ 30 mol/mol (Kusmiyati dkk, 2007). Waktu kristalinitas dibuat tetap, yaitu 48 jam (Utomo dan Ginting, 2012) pada suhu 180°C. Kemudian dari ketiga hasil percobaan ini didapatkan rasio mol TPABr/SiO₂ terbaik dari variasi yang telah dilakukan.

Prosedur ini mengikuti prosedur sintesis Forsela dan Ginting (2012), Jacobs dan Martens (1987) dan Chareonpanich dkk (2003). Semua bahan disiapkan, ditimbang dan dibagi sesuai dengan massa bahan yang dibutuhkan. Kemudian prosedur dilanjutkan dengan membuat tiga larutan. Larutan A dibuat dengan melarutkan ZAL (hasil *pretreatment*) dengan larutan NaOH. Larutan B dibuat dengan melarutkan BFA (hasil *pretreatment*) dengan larutan NaOH lalu diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 2 jam. Larutan C dibuat dengan melarutkan TPABr ke dalam aquades.

Setelah ketiga larutan siap, larutan B dimasukkan ke dalam larutan A sedikit demi sedikit dan terakhir ditambahkan larutan C, kemudian diaduk. Campuran yang dihasilkan memiliki pH berkisar 13-14. Untuk memperoleh pH 11-13, ke dalam larutan tersebut ditambahkan H₂SO₄ 1 N setetes demi setetes hingga dicapai pH 11-13. Campuran yang dihasilkan dimasukkan ke dalam autoklaf dan dipanaskan pada temperatur tetap 180°C dengan tekanan *autogenous* selama 48 jam tanpa pengadukan. Padatan yang terbentuk dari hasil reaksi tersebut disaring, dicuci dengan aquades 3 kali, kemudian dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105°C selama 2 jam. Produk yang dihasilkan selanjutnya dikalsinasi pada suhu 550°C selama 2 jam. Produk yang dihasilkan dianalisis dengan menggunakan Difraksi Sinar X (XRD) untuk mengidentifikasi produk yang terbentuk.

2.5 Penentuan Produk Hasil Sintesis

Setelah analisis XRD dilakukan, produk selanjutnya dikarakterisasi secara kualitatif dan kuantitatif.

1. Analisis Secara Kualitatif

Analisis secara kualitatif dilakukan untuk 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*. Puncak – puncak tertinggi dari pola difraksi ZSM-5 standar terletak pada dua theta 7-9 dan 23-25.

2. Analisis Secara Kuantitatif

Analisis secara kuantitatif dilakukan untuk menghitung persen kristalinitas produk dengan metode *based amorf*. Metode *based amorf* menghitung luas kristalin dari luas keseluruhan (kristal + amorf), dimana untuk menghitung masing – masing luas menggunakan rumus luas trapezoidal.

$$\text{Luas Trapezoidal} = \sum \left\{ \frac{1}{2} (I_{n+1} + I_n) (2\theta_{n+1} - 2\theta_n) \right\} \quad (1)$$

Keterangan :

I_{n+1} = nilai intensitas pada data ke-n+1

I_n = nilai intensitas pada data ke-n

$2\theta_{n+1}$ = nilai 2 theta pada data ke-n+1

$2\theta_n$ = nilai 2 theta pada data ke-n

Persamaan di atas digunakan untuk menghitung luas area kristalin dan luas area keseluruhan. Sehingga persen kristalinitas dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\% \text{ Kristalinitas} = \frac{\text{Luas area kristalin}}{\text{Luas area keseluruhan}} \times 100\% \quad (2)$$

3 Hasil dan Pembahasan

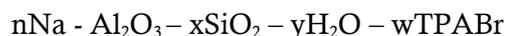
Pretreatment BFA secara kimia-fisika bertujuan untuk menghilangkan *impurities* berupa logam – logam oksida yang terkandung di dalam *bagasse fly ash*. Pada *pretreatment* ini, temperatur kalsinasi ditetapkan 600°C. Hal ini berbeda dengan temperatur yang diterapkan Kurniati (2009), yaitu 1100°C, karena pada temperatur di atas 700°C, silika yang diperoleh adalah silika dalam bentuk kristal (Hanafi S dan Nandang R, 2010). Dimana pada bentuk kristal, ikatan pada silika akan lebih kuat dan menjadi sulit untuk melarut. Sedangkan, pada sintesis ZSM-5 dibutuhkan kelarutan silika yang tinggi. Oleh karena itu, kalsinasi dilakukan pada temperatur 600°C. Setelah di-*pretreatment*, *bagasse fly ash* dianalisis dengan metode gravimetri. Dari hasil analisis gravimetri, didapat kadar SiO₂ dan Al₂O₃ pada *bagasse fly ash* setelah *pretreatment* yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kadar SiO₂ dan Al₂O₃ pada BFA setelah *pretreatment* menggunakan analisis metode gravimetri

Senyawa	<i>Bagasse fly ash</i> (% massa)
SiO ₂	92,51%
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	1,19%

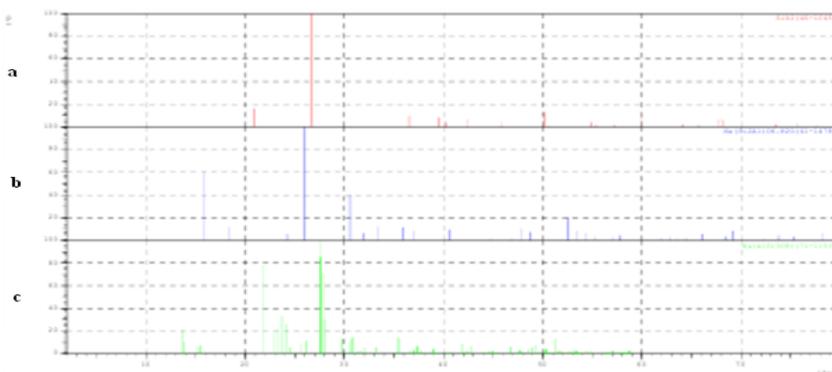
Analisis gravimetri tersebut menggunakan uji SNI 02-2804-2005 yang dilakukan di Laboratorium Penguji dan Kalibrasi Balai Riset dan Standardisasi Industri (BARISTAND) Bandar Lampung. Dari Tabel 1, dapat dilihat bahwa kadar alumina

(Al₂O₃) pada *bagasse fly ash* menjadi sangat rendah, untuk itu dapat diabaikan dalam perhitungan rasio reaktan. Sehingga sumber alumina (Al₂O₃) hanya dianggap berasal dari zeolit alam Lampung saja. Sedangkan untuk zeolit alam Lampung, *pretreatment* yang dilakukan berbeda. *Pretreatment* secara kimia menggunakan asam sulfat seperti pada *pretreatment* BFA tidak diterapkan pada ZAL. Hal ini karena *pretreatment* tersebut dapat melarutkan logam – logam oksida pada suatu substansi termasuk alumina, sehingga beresiko menurunkan kandungan alumina yang terdapat dalam ZAL. Oleh karena itu, *pretreatment* ZAL dilakukan secara fisika saja, yaitu dengan pemanasan pada temperatur 105 °C selama 2 jam untuk menghilangkan air permukaannya. Sehingga rasio mol SiO₂/Al₂O₃ pada zeolit alam Lampung tetap sesuai dengan referensi (CV.MINATAMA, 2010), yaitu 8,83 mol/mol. Setelah *pretreatment* bahan baku selanjutnya dilakukan sintesis ZSM-5. Formula ZSM-5 yang disintesis dari zeolit alam Lampung adalah sebagai berikut :



Sintesis ZSM-5 dilakukan dengan memvariasikan rasio konsentrasi mol TPABr/SiO₂, yaitu 0,04, 0,05 dan 0,06 mol/mol. Dari hasil penelitian diketahui bahwa mekanisme sintesis ZSM-5 ini mengikuti teori kedua dari pembentukan kristal zeolit (Jacobs dan Martens, 1987) yaitu metode nukleasi via larutan, dimana inti sel terbentuk dan tumbuh dalam fasa cair, bukan fasa gel.

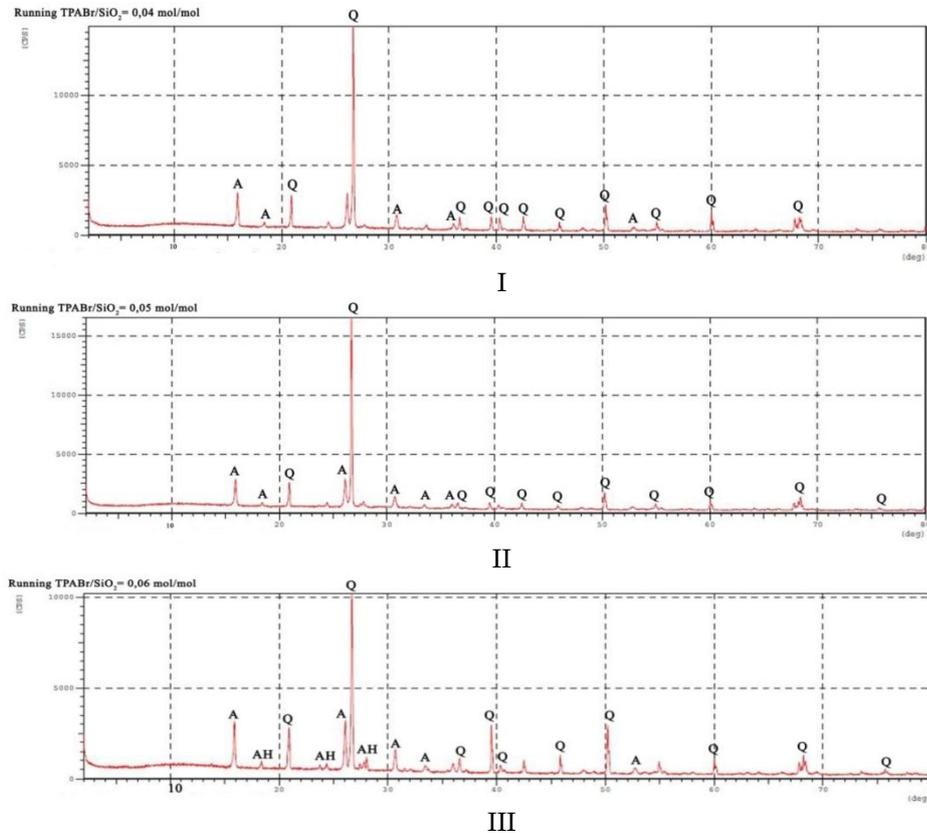
Dari hasil percobaan dilakukan karakterisasi untuk mengetahui struktur yang terbentuk dari produk yang dihasilkan. Dimana sebelum dikarakterisasi, produk tersebut terlebih dahulu dikalsinasi untuk menguapkan *template* pengisi pori – pori produk, sehingga pori – pori pada kristal ZSM-5 yang terbentuk terbuka. Setelah itu, dilakukan analisis *X Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui pola difraksi XRD pada sintesis ZSM-5 pada setiap run. Pola difraksi yang didapat berupa hubungan 2θ dengan intensitasnya. Puncak – puncak grafik yang didapat dibandingkan dengan puncak – puncak grafik tertinggi pada pola standar dari produk – produk sintesis yang ada.



Gambar 1. Pola difraksi standar *quartz* (a), *analcim* (b) dan *albite high* (c)

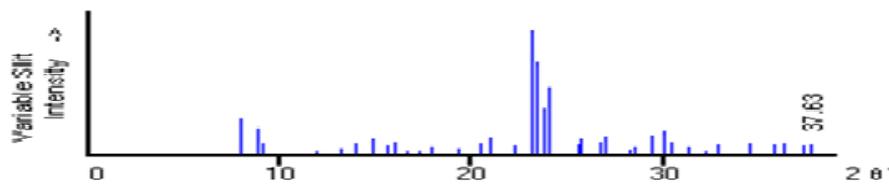
Pada Run 1 dan Run 2, didapat produk intermediet berupa *analcim* (Na(Si₂Al)O₆.H₂O) dan didominasi oleh *quartz* (SiO₂) sebagai sisa reaktan. Sedangkan pada Run 3, didapat dua produk intermediet berupa *analcim*

($\text{Na}(\text{Si}_2\text{Al})\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$) dan *albite high* ($\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$) serta masih didominasi oleh *quartz* (SiO_2) sebagai sisa reaktan. Pola difraksi XRD untuk ketiga run dapat dilihat pada Gambar 2.



Keterangan : A : Analcim, AH : Albite High, dan Q : Quartz
I : Run 1 (rasio mol TPABr/SiO₂ 0,04 mol/mol)
II : Run 2 (rasio mol TPABr/SiO₂ 0,05 mol/mol)
III : Run 3 (rasio mol TPABr/SiO₂ 0,06 mol/mol)

Gambar 2. Pola difraksi XRD untuk ketiga run pada kondisi rasio SiO₂/Al₂O₃ 30 mol/mol, rasio NaOH/SiO₂ 0,6 mol/mol, rasio H₂O/SiO₂ 30 mol/mol, temperatur 180° C, tekanan *autogenous* serta waktu sintesis 48 jam yang dijaga tetap



Gambar 3. Pola difraksi XRD standar pada ZSM-5
(Kulkarni dkk, 1982)

Dari Gambar 2, terlihat bahwa produk ZSM-5 tidak terbentuk, melainkan terbentuk produk – produk intermediet berupa *analcim* dan *albite high* serta didominasi oleh *quartz* (SiO_2) sebagai sisa reaktan. Hal ini dapat dilihat dari pola difraksi XRD produk yang dihasilkan sama dengan pola difraksi standar *analcim*, *albite high* dan *quartz*/silika pada 2θ yang sama seperti pada Gambar 1. Pola difraksi XRD produk

yang dihasilkan tidak mengikuti pola difraksi XRD pada ZSM-5 standar (yang dapat dilihat pada Gambar 3) pada 2θ yang sama. Dominasi *quartz*/silika sebagai sisa reaktan menunjukkan bahwa belum seluruhnya reaktan (silika) meluruh dan bereaksi membentuk produk.

Dari ketiga run, didapat produk intermediet yang paling banyak ditemui dalam sintesis ini yaitu *analcim*. Dimana dari hasil analisis XRD, diketahui zeolit *analcim* yang dihasilkan memiliki *based group* Ia3d. Pecharsky dan Zavalij (2005) pada bukunya yang berjudul “*Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials*” mengatakan untuk material dengan *based group* tersebut memiliki sistem atau bentuk kristal kubik.

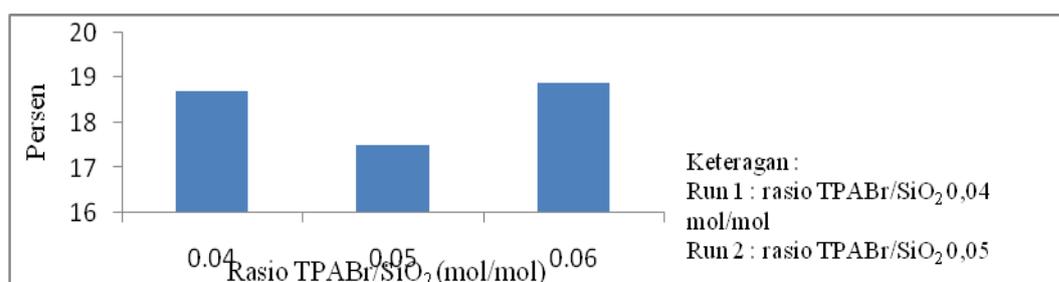
Analcim adalah jenis zeolit dengan rasio mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang rendah. Weitkamp dan Puppe (1999) menyatakan bahwa *analcim* adalah fase metastabil dimana jika waktu sintesis diperpanjang maka fasa *analcim* akan berubah menjadi zeolit lain yang tergantung pada metode serta bahan baku sintesisnya. Kemudian untuk mengetahui persen kristalinitas produk, dilakukan analisis kuantitatif. Analisis kuantitatif dilakukan untuk mengetahui persen kristalinitas produk yang terbentuk pada setiap run.

Metode yang digunakan untuk mengetahui persen kristalinitas produk yang terbentuk yaitu metode basis amorf. Metode basis amorf (*based amorf*) adalah suatu metode yang membandingkan luas kristalin terhadap luas keseluruhan area (amorf + kristalin) dari pola difratogram XRD. Persen kristalinitas produk dari ketiga run yang didapat dengan metode basis amorf dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Persen kristalinitas produk dari ketiga run yang didapat dengan metode basis amorf

Run	Rasio mol TPABr/SiO ₂	Persen kristalinitas
1	0,04 mol/mol	18,7 %
2	0,05 mol/mol	17,5 %
3	0,06 mol/mol	18,9 %

Dari Tabel 2, dapat dilihat pada Run 1 (rasio TPABr/SiO₂ 0,04 mol/mol) diperoleh persen kristalinitas produk sebesar 18,7 %. Hal ini menunjukkan bahwa pada Run 1 terbentuk kristal produk sebesar 18,7 %, sedangkan sisanya 81,3 % merupakan amorf, begitu pula pada Run 2 dan Run 3. Persen kristalinitas produk tertinggi diperoleh pada Run 3 (rasio TPABr/SiO₂ 0,06 mol/mol), yaitu sebesar 18,9 %.



Gambar 4. Grafik hubungan rasio mol TPABr/SiO₂ terhadap persen kristalinitas produk menurut metode basis amorf

Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio mol TPABr/SiO₂ maka semakin tinggi persen kristalinitas produk yang terbentuk. Namun, kecenderungan tersebut tidak signifikan melihat kecilnya kenaikan persen kristalinitas antara Run 1 dan Run 3. Selain itu, pada Run 2 (rasio TPABr/SiO₂ 0,04 mol/mol) tidak terlihat kecenderungan yang sama. Persentase kristalinitas mengalami penurunan yaitu 17,5 %. Pada Run 2, kristal produk yang terbentuk tidak sebanyak Run 1 dan Run 3. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut, reaktan gagal membentuk kristal produk lebih banyak dibandingkan pada Run 1 dan Run 3. Berdasarkan perhitungan basis amorf, kondisi sintesis yang dapat menghasilkan produk dengan kristalinitas tertinggi yaitu kondisi dengan rasio mol TPABr/SiO₂ 0,06 mol/mol.

Dari ketiga run, persen kristalinitas yang didapat dari produk yang dihasilkan relatif sangat kecil. Hal ini disebabkan karena silika yang berasal dari bahan baku (*pretreated bagasse fly ash*) sulit melarut, walaupun kadar silika pada *pretreated bagasse fly ash* tersebut diketahui sangat tinggi (dari hasil analisis gravimetri pada Tabel 1). Sedangkan untuk terbentuknya suatu zeolit, reaktan pembentuk (berupa silika dan alumina) harus mudah melarut untuk diarahkan menjadi inti (monomer) yang selanjutnya membentuk kristal yang semakin besar. Karena silika yang melarut dari bahan baku (*pretreated bagasse fly ash*) sangat sedikit, maka sedikit pula yang membentuk monomer (silika alumina) untuk membentuk kesatuan kristal. Inilah yang menyebabkan kegagalan pada proses sintesis ZSM-5 ini. Dimana ZSM-5 merupakan suatu zeolit dengan rasio mol SiO₂/Al₂O₃ yang tinggi (10-100 mol/mol). Sehingga jumlah silika yang dapat larut dari *pretreated bagasse fly ash* dalam sintesis ini belum memenuhi jumlah silika yang dibutuhkan dalam membentuk ZSM-5.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dalam penelitian ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis kualitatif, proses sintesis yang telah dilakukan tidak menghasilkan produk utama ZSM-5, melainkan terbentuk produk antara berupa *analcim* dan *albite high* serta didominasi oleh silika (SiO₂) sebagai sisa reaktan.
2. Persen kristalinitas produk tertinggi sebesar 18,9 % yang didapat pada kondisi dengan rasio mol TPABr/SiO₂ 0,06 mol/mol.
3. Produk intermediet dominan yang didapat dari hasil sintesis ini yaitu *analcim*.
4. Silika yang terkandung pada *bagasse fly ash* sangat sulit larut, sehingga kurang cocok untuk dijadikan bahan baku sintesis zeolit ZSM-5 yang membutuhkan kelarutan silika yang tinggi.

5 Daftar Pustaka

Andika dan Ginting, Simparmin, Br. 2012. Sintesis Zeolit ZSM-5 dari Fy Ash Baggase dengan Penambah Alumina. Laporan Penelitian, Universitas Lampung

- Chareonpanich M, Namto T, Kongkachuichay P dan Limtrakul J. 2003. Synthesis of ZSM-5 Zeolite from Lignite Fly Ash and Rice Husk Ash. *Fuel Processing Technology* 85 (2004) 1623 – 1634
- CV. Minatama. 2010. *Composition and Properties of ZKK*. Bandar Lampung
- Darmansyah, dkk. 2012. Sintesis Membran Zeolit NaA untuk Dehidrasi Campuran Alkohol-Air dengan Proses Hidrotermal. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia dan Musyawarah Nasional APTEKINDO 2012. RK-03: 740-747
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2012. *Luas Areal Tebu Menurut Provinsi di Indonesia, 2008 – 2012*
- Direktorat Pengembangan Potensi Daerah BKPM. 2012. Potensi Zeolit dari Lampung. <http://regionalinvestment.bkpm.go.id/newsipid/id/commodityara.php?ic=744&ia=18>. 8 September 2013
- Forsela S dan Ginting, Simparmin, Br. 2012. Sintesis ZSM-5 dari Zeolit Alam Kalianda dengan Sumber Silika Penambah yang Berasal dari Sekam Padi; Pengaruh Rasio TPABr/SiO₂ terhadap Kristalinitas Relatif Produk. Laporan Penelitian, Universitas Lampung
- Ginting, Simparmin Br. 1999. *Konversi Zeolit Alam Bayah Menjadi ZSM-5*. Tesis, Institut Teknologi Bandung
- Hamawi M. 2005. *Blotong : Limbah Busuk Berenergi*. Pradya Paramita. Jakarta
- Hanafi SA dan Nandang RA. 2010. *Studi Pengaruh Bentuk Silika dari Abu Ampas Tebu terhadap Kekuatan Produk Keramik*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Jacob PA dan Martens JA. 1987. *Synthesis of High Silica Aluminosilicate Zeolite*. Elsevier Science Publishing Company Inc. Netherlands
- Kulkarni S., dkk. 1982. *Zeolites*, 2, 313
- Kurniati E. 2009. *Ekstraksi Silica White Powder dari Limbah Padat Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Dieng*. UPN Press. Surabaya
- Kusmiyati, Amin NAS dan Siswanto W.A. 2007. Highly Active W-H₂SO₄/HZSM-5 Catalyst for Direct Conversion of Methane into Aromatic di dalam *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 2(2-3), 2007, 32-36. Semarang
- Mustaina dan Ginting, Simparmin, Br. 2013. Penentuan Rasio Mol Pelarut Na⁺/SiO₂ Terbaik pada Sintesis ZSM-5 dari Zeolit Alam Lampung (ZAL) dengan Sumber Silika Penambah *Fly ash bagasse* (FAB) Menggunakan Template Tetra Propyl Ammonium Bromide (TPABr). Laporan Penelitian, Universitas Lampung
- Nurjannah I, Roesyadi A dan Danawati. 2010. *Perengkahan Katalitik Asam Oleat Untuk Menghasilkan Biofuel Menggunakan HZSM-5 Sintesis*. Institut Teknologi Sepuluh November
- Pecharsky, Vitalij K. dan Zavalij, Peter Y. 2005. *Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials*. Springer Science+Business Media, Inc. USA
- PT GUNUNG MADU PLANTATIONS. 2009. *Profile PT Gunung Madu Plantations*. <http://www.gunungmadu.co.id/index.php?modul=about&id=profile>. 8 September 2013

- Purnomo, Chandra W dan Prasetya, Agus. 2007. The Study of Adsorption Breakthrough Curves of Cr (VI) on *Bagasse* Fly Ash (BFA). San Fransisco, USA
- Saripin dan Kurniawan Y. 2010. Pembuatan Katalis HZSM-5 dengan Impregnasi Logam Palladium untuk Perengkahan Minyak Sawit. Institut Teknologi Sepuluh November
- Sutono. 2013. Disbun Lampung Tingkatkan Produksi Tujuh Komoditas Unggulan. ANTARA LAMPUNG. <http://www.antaralampung.com/berita/266560/disbun-lampung-tingkatkan-produksi-tujuh-komoditas-unggulan>. 8 September 2013
- Utomo H dan Ginting, Simparmin, Br. 2012. Sintesis Zeolit ZSM-5 dari Fy Ash Baggase dengan Penambah Alumina. Laporan Penelitian, Universitas Lampung
- Weitkamp J dan Puppe L. 1999. Catalylis and Zeolites Fundamental and Application. Jerman