

Sintesis ZSM-5 dari Coal Fly Ash (CFA) dengan Sumber Silika Penambah yang Berasal dari Abu Sekam Padi: Pengaruh Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ Terhadap Kristalinitas Produk

Azlia Metta^{1*}, Simparmin Br Ginting¹ dan Hens Saputra²

¹Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung,

Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

²Pusat Teknologi Industri Proses - TIRBR, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Gedung Teknologi 2 Lt.3 PUSPIPTEK Tangerang Selatan

Abstract

Coal Fly Ash and rice husk ash can be utilized by converting it into ZSM-5 synthetic zeolite. One of the influencing factors of ZSM-5 synthesis is ratio of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Synthesis of ZSM-5 was carried out in an autoclave at a temperature of 180°C with a variation of the ratio of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, namely 20, 30, 40, 50 and 60 mol/mol during 24 hour crystallization using TPABr template. Characterization of ZSM-5 was conducted using X-ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy, Adsorption-Desorption Analysis of Nitrogen and Acidity. The results showed that the ZSM-5 was formed in all the variations of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratios with the highest percent crystallinity of 52.83%, at the ratio of 50 mol/mol. All products are still in accompany with the formation of side products such as Analsime and Silica Oxide. The ZSM-5 crystal product was in hexagonal shape. Results from Adsorption-Desorption Analysis of Nitrogen indicated that all products were mesoporous materials.

Keywords: crystallinity, mesopore, ZSM-5, silica, rice husk, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ratio

Abstrak

Limbah Coal Fly Ash dan abu sekam padi dapat dimanfaatkan dengan mengkonversi limbah menjadi zeolit sintesis ZSM-5. Salah satu faktor yang mempengaruhi sintesis ZSM-5 adalah rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Sintesis ZSM-5 dilakukan di dalam autoklaf pada suhu 180°C dengan variasi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yaitu 20, 30, 40, 50 dan 60 mol/mol selama waktu kristalisasi 24 jam menggunakan template TPABr. Karakterisasi ZSM-5 menggunakan metode Difraksi Sinar X, Scanning Electron Microscopy, Adsorpsi – Desorpsi Nitrogen dan Analisis Keasaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ZSM-5 terbentuk pada semua variasi $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Persen kristalinitas produk ZSM-5 sebesar 52,83%, ada pada rasio 50 mol/mol. Semua produk masih disertai terbentuknya produk samping seperti Analsime dan Silika Oksida. Kristal ZSM-5 yang dihasilkan berbentuk heksagonal. Hasil Analisis Adsorpsi-Desorpsi nitrogen mengindikasikan bahwa semua sampel adalah material mesopori.

Kata kunci: kristalinitas, mesopori, ZSM-5, sekam, rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

Pendahuluan

Coal Fly Ash (CFA) merupakan hasil samping dari pembakaran batu bara. CFA yang dihasilkan berkisar 80 – 90% dari total abu seluruhnya yang tersusun atas oksida-oksida dari senyawa anorganik antara lain SiO_2 56,0%, Al_2O_3 24,3%, Fe_2O_3 4,9%, K_2O 1,15%. CFA memiliki komposisi kimia yang didominasi oleh silika dan alumina (aluminosilikat) yang menyerupai lempung, karbon aktif dan zeolit (Priyatama, 1996). Produksi CFA di Indonesia mencapai 5,4 juta ton/tahun. Begitu pula dengan limbah abu sekam padi yang berasal dari sektor pertanian.

Kandungan silika dari abu sekam padi dapat mencapai 94%. Produksi sekam padi yang dihasilkan sekitar 360 ton/tahun.

Salah satu pemanfaatan limbah padat CFA dan abu sekam padi adalah dengan mengkonversi limbah menjadi ZSM-5 yang merupakan zeolit kaya silika, memiliki stabilitas thermal dan hidrotermal yang tinggi, memiliki pusat asam, rongga dan pori dengan bentuk dan ukuran yang seragam sehingga dapat dipakai sebagai katalis yang selektif terhadap reaksi. Di industri, ZSM-5 terutama digunakan untuk interkonversi hidrokarbon, contohnya adalah meta-xylene menjadi para-xylene, konversi metanol menjadi benzene, konversi senyawa hidrokarbon beroksigen (alkohol/metanol) dalam biomassa

* Alamat korespondensi: azly_me@yahoo.com

menjadi bensin, dan beberapa proses katalitik lainnya (Setiadi dan Nasikin, 2011).

Berbagai penelitian sintesis zeolit dengan sumber silika penambah yang berasal dari sekam padi hasilnya cukup baik. Menurut Damayanti (2012), sintesis ZSM-5 menggunakan bahan baku zeolit alam Lampung dengan *template Tetra Propyl Ammonium Bromide* (TPABr) dan abu sekam padi sebagai sumber silika penambah, menghasilkan persen kristalinitas tertinggi sebesar 48,32% pada kondisi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 40 mol/mol. Pada tahun 2007, Laksono dan Prasetyoko telah melakukan sintesis ZSM-5 dengan sumber silika penambah yang berasal dari abu sekam padi, tanpa menggunakan *template* organik dan dihasilkan ZSM-5 pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 50 mol/mol, dengan persen kristalinitas relatifnya sebesar 50,19%. Di sisi lain Chareophanic dkk (2003) juga telah berhasil mensintesis ZSM-5 dengan menggunakan bahan baku alumina dan silika yang berasal dari abu layang Batu bara muda (*lignite fly ash*) dan abu sekam padi (*rice husk ash*), serta menggunakan *template* TPABr, menghasilkan ZSM-5 dengan *yield* maksimum sebesar 59% berat, pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 40 mol/mol.

Penggunaan bahan baku CFA dalam sintesis ZSM-5 secara keseluruhan sangat sulit untuk mencapai kristalinitas yang tinggi karena tidak semua komponen dalam bahan baku CFA dapat terlarut meski memiliki kandungan silika yang cukup tinggi. Oleh karenanya, silika penambah abu sekam padi yang kebanyakan bersifat amorf dapat digunakan untuk meningkatkan nilai kristalinitas.

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis ZSM-5 dari CFA PLTU Tarahan menggunakan *template Tetra Propyl Ammonium Bromide* (TPABr) dan sumber silika penambah yang berasal dari abu sekam padi dengan variasi rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yaitu 20, 30, 40, 50, 60 mol/mol sehingga didapatkan kondisi terbaik berupa rasio antara $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ terhadap persentase kristalinitas ZSM-5 tertinggi.

Metode Penelitian

Bahan

1. Preparasi Silika Abu Sekam Padi
Sekam Padi, Larutan HCl (37% wt, Merck), dan Aquades.
2. Sintesis ZSM-5
CFA yang berasal dari pembakaran Batu bara di PLTU Tarahan dengan komposisi SiO_2 55,3% ; Al_2O_3 23,5% ; Fe_2O_3 4,87% ; K_2O

1,11% ; Na_2O 1,87% ; CaO 5,68% ; MgO 2,73% ; TiO_2 0,51% ; MnO 0,03% (PLTU Tarahan, 2012). Sumber silika penambah dari abu sekam padi yang di analisis menggunakan metode gravimetri didapat komposisi SiO_2 sebesar 79%, NaOH (99%wt, Merck), TPABr (*tetra propil ammonium bromide*) (95%wt, Aldrech), Aquades, H_2SO_4 (95% wt, Merck).

Penetapan Variabel

Pada penelitian ini yang merupakan variabel tetap adalah rasio *template* TPABr/ SiO_2 0,05 mol/mol, rasio $\text{H}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ 30 mol/mol, rasio Na^+/SiO_2 0,2 mol/mol waktu kristalisasi selama 24 jam, suhu 180° dengan tekanan autogenous. Sedangkan variabel berubah nya adalah rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yaitu 20, 30, 40, 50, 60 mol/mol.

Prosedur Penelitian

1. Preparasi Abu Sekam Padi (Chareophanic dkk, 2003)
 - a. Sekam padi sebanyak 100 gram direndam dengan larutan HCl 1 M selama 2,5 jam. Setelah 2,5 jam sampel sekam padi yang mengapung dibuang sedangkan yang terendam disaring untuk kemudian dicuci dengan aquades sebanyak 3-4 kali.
 - b. Sampel yang telah dicuci dan disaring kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 120°C selama 3 jam, setelah kering dibakar dalam *furnace* pada suhu 600°C selama 2 jam hingga diperoleh abu berwarna putih untuk kemudian dihaluskan.
2. Sintesis ZSM-5 (Chareophanic dkk,2003)
 - a. Semua bahan disiapkan dengan ditimbang dan dibagi dengan berat yang sesuai dengan yang diinginkan.
 - b. Membuat larutan dari bahan yang sudah disiapkan:
 - Larutan A dibuat dengan melarutkan CFA kedalam 10 ml aquades
 - Larutan B dibuat dengan melarutkan NaOH kedalam 10 ml aquades
 - Larutan C dibuat dengan melarutkan TPABr kedalam 10 ml aquades
 - c. Larutan A di masukan kedalam gelas kimia berisi 50 ml aquades. Kemudian ditambahkan sedikit demi sedikit silika (yang berasal dari abu sekam padi) dan terus diaduk. Setelah campuran tersebut homogen, maka ditambahkan larutan B sedikit demi sedikit dan terakhir ditambahkan larutan C. Campuran yang dihasilkan memiliki pH berkisar 11-13. Untuk memperoleh pH 11, kedalam larutan

tersebut ditambahkan H₂SO₄ 1 N setetes demi setetes hingga dicapai pH 11. Campuran akhir yang dihasilkan berupa gel yang berwarna putih. Campuran yang dihasilkan dimasukkan ke dalam autoklaf dan dipanaskan pada suhu tetap 180°C dengan tekanan *autogenous*. Padatan yang terbentuk dari hasil pemanasan tersebut disaring, dicuci dengan aquades 2 kali, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C. Sampel dikalsinasi untuk menghilangkan TPABr dan H₂O yang terikat pada suhu 550°C selama 5 jam.

3. Ion Exchange NaZSM-5 Menjadi HZSM-5 (Nurjannah, dkk, 2010)

Sampel diberi perlakuan untuk pertukaran ion NaZSM-5 menjadi HZSM-5 agar dapat diaplikasikan pada proses *cracking biofuel* :

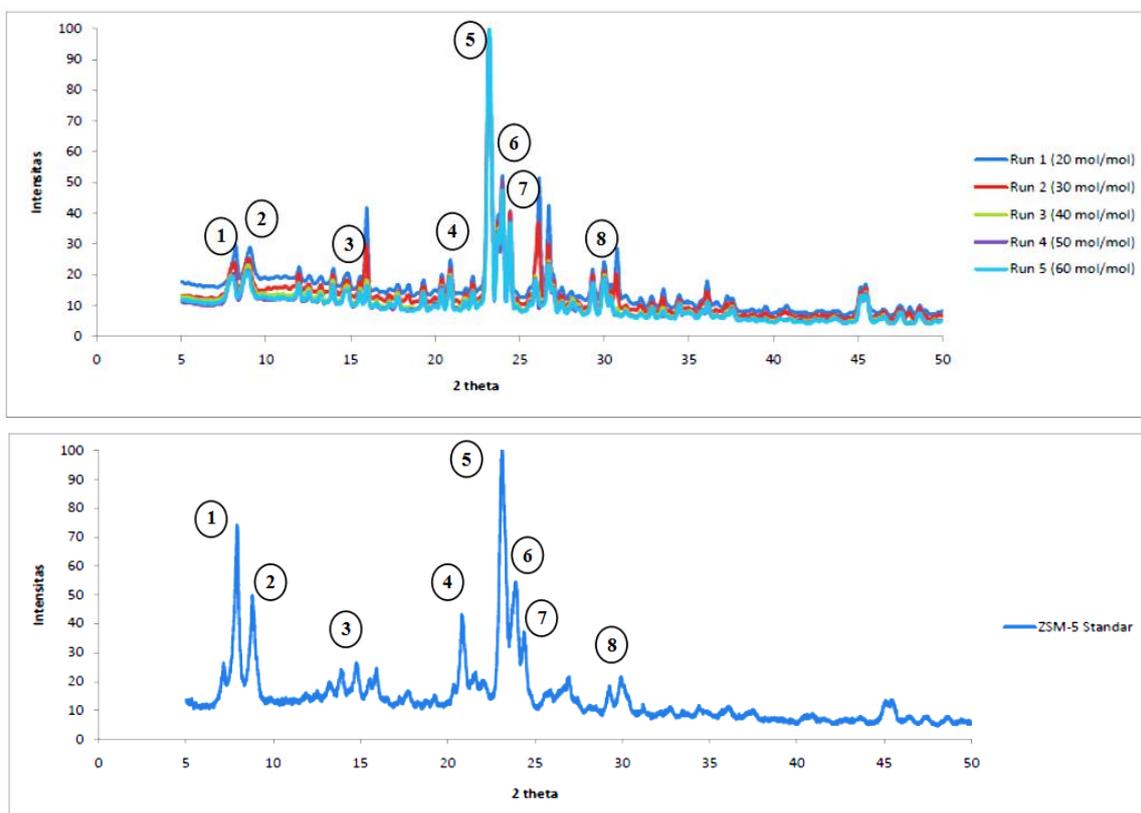
- a. Na-Zeolit dimasukkan ke dalam larutan NH₄Cl 2M (1:10) selama 12 jam, kemudian disaring kemudian dicuci dengan aquades (Langkah ini dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap sampel).
- b. NH₄-Zeolit yang terbentuk dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C selama 24 jam.
- c. Kemudian dikalsinasi pada suhu 800°C selama 5 jam untuk mendapatkan H-Zeolit.

Hasil dan Pembahasan

Seluruh tahapan analisis dilakukan setelah sampel produk dikalsinasi. Proses kalsinasi dilakukan dengan tujuan untuk membebaskan permukaan pori dari molekul TPABr maupun H₂O yang mengakibatkan pori – pori tertutup.

X-ray Diffraction (XRD)

Produk hasil sintesis dikarakterisasi untuk mengetahui struktur yang dihasilkan dengan metode Difraksi sinar-X (XRD). Dari hasil analisa XRD pada Gambar 1 dapat terlihat bahwa pada proses sintesis ZSM-5 dengan bahan baku *fly ash* dan silika penambah abu sekam padi semua sampel menunjukkan adanya puncak spesifik dari ZSM-5 yaitu pada sudut 2θ antara 7,8- 8° dan 22 - 23° (Laksono dan Prasetyoko, 2007). Hal tersebut menandakan bahan baku *fly ash* batu bara dapat meluruh menjadi produk ZSM-5. Pada Gambar 1, beberapa puncak difraksi lebih rendah intensitasnya dari standar. Hal ini menunjukkan sedikitnya kristal ZSM-5 yang terbentuk dan kemungkinan masih adanya silika yang tidak bereaksi pada saat proses hidrotermal, proses pencampuran maupun proses pengadukan.



Gambar 1. Pola Difraksi ZSM-5 Produk dan Standar

Metode yang digunakan untuk menghitung persen kristalinitas ada adalah Metode ASTM No D3906 – 03 (2013) Standard Test Method for *Determination of Relative X-ray Diffraction Intensities of Tetrapropyl ZSM-5* dengan cara membandingkan 8 puncak tertinggi dari pola difraktogram sinar-X hasil sintesis terhadap 8 puncak tertinggi difraktogram sinar-X ZSM-5 standar (*Mobile Oil*).

Tabel 1. Persen Kristalinitas ZSM-5 Produk

Sampel	Kristalinitas (%)
Run 1 (20 mol/mol)	41,15
Run 2 (30 mol/mol)	48,79
Run 3 (40 mol/mol)	49,28
Run 4 (50 mol/mol)	52,83
Run 5 (60 mol/mol)	51,41

Berdasarkan interpretasi data pada Tabel 1, dapat diketahui bahwa persen kristalinitas produk cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Namun nilai tersebut turun pada rasio Si/Al 60 mol/mol. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh sifat dari ZSM-5 yang memiliki fasa metastabil dimana terjadi keadaan kesetimbangan antara embrio inti kristal, gel amorf sisa, dan larutan lewat jenuh (Hadi, 1993). Dari analisis XRD juga dapat diketahui bahwa sampel membentuk produk samping berupa *Sodium Aluminium Silica Hydrate (Analcime)* dan masih mengandung impuritas berupa *Silica oxide*. Analisis lanjutan dilakukan pada 3 sampel produk yang mewakili pada awal kenaikan nilai kristalinitas dan pada saat turunnya nilai kristalinitas.

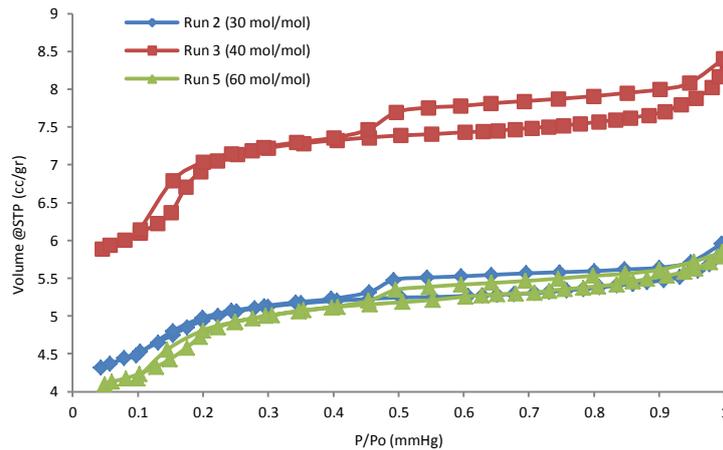
Adsorpsi – Desorpsi Nitrogen

Analisis Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen digunakan untuk menentukan ukuran pori dan menentukan luas permukaan berturut-turut melalui metode Isoterm Langmuir, BJH dan BET. Proses analisa material meso pori dapat diketahui melalui metode grafik isoterm langmuir berdasarkan nilai perbandingan P/Po (mmHg) terhadap volume N_2 per gram sampel (cc/g).

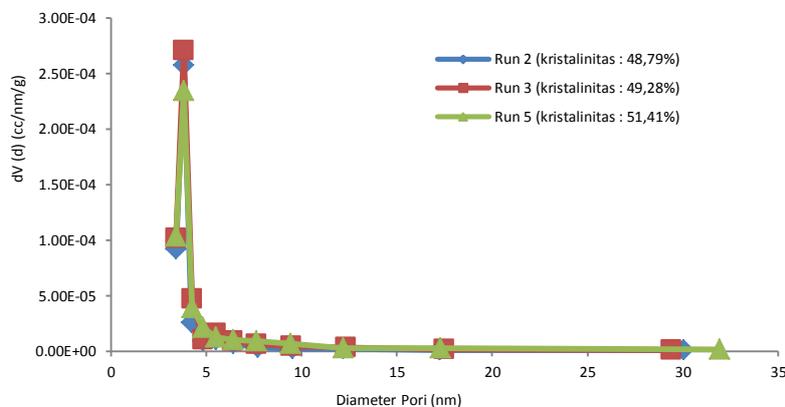
Grafik isoterm langmuir yang ditunjukkan pada Gambar 2 menggambarkan grafik tipe IV yang merupakan sifat khas material mesopori dimana terdapat loop histerisis pada semua sampel yang berbeda variasi rasio Si/Al nya. Dari grafik dapat terlihat bahwa pada tekanan P/Po = 0,1 gas yang teradsorp sangat sedikit dan daerah monolayer belum penuh kemudian pada saat

tekanan dinaikkan lebih dari 0,1 mulai terjadi adsorpsi gas yang menjenuhi monolayer. Perubahan gas yang tajam terjadi pada tekanan relatif (P/Po) sekitar 0,1 – 0,3 yang menunjukkan terjadinya pengisian mesopori. Semua sampel menunjukkan pola yang sama, dengan kata lain semua sampel mengindikasikan adanya mesopori. Indikasi tersebut diperkuat dengan terjadinya loop histerisis atau percabangan yaitu ketika tekanan diturunkan untuk desorpsi gas dimana jumlah gas yang terdesorpsi tidak sama dengan jumlah gas yang teradsorpsi di awal. Pada tekanan yang sama, jumlah gas yang tertinggal di permukaan material ketika desorpsi masih lebih banyak dibandingkan ketika adsorpsi. Dengan kata lain, jumlah gas yang terdesorpsi masih lebih banyak dibandingkan ketika adsorpsi. Loop histerisis disebabkan oleh fenomena kondensasi kapiler (Purnamasari dan Prasetyoko, 2010). Isoterm adsorpsi-desorpsi nitrogen semua sampel menunjukkan adanya loop histerisis. Pada Gambar 2, loop histerisis teramati saat desorpsi pada tekanan relatif P/Po 0,45 – 1 pada semua sampel. Loop histerisis yang paling besar terjadi pada sampel run 3 yang menunjukkan bahwa N_2 yang tertinggal pada saat desorpsi paling besar. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pada sampel run 3 memiliki jumlah mesopori paling banyak.

Karakteristik padatan berpori meso juga dapat dilihat dari data grafik distribusi ukuran pori dengan menggunakan metode BJH (Barret, Joiner, Halenda). Secara umum dapat terlihat pada Gambar 3 bahwa tidak ada keseragaman distribusi pori pada seluruh sampel. Hal tersebut diakibatkan adanya fasa amorf pada sampel sehingga menyebabkan distribusi pori beragam. Pada titik diameter pori yang besar namun volume porinya sangat kecil menunjukkan bahwa pori tersebut tidak memiliki volume yang dapat digunakan untuk mengakses reaktan. Pada Gambar 2 terlihat bahwa sampel padatan menunjukkan pori berukuran meso dalam rentang pengukuran isotherm $\text{P/Po} \geq 0,05$ mmHg. Semakin besar nilai kristalinitas suatu sampel menunjukkan bahwa semakin sempit distribusi porinya. Hal ini dapat terlihat pada Gambar 3 yang menunjukkan bahwa pada diameter pori sekitar 2 - 5 nm yang merupakan ukuran pori yang dapat digunakan untuk mengakses reaktan. Gambar 3 memberikan indikasi bahwa distribusi ukuran pori semua sampel pada daerah mesopori.



Gambar 2. Grafik Isoterm Langmuir



Gambar 3. Grafik distribusi ukuran pori

Dengan menggunakan metode BET didapat luas permukaan spesifik, volume pori, dan diameter pori dari produk yang dihasilkan. Pada Tabel 2 dapat terlihat bahwa luas permukaan dipengaruhi oleh volume pori dan diameter pori. Hal ini terjadi karena ukuran diameter pori yang kecil (dalam rentang mesopori 2 - 5 nm) akan membuat jumlah pori semakin banyak sehingga akan semakin besar pula luas permukaannya. Lain halnya dengan volume pori, semakin besar volume pori yang dihasilkan akan semakin besar luas permukaannya. Dari 3 sampel yang dianalisis BET, hanya sampel pada rasio 40 mol/mol yang sesuai dengan luas permukaan ZSM-5 yang digunakan untuk reaksi esterifikasi ($\geq 300 \text{ m}^2/\text{g}$) yaitu $306,284 \text{ m}^2/\text{g}$. Menurut Purnamasari dan Prasetyoko (2010) persen kristalinitas tidak berpengaruh terhadap diameter pori ZSM-5, karena yang mempengaruhi diameter pori adalah ukuran *template* yang digunakan pada saat sintesis. Diameter pori rata - rata terbesar dimiliki oleh sampel pada rasio mol 30 mol/mol sebesar 2,44 nm, sedangkan diameter pori terkecil dimiliki oleh sampel dengan rasio 40 mol/mol sebesar 2,39 nm. Hal tersebut

menunjukkan bahwa ZSM-5 yang terbentuk merupakan ZSM-5 yang memiliki kisaran diameter *mesopori* (2 - 5 nm). Katalis dengan ukuran pori meso sangat baik untuk reaksi esterifikasi karena produk dari reaksi esterifikasi yang berukuran besar akan lebih mudah mencapai sisi aktif katalis jika menggunakan pori meso.

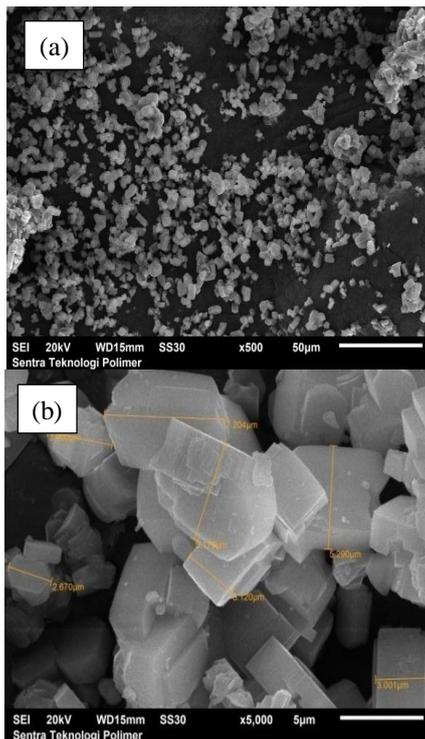
Tabel 2. Hasil analisis dengan metode BET

Run	Rasio (mol/mol)	Luas Permukaan (m^2/g)	Total Volume Pori (cc/g)	Diameter Pori Rata -Rata(nm)
2	30	245,629	0,1499	2,44
3	40	306,284	0,1828	2,39
5	60	281,132	0,1703	2,42

Analisis SEM (Scanning Electron Microscopy)

Analisis ini dilakukan hanya pada sampel dengan rasio Si/Al 60 mol/mol. Hal tersebut dikarenakan pada penelitian ini menggunakan jenis *template* yang sama. Seperti yang dipaparkan dalam penelitian Yusri (2012), dengan jenis *template* yang sama dan variasi konsentrasi *template*, dalam hal ini Organosilena TPAHC, yang mempengaruhi perbedaan bentuk

pada morfologi zeolit NaA. Oleh karena itu peneliti hanya melakukan analisis SEM pada salah satu sampel dengan kristalinitas tinggi. Karakterisasi SEM pada padatan ZSM-5 bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan dan keseragaman ukuran partikel dari suatu sampel (Laksono dan Prasetyoko, 2007). Gambar 4 menunjukkan terlihat partikel berbentuk heksagonal meskipun masih banyak yang menyatu membentuk gumpalan. Gumpalan tersebut memperlihatkan bahwa tidak adanya keteraturan dan keseragaman morfologi partikel pada sampel yang menyebabkan rendahnya persen kristalinitas. Padahal keseragaman dan keteraturan morfologi kristal akan memberikan aksesibilitas yang baik ke situs pusat aktif dan juga dapat memberikan mobilitas yang tinggi terhadap produk reaksi (Setiadi dan Nasikin, 2011). Partikel heksagonal tersebut memiliki perkiraan panjang antara 5,2 – 5,3 μm dengan perkiraan lebar antara 2,6 – 7,2 μm dan perkiraan tinggi antara 3,0 - 3,1 μm .



Gambar 4. Foto SEM pada perbesaran (a) 500x, (b) 5000x

Analisis Keasaman

Analisis keasaman dilakukan setelah sampel diberi perlakuan pertukaran ion dengan mengubah sampel NaZSM-5 menjadi HZSM-5 dengan larutan NH_4Cl . Keasaman katalis dianalisis untuk mengetahui jumlah situs asam yang terdapat pada sampel katalis dimana

keasaman yang tinggi dapat meningkatkan kinerja katalis sehingga konversi dan *yield* dapat diperoleh seoptimal mungkin sesuai dengan suhu operasi yang tepat (Setiadi dan Pertiwi, 2007). Jumlah situs asam dengan amoniak sebagai basa adsorbat merupakan jumlah situs asam total dengan asumsi bahwa ukuran molekul NH_3 yang kecil memungkinkan masuk sampai ke dalam pori-pori katalis (Rodiansono dkk., 2007). Purnamasari dan Prasetyoko (2010) menyatakan bahwa apabila dibandingkan dengan luas permukaannya, sifat keasaman memiliki sifat yang sebanding dengan luas permukaan. Hal ini terlihat pada hasil penelitian pada Tabel 3, semakin besar luas permukaan katalis, maka semakin banyak sisi asamnya. Pada hasil penelitian ini dapat terlihat bahwa sisi asam yang paling banyak terdapat pada rasio 40 mol/mol yang memiliki luas permukaan terbesar yaitu 306,284 m^2/g .

Tabel 3 Hasil Analisis Keasaman

Rasio Si/Al	Luas Permukaan (m^2/gr)	Jumlah Situs Asam Total (mmol NH_3/gr Katalis)
30	245,629	2,94
40	306,284	5,882
60	281,132	5

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis XRD untuk semua variasi rasio Si/Al, proses sintesis berhasil dengan terbentuknya produk utama ZSM-5 dengan produk sampingnya ansim dan impuritas silika oksida dengan perolehan kristalinitas tertinggi pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 50 mol/mol sebesar 52,83%. Dari hasil karakterisasi adsorpsi-desorpsi Nitrogen dengan metode *Isoterm Langmuir* dan BJH memperlihatkan adanya material mesopori dengan luas permukaan dan volume pori paling besar diperoleh pada rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 40 mol/mol; sedangkan ukuran pori untuk setiap run yang dianalisis nilainya hampir sama yaitu sekitar 2,4 nm. Dari seluruh hasil analisis dapat disimpulkan bahwa hasil produk terbaik dimiliki oleh sampel dengan rasio Si/Al 40 mol/mol dengan persen kristalinitas total produk sebesar 49,28% untuk persen kristalinitas ZSM-5 produk, dengan luas permukaan sebesar 306,284 m^2/g , total volume pori 0,1828 cc/g , diameter pori rata – rata 2,39 nm dan jumlah situs asam total sebesar 5,882 $\frac{\text{mmolNH}_3}{\text{grkatalis}}$. Hasil ini membuka peluang pemanfaatan zeolit ZMS hasil sintesis sebagai katalis.

Daftar Pustaka

- Chareophanic, M., Teerapong Namto., Paisan K. and Jumras L. 2003. Synthesis of ZSM-5 zeolite from lignite fly ash and rice husk ash. Bangkok : Kasetsart University
- Damayanti, T. 2012. Penentuan Rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ terbaik Pada Sintesis ZSM-5 Dari Zeolit Alam Lampung Dengan Sumber Silika Penambah Abu Sekam Padi. Universitas Lampung : Bandar Lampung
- Hadi, S.K. 1993. Pembuatan dan Karakterisasi Zeolit A dari Sekam Padi, Skripsi 86/57716/PA/3926. UGM: Yogyakarta.
- Laksono, A dan Prasetyoko, D. 2007. Abu Sekam Padi Sebagai Sumber Silika Pada Sintesis Zeolit ZSM-5 Tanpa Menggunakan Templat Organik. Akta Kimia Indonesia Vol.3: Surabaya.
- Nurjannah, Irmawati., Roesyadi, A., dan Danawati. 2010. Perengkahan Katalitik Asam Oleat Untuk Menghasilkan Biofuel Menggunakan HZSM-5 Sintesis. Teknik Kimia FTI : ITS
- Prijatama, H. 1996. Abu Terbang dan Pemanfaatannya. Seminar Nasional Pemanfaatan Energi Batu bara. Pulitbang Geoteknologi LIPI: Serpong.
- Purnamasari, I dan Prasetyoko, D. 2010. Sintesis & Karakterisasi ZSM-5 Mesopori serta Uji Aktivitas Katalitik pada Reaksi Esterifikasi Asam Lemak Stearin Kelapa Sawit. FMIPA : ITS.
- PLTU Tarahan. 2010. Data Pusat penelitian dan pengembangan teknologi mineral dan Batu bara sample CFA jenis lignit dan sub-bituminos PT. PLN sektor Pembangkitan Tarahan. Lampung
- Rahmawati, Z., dan Prasetyoko, D. 2009. Sintesis TS-1 Mesopori Menggunakan Prekursor dengan Variasi Waktu Hidrotermal. Kimia MIPA : ITS.
- Rodiansono, Trisunaryanti, M., dan Triyono. 2007. Pembuatan, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis NiMo/Z dan NiMo/Z-Nb₂O₅ pada Reaksi Hidrorengkah Fraksi Sampah Plastik menjadi Fraksi Bensin. Jurnal Berkala MIPA: Universitas Lambung Mangkurat.
- Setiadi, S., dan Pertiwi, A. 2007. Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam untuk Konversi Senyawa Abe menjadi Hidrokarbon. Prosiding Kongres dan Simposium Nasional.
- Setiadi, S., dan Nasikin, M. 2011. Study on Crystallization Stage for ZSM-5 preparation. International QIR, Bali
- Tim Redaksi. 2010. Ragam Pemanfaatan Limbah Padat Pembangkitan. Tanjung Jati. April 2010.
- Yusri, Silvia. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit ZSM-5 Mesopori dengan Secondary Template dan Studi Awal Katalisis Oksidasi Metana. FMIPA: UI.