

Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Berbahan Dasar Limbah Padat Industri Kertas (*Dregs*) dengan Penambahan Abu Sekam Padi

Fitri Anawati^a, Ahmad Suseno^{a*}, Taslimah^b

^a Physical Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

^b Inorganic Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

* Corresponding author: suseno@live.undip.ac.id

Article Info

Keywords:
paper sludge,
refluks, synthesis
zeolites

Kata kunci:
limbah kertas,
refluks, sintesis
zeolit

Abstract

Zeolite synthesis research has been conducted by refluxing the basic material of paper industry wastes type dregs. Dregs ash and NaOH 3M solution were mixed into a flask under refluxing at temperature of 90°C for 5 hours. Synthesis of zeolites was done with a variety of rice husk ash additions. The resulting zeolite further was characterized using Infrared Spectroscopy, X-Ray Difrraction and Surface Area Analyzer. Characterization results indicate a major functional groups TO_4 at wavenumber by 1250–900 cm^{-1} . The nature of zeolite crystallinity forms a mixture of mineral anorthite and gehlenite. Characterization of surface properties produced an average pore size of 13,37 Å. Based on the synthesis characterization of the, gives the best variation of addition of 6.4 g of rice husk ash (Z₄), which has a specific surface area 18–0953 m^2/g and pore volume 12.081 cm^3/g .

Abstrak

Telah dilakukan penelitian sintesis zeolit menggunakan bahan dasar limbah industri kertas berjenis dregs secara refluks. Abu dregs dengan larutan NaOH dicampur ke dalam labu refluks pada temperatur 90°C selama 5 jam. Sintesis zeolit dengan variasi penambahan abu sekam padi. Zeolit yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi menggunakan Spektroskopi Inframerah, Difraksi Sinar-X dan Analisis Luas Permukaan. Hasil karakterisasi menunjukkan gugus fungsi utama TO_4 pada bilangan gelombang 1250–900 cm^{-1} . Sifat kristalinitas zeolit masing-masing membentuk campuran mineral anorthite dan gehlenite. Karakterisasi sifat permukaan menghasilkan ukuran pori rata-rata 13,37 Å. Berdasarkan karakterisasi hasil sintesis, produk sintesis zeolit terbaik yaitu variasi penambahan 6,4 g abu sekam padi (Z₄) yang mempunyai luas permukaan spesifik 18,0953 m^2/g dan volume pori 12,081 cm^3/g .

1. Pendahuluan

Industri kertas merupakan salah satu industri yang terbesar di dunia dengan menghasilkan 178 juta ton pulp, 278 juta ton kertas dan karton serta menghabiskan 670 juta ton kayu setiap tahunnya. Kebutuhan kertas dunia akan meningkat 2–3,5% setiap tahunnya. Semakin tinggi angka produksi kertas, maka akan meningkat pula angka limbah yang dihasilkan. Proses pembuatan pulp menghasilkan larutan berwarna coklat kehitaman yang disebut dengan lindi hitam (*black liquor*). Lindi hitam

yang dihasilkan dapat didaur ulang dan menghasilkan limbah padat yang disebut dregs. Limbah padat dregs jumlahnya sekitar ±70 ton/hari. Selama ini, limbah padat dregs tidak dimanfaatkan dengan baik sehingga dapat mencemari lingkungan. Limbah padat tersebut memiliki komposisi 26,35% Al_2O_3 dan 55,25% SiO_2 yang menunjukkan bahwa limbah dregs berpotensi sebagai bahan pembuatan zeolit sintetik [1].

Pemanfaatan limbah padat dregs bertujuan untuk merubah sifat material yang tidak bermanfaat menjadi

material baru yang lebih bermanfaat, yaitu zeolit sintetik. Zeolit sintetik sudah banyak digunakan di industri namun di Indonesia belum banyak diproduksi dan umumnya diperoleh dari impor. Indonesia banyak membutuhkan zeolit sintetik untuk proses-proses kimia di industri kimia sebagai katalis, ion exchanger, dan adsorben. Pengolahan limbah industri juga membutuhkan zeolit sintetik yang mempunyai kemurnian tinggi dan kualitas baik. Bahan baku pembuatan zeolit adalah bahan yang mengandung silika dan alumunium. Berdasarkan komposisi limbah padat dregs di atas, maka limbah tersebut dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan zeolit sintetik.

Zeolit sintetik dapat dibuat dari *fly ash* [2], dan abu sekam padi [3]. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Belviso *dkk.* [2] adalah pembuatan zeolit X dari *fly ash* secara hidrotermal yang digunakan untuk penjernihan air. Kandungan *fly ash* meliputi SiO_2 48,47% dan Al_2O_3 28,03%. Sedangkan Yusof *dkk.* [3] melakukan penelitian pembuatan zeolit dari abu sekam padi. Komposisi kimia abu sekam padi SiO_2 91,65% dan Al_2O_3 0,27% yang dapat digunakan sebagai sumber silika dalam pembuatan zeolit NaX, NaY dan NaA. Tingginya kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 dari abu sekam padi menjadi keunggulan dalam pembuatan zeolit.

Penelitian tentang konversi limbah kertas telah dilakukan oleh Wajima *dkk.* [1] dengan penambahan diatomit sebagai sumber silika. Komposisi kimia diatomit adalah SiO_2 92,8% dan Al_2O_3 3,4% tidak jauh berbeda dengan sekam padi, yaitu SiO_2 73,49% dan Al_2O_3 4,95% maka sekam padi juga dapat digunakan sebagai sumber silika tambahan dalam pembuatan zeolit. Berdasarkan hasil penelitian di atas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis zeolit menggunakan bahan dasar limbah padat dregs. Adanya variasi penambahan sumber silika abu sekam padi, struktur zeolit diharapkan mempunyai kristalinitas, ukuran pori, luas permukaan dan volume pori yang baik.

2. Metodologi Penelitian

Alat dan Bahan

Oven (Ariston type F-16-EM-IN-02), Furnace (Naberthem), neraca analitik (Kern 870), spektroskopi serapan atom (AAS), *Energy dispersive spectrometry* (EDS), difraksi sinar-X (XRD) (Shimadzu 6000), spektrofotometer FT-IR (Shimadzu), *Surface Area* (Nova 1000 *Gas Sorption Analyzer*), gelas ukur, gelas beker, cawan petri, *hot plate*, mortar, labu leher tiga, kondensor dan thermometer. Natrium hidroksida (Merck), akuades, limbah padat dregs (PT. TPL Porsea) dan sekam padi.

Pengabuan limbah padat dregs

Limbah kertas dalam bentuk padatan lembab dikeringkan di bawah sinar matahari. Setelah kering, dipanaskan di atas kompor minyak sampai menjadi arang. Proses pengabuan dilakukan dengan *furnace* pada suhu 700°C selama 4 jam. Abu yang dihasilkan dihomogenisasi dengan ayakan 80 mesh dan dikarakterisasi dengan AAS untuk mengetahui

kandungan logam Si dan Al. Selain itu, karakterisasi juga dilakukan dengan EDS.

Pengabuan sekam padi

Sekam padi dikeringkan di bawah sinar matahari. Setelah kering, dipanaskan di atas kompor minyak sampai menjadi arang. Proses pengabuan dilakukan dengan *furnace* pada suhu 700°C selama 4 jam. Abu yang dihasilkan dihomogenisasi dengan ayakan 80 mesh dan dikarakterisasi dengan AAS untuk mengetahui kandungan logam Si dan Al.

Sintesis zeolit dari abu limbah padat dregs

Larutan NaOH dengan konsentrasi 3 M dicampur dengan 10 g abu limbah kertas dan abu sekam padi (0; 1,6; 3,2 dan 6,4 g) ke dalam gelas beker dan didiamkan selama 24 jam. Variasi penambahan sekam padi selanjutnya berturut-turut disebut dengan Z1, Z2, Z3 dan Z4. Kemudian dimasukkan ke dalam labu leher tiga dengan pemanasan pada temperatur 90°C selama 5 jam. Sampel didiamkan sampai dingin kemudian fasa padatan disaring dari fasa cair menggunakan kertas *Whatmann* 42. Produk padatan dicuci dengan akuades. Produk didiamkan dalam oven pengeringan pada suhu 60°C selama satu malam. Produk akhir di analisis dengan FTIR, XRD dan SAA.

3. Hasil Dan Pembahasan

Pembuatan abu dregs

Limbah padat kertas yang berwarna hitam (dregs) merupakan residu dari proses daur ulang lindi hitam menjadi lindi putih. Dregs yang diperoleh dalam kondisi lembab, oleh karena itu dregs tersebut dikeringkan di bawah sinar matahari langsung agar kandungan airnya hilang dan dilanjutkan pemanasan dengan oven.

Pengabuan limbah padat dregs pada suhu 700°C selama 4 jam. Suhu ini merupakan suhu optimum dari pengabuan dregs. Rendemen dari 15 g limbah kertas menghasilkan 9,3 g (62%) abu limbah kertas. Abu dregs sebelum digunakan perlu di analisis terlebih dahulu menggunakan *Energy Dispersive X-ray Microanalysis* (EDX).

Tabel 1: Kandungan massa oksida abu dregs

Oksida	Massa,%
CaO	50,23
C	18,71
Na ₂ O	11,02
SO ₃	8,63
K ₂ O	4,39
FeO	2,22
MgO	2,12
SiO ₂	1,71
Al ₂ O ₃	0,97

Kadar silika dregs yang rendah (1,71%) jika digunakan sebagai sumber silika pada sintesis zeolit

sangat tidak efektif, maka penggunaan dregs sebagai bahan baku sintesis perlu adanya penambahan sumber silika yang lain.

Pembuatan abu sekam padi

Pembuatan abu sekam padi melalui proses pengarangan sampai sekam padi berubah warna dari kuning menjadi hitam. Proses pengarangan atau karbonasi bertujuan untuk mengubah sekam padi menjadi arang sekam padi dan menghilangkan komponen organik yang menguap pada temperatur yang tidak terlalu tinggi.

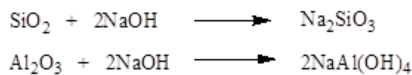
Temperatur pengabuan yang dilakukan adalah 700°C selama 4 jam, hal ini dikarenakan temperatur tersebut merupakan temperatur optimum pengabuan sekam padi [3]. Pengabuan di bawah temperatur 700°C akan menghasilkan abu berwarna kecoklatan yang dimungkinkan masih mengandung hidrokarbon, sedangkan pengabuan di atas temperatur 700°C akan menghasilkan silika yang bersifat kristal. Dalam proses pengabuan, hidrokarbon dalam sekam padi teroksidasi menghasilkan CO₂ dan H₂O yang menguap sehingga yang tersisa adalah bahan anorganik terutama SiO₂. Rendemen dari 20 g arang sekam padi menghasilkan 11 g (55%) abu sekam padi.

Abu sekam padi sebelum digunakan perlu di analisis terlebih dahulu menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopic* (AAS). Hasil analisis yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kandungan SiO₂ abu sekam padi 73,49% dan 4,95% Al₂O₃. Kandungan abu sekam padi di atas memiliki potensi sebagai sumber silika pada pembuatan zeolit.

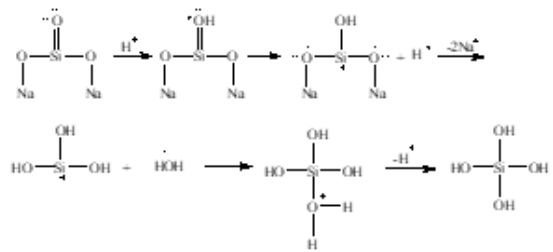
Sintesis zeolit

Sintesis zeolit dalam penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan produk zeolit dengan kristalinitas yang baik, ukuran pori besar dan luas permukaan besar. Untuk memperoleh produk tersebut, sintesis menggunakan natrium hidroksida yang berfungsi sebagai reaktan dalam proses reaksi membentuk natrium silikat. Sumber silika dan alumunium berasal dari abu dregs. Kandungan silika hasil analisis dregs sebesar 1,71% dan 0,97% alumina. Melihat kecilnya kandungan silika dan alumina dari abu dregs maka perlu adanya penambahan sumber silika dan alumina berupa abu sekam padi.

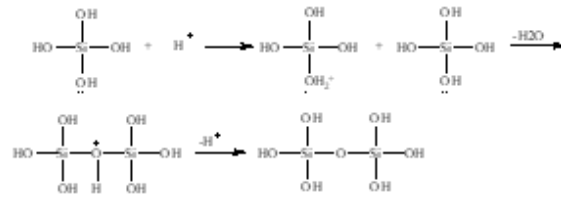
Pencampuran abu dregs dan abu sekam padi dengan larutan NaOH direndam (*ageing*) selama 24 jam. Reaksi yang terjadi selama *ageing* adalah sebagai berikut [4]:



Selama proses *ageing*, silika dan NaOH bereaksi membentuk natrium silikat [5]. Natrium silikat dengan H₂O bereaksi membentuk monomer-monomer bebas asam silikat. Asam silikat terdispersi dalam air membentuk silanol.



Gugus Si-OH dan Si-O⁻ dalam jumlah yang relatif banyak akan mengalami reaksi kondensasi membentuk siloksan. Reaksi pembentukan siloksan dapat ditunjukkan dengan mekanisme berikut: [6].

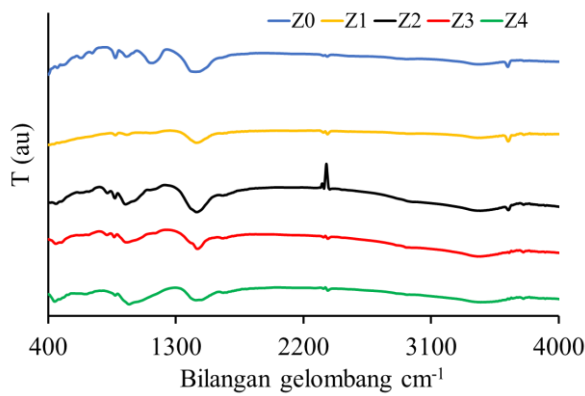


Proses sintesis selanjutnya dengan metode *refluku* menggunakan prinsip pemanasan tanpa adanya senyawa yang hilang karena penguapan [7]. Proses *refluku* merupakan proses di mana terjadinya kristalisasi dari sistem larutan. Pada tahap pembentukan kristal, adanya pemanasan menyebabkan struktur kristal amorf mengalami penataan ulang struktur sehingga dapat terbentuk embrio inti kristal. Pada kondisi ini terjadi kesetimbangan antara embrio inti kristal dan larutan lewat jenuh yang disebut dengan keadaan metastabil. Tahap ini merupakan tahap pertumbuhan kristal.

Proses penataan ulang struktur ini bersamaan dengan pembentukan inti kristal (nukleasi) dan pertumbuhan kristal. Pengaturan suhu dan waktu *refluku* bertujuan untuk mengendalikan laju pembentukan dan pertumbuhan kristal zeolit sehingga sifat kristalinitas zeolit yang terbentuk semakin baik. Selama pemanasan berlangsung, struktur kerangka aluminosilikat mulai terbentuk dan akan menjadi struktur 3 dimensi dari suatu zeolit.

Karakterisasi gugus fungsi

Karakterisasi zeolit sintetik dengan menggunakan spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) pada penelitian ini dilakukan untuk memprediksi gugus fungsional yang ada dalam material hasil sintesis. Analisis FTIR dilakukan terhadap sampel limbah dregs dan zeolit sintetik dengan tujuan menentukan kemungkinan adanya perubahan gugus kimia yang terjadi. Bilangan gelombang yang digunakan untuk mengukur pita-pita serapan yang terjadi antara 400-4000 cm⁻¹. Frekuensi vibrasi daerah sedang inframerah adalah pada bilangan gelombang 300-1300 cm⁻¹. Daerah ini memberikan informasi tentang kondisi tetrahedral aluminosilikat [AlO₄]⁵⁻ dan [SiO₄]⁴⁻ pada sampel zeolit, sedangkan daerah vibrasi 1300-4000 cm⁻¹ memberikan informasi mengenai gugus kimia selain kondisi tetrahedral [AlO₄]⁵⁻ dan [SiO₄]⁴⁻ [8].



Gambar 1. Spektra IR zeolit sintetis

Sampel limbah dregs ini tidak mempunyai vibrasi eksternal D₄R dan D₆R pada serapan bilangan gelombang 610-580 cm⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa zeolit ini tidak mengandung cincin-4 ganda (D₄R) atau cincin-6 ganda (D₆R) seperti yang dimiliki oleh zeolit jenis faujasit yang berarti keduanya bukanlah satuan bangun sekunder yang menyusun kerangka zeolit ini. Puncak-puncak yang muncul pada bilangan gelombang di atas 1250 cm⁻¹ bukan merupakan puncak spesifik kerangka tetrahedral aluminosilikat zeolit, dalam hal ini muncul puncak pada 3433,29 cm⁻¹ dan 3641,60 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi ulur simetris dan asimetris gugus O-H dari Si-OH.

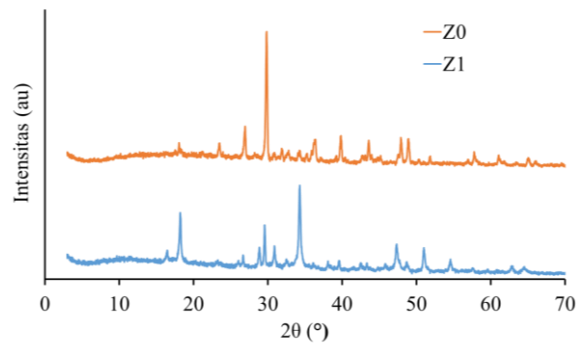
Pada semua spektra FTIR sampel limbah dregs dan zeolit sintetis yang ditunjukkan dengan munculnya pita serapan pada daerah 3700-3200 cm⁻¹ (vibrasi ulur -OH dari Si-OH) dan pada daerah 1700-1600 cm⁻¹ (vibrasi tekuk -OH dari Si-OH). Adanya gugus Si-O-Si atau Al-O-Si dapat terlihat dengan munculnya pita serapan pada daerah 1250-900 cm⁻¹ (vibrasi ulur asimetri T-O dari T-O-T), daerah 850-680 cm⁻¹ (vibrasi ulur simetri T-O dari T-O-T) dan pada daerah sekitar 500-420 cm⁻¹ (vibrasi tekuk T-O-T). Pada spektra juga teramatinya adanya pita serapan pada daerah frekuensi sekitar 400-300 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi eksternal celah cincin-12, yang mengindikasikan bahwa sampel zeolit memiliki pori.

Karakterisasi Difraksi Sinar-X

Uji kualitatif menggunakan metode difraksi sinar-X (XRD) bertujuan untuk memperoleh informasi perubahan struktur mikro dan kristalin yang terjadi selama proses sintesis. Pola difraksi sinar-X dari sampel abu dregs dan zeolit sintetis diperoleh dengan menggunakan difraktometer XRD-6000 merk Shimadzu. Kondisi operasi melibatkan radiasi Cu pada 40.0 kV 30 mA. Sampel discan dari 2θ 3°-70°. Data yang diperoleh berupa jarak antar bidang, intensitas dan sudut (2θ) yang kemudian dicocokkan dengan data pola difraksi sinar-X JCPDS-ICDD, atau hasil penelitian lain yang telah dilakukan, sehingga senyawa yang terdapat dalam sampel dapat diidentifikasi.

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan pada sampel sebelum sintesis dan sesudah sintesis. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui komposisi zeolit dan

perubahan komposisi yang kemungkinan terjadi setelah sintesis, melalui data sudut 2θ dan basal spacing yang terbentuk dalam difraktogram.

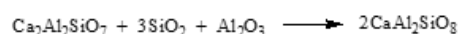


Gambar 2. Difraktogram Zeolit Sintetis

Pola difraksi sinar-X padatan abu dregs sebelum dan setelah sintesis dapat dilihat dalam gambar 2. Pola difraksi sinar-X tersebut dapat ditunjukkan bahwa hasil sebelum sintesis (Z₀) merupakan anorthite [1] yang ditandai dengan munculnya puncak-puncak difraksi sinar-X pada sudut 2θ 29,80°; 26,88° dan 36,36° (database JCPDS 1997 nomor 20-0528 dan 41-1486). Puncak tersebut merupakan puncak-puncak karakteristik anorthite CaAl₂Si₂O₈ [9]. Hasil sintesis Z₁ sebagai produk dominan yang ditandai dengan munculnya puncak-puncak difraksi sinar-X pada sudut 2θ 34,26°; 18,18° dan 47,29° (database JCPDS-ICDD 1997 nomor 19-0210 dan 35-0755) yang merupakan puncak-puncak karakteristik untuk gehlenite Ca₂Al₂SiO₇ [10].

Pola difraksi sinar-X pada gambar 2 memperlihatkan bahwa hasil sintesis Z₂ merupakan anorthite yang ditandai dengan munculnya puncak-puncak difraksi sinar-X pada sudut 2θ 29,65°; 30,99° dan 36,53° (database JCPDS 1997 nomor 20-0528 dan 41-1486) yang merupakan puncak-puncak karakteristik anorthite CaAl₂Si₂O₈ [9]. Hal ini juga tampak pada pola difraksi sinar-X Z₄ munculnya puncak-puncak di sudut 2θ 29,59°; 26,66° dan 29,16° (database JCPDS 1997 nomor 20-0528 dan 41-1486). Sedangkan hasil sintesis Z₃ sebagai produk dominan yang ditandai dengan munculnya puncak-puncak difraksi sinar-X pada sudut 2θ 34,49°; 32,75° dan 29,12° (database JCPDS-ICDD 1997 nomor 01-0982, 25-0123 dan 35-0755) yang merupakan puncak-puncak karakteristik untuk gehlenite Ca₂Al₂SiO₇ [10]. Hasil senyawa lain yang tampak dalam difraktogram adalah kuarsa (Fernandez dan Palomo, 2005) sesuai dengan database JCPDS tahun 1997 nomor 03-0444, 46-1045 dan 01-0649.

Pola difraksi XRD tersebut menunjukkan bahwa intensitas gehlenite Z₁ paling tinggi sedangkan intensitas anorthite meningkat dari Z₁ sampai ke Z₄. Anorthite yang terbentuk merupakan reaksi dari gehlenite dengan silika dan alumina [11]. Sampel Z₄ menunjukkan bahwa reaksi terbentuknya anorthite telah terjadi. Hal ini ditunjukkan dengan intensitas yang lebih tinggi dan intensitas dari gehlenite yang semakin kecil.



Selain mengetahui komposisi senyawa penyusun produk dan kristalinitasnya, dapat diketahui pula ukuran bulir kristal dari senyawa tersebut dengan menggunakan persamaan Scherrer sehingga dihasilkan seperti pada tabel 1. Perhitungan komposisi relatif kristal zeolit dapat dihitung dengan persamaan,

$$w = \frac{I_F}{I_0} \times 100\%$$

dengan w adalah komposisi kristal, I_F adalah intensitas spesifik jenis zeolit dan I_0 adalah jumlah intensitas spesifik dari total jenis zeolit yang tampak.

Perhitungan menggunakan persamaan Scherrer menunjukkan ukuran bulir kristal anorthite masing-masing yaitu 37,81; 42,97; 23,34; 15,54 dan 29,07 nm. Sedangkan ukuran bulir kristal gehlenite masing-masing, yaitu 40,10; 33,10; 25,48, 26,08 dan 42,74 nm.

Penentuan luas permukaan

Penentuan luas permukaan menggunakan metode BET (*Brunauer-Emmet-Teller Surface Area Analyzer*) untuk menentukan ukuran pori, volume pori dan luas permukaan pori dari sampel zeolit sintetis. Klasifikasi ukuran pori menurut IUPAC [12] yaitu: mikropori ($d < 20 \text{ \AA}$), mesopori ($20 < d < 500 \text{ \AA}$) dan makropori ($d > 500 \text{ \AA}$). Klasifikasi ini dibuat berdasarkan penjerapan gas nitrogen pada titik didih normal oleh padatan berpori dengan kisaran (*range*) ukuran pori yang lebar. Distribusi ukuran pori merupakan aspek penting dari adsorpsi dan diperlukan dalam evaluasi media berpori serta membran.

Berdasarkan grafik pola hubungan antara volume pori terhadap radius pori terlihat bahwa dengan adanya variasi penambahan massa abu sekam padi yang ditambahkan pada proses sintesis, zeolit sintetis memiliki distribusi pori yang berbeda dan ukuran pori yang berbeda pula. Pada penelitian ini diharapkan bahwa adanya penambahan abu sekam padi akan meningkatkan distribusi ukuran pori.

Pengukuran mikrostruktur sampel zeolit ditunjukkan dalam tabel 2 yang menghubungkan antara konsentrasi penambahan abu sekam padi, radius pori, luas permukaan spesifik dan volume pori.

Tabel 2: Hasil Gas Sorption Analyzer

Sampel	Radius pori, \AA	Luas permukaan spesifik, m^2/g	Volume pori, $[\text{cm}^3/\text{g}] \times 10^{-3}$
Z1	13,445	9,5547	6,423
Z2	13,384	8,3289	5,574
Z3	13,329	5,9785	3,984
Z4	13,352	18,0953	12,081

Hubungan antara luas permukaan spesifik dengan volume pori berbanding lurus, yaitu turunnya luas permukaan spesifik juga diikuti oleh volume pori. Semua sampel terlihat sebagai material dengan ukuran $< 20 \text{ \AA}$ (tabel 2), sehingga termasuk dalam golongan mikropori. Berdasarkan nilai radius pori rata-rata pada semua sampel, ukuran pori tidak jauh berbeda sekitar 13 \AA .

Perbandingan luas permukaan, Z4 memiliki luas permukaan lebih besar daripada Z1. Berdasarkan persamaan (1), luas permukaan yang menurun disebabkan oleh pori yang terbentuk berukuran relatif lebih besar. Untuk ukuran material yang sama, maka luas permukaan dengan ukuran pori yang lebih kecil akan memiliki luas permukaan yang lebih besar. Selain itu, adanya peningkatan luas permukaan dipengaruhi oleh adanya penambahan abu sekam padi. Akan tetapi hal ini berbeda jika dibandingkan antara Z3 dan Z4, dengan ukuran pori yang tidak jauh berbeda menghasilkan luas permukaan Z4 jauh lebih besar. Hal ini dikarenakan adanya jumlah penambahan abu sekam padi pada Z4 yang lebih besar sehingga rasio penambahan tersebut mampu membentuk framework tiga dimensi. Hal ini dibuktikan dengan adanya volume pori yang lebih besar.

Hasil pengukuran terhadap ukuran pori menunjukkan bahwa produk sintesis berukuran mikropori. Adapun data distribusi ukuran pori yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 3: Hasil Pengukuran Pori Zeolit Sintetis

Sampel	Distribusi Ukuran Pori Produk (%)		
	$< 10 \text{ \AA}$	$10-15 \text{ \AA}$	$> 15 \text{ \AA}$
Z1	44,43	34,78	20,79
Z2	44,33	34,98	20,69
Z3	52,21	31,94	15,85
Z4	46,86	35,98	17,16

Tabel distribusi pori dapat menjelaskan adanya penurunan luas permukaan dan volume pori pada Z3. Sampel sintesis Z3 memiliki luas permukaan dan volume pori paling kecil. Seperti yang terlihat dalam tabel 3, Z3 memiliki distribusi pori dominan pada ukuran pori $< 10 \text{ \AA}$ sebesar 52,21%. Dengan demikian sumbangan volume pori total akan menjadi lebih kecil.

4. Kesimpulan

Telah dihasilkan zeolit sintetis dari abu dregs dengan penambahan dan tanpa abu sekam padi dengan menghasilkan zeolit jenis anorthite dan gehlenite. Karakterisasi hasil sintesis, zeolit sintetis memiliki ukuran pori rata-rata $13,37 \text{ \AA}$, luas permukaan spesifik dan volume pori terbesar pada Z4 $18,0953 \text{ m}^2/\text{g}$ dan $12,081 \text{ cm}^3/\text{g}$.

5. Daftar Pustaka

[1] Takaaki Wajima, Mioko Haga, Keiko Kuzawa, Hiroji Ishimoto, Osamu Tamada, Kazuhiko Ito, Takashi Nishiyama, Robert T Downs, John F Rakovan, Zeolite synthesis from paper sludge ash at low temperature (90 C) with addition of diatomite, *Journal of Hazardous Materials*, 132, 2, (2006) 244-252 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.09.045>

[2] Claudia Belviso, Francesco Cavalcante, Antonio Lettino, Saverio Fiore, Zeolite synthesised from fused coal fly ash at low temperature using seawater for crystallization, *Coal Combustion and Gasification Products*, 1, 1, (2009) 8-1 <http://dx.doi.org/10.4177/CCGP-D-09-00004.1>

- [3] Alias Mohd Yusof, Nik Ahmad Nizam, Noor Aini Abd Rashid, Hydrothermal conversion of rice husk ash to faujasite-types and NaA-type of zeolites, *Journal of Porous Materials*, 17, 1, (2010) 39-47 <http://dx.doi.org/10.1007/s10934-009-9262-y>
- [4] Widi Astuti, Agus Prasetya, Endang Tri Wahyuni, I Made Bendiyasa, The adsorption of lead from aqueous solutions using coal fly ash: effect of crystallinity, *Adsorption*, 331, (2011) 11878
- [5] Sriyanti Sriyanti, Taslimah Taslimah, Sintesis Bahan Hibrida Amino-Silika Dari Abu Sekam Padi Melalui Proses Sol-Gel, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 8, 1, (2005)
- [6] Ulrich Schubert, Nicola Hüsing, *Synthesis of Inorganic Materials*, John Wiley & Sons, 2012.
- [7] Jens Weitkamp, Lothar Puppe, *Catalysis and Zeolites: Fundamentals and Applications*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, 1999.
- [8] Halimatun Hamdan, *Introduction to Zeolites: Synthesis, Characterization and Modification*, Universiti Teknologi Malaysia, Kuala Lumpur, (1992)
- [9] Sedat Kavalci, *The Use of Boron-Containing Additives For Synthesis of Anorthite Ceramic Powders*, İzmir Institute of Technology,
- [10] Ștefan Marincea, Delia-Georgeta Dumitraș, First reported sedimentary occurrence of berlinite (AlPO₄) in phosphate-bearing sediments from Cioclovina Cave, Romania Comment, *American Mineralogist*, 90, 7, (2005) 1203-1208 <http://dx.doi.org/10.2138/am.2005.418>
- [11] Karfa Traore, Tibo Simeon Kabre, Philippe Blanchart, Gehlenite and anorthite crystallisation from kaolinite and calcite mix, *Ceramics International*, 29, 4, (2003) 377-383 [http://dx.doi.org/10.1016/S0272-8842\(02\)00148-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0272-8842(02)00148-7)
- [12] Duong D Do, *Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics: (With CD Containing Computer Matlab Programs)*, Imperial College Press, London, 1998.