

PENGARUH BERAT NaOH TERHADAP PEMBENTUKAN ZEOLIT DARI ABU DASAR BATUBARA (*BOTTOM ASH*)

¹Sunarti, ²Nurul Hidayat Aprilita, ²Indriana Kartini

¹Departement of Chemistry-FKIP, Pattimura University Ambon, Hp. 081343330816

²Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Gadjah Mada University, Sekip Utara, Yogyakarta

ABSTRACT

The effect weight of NaOH to zeolite formation from coal bottom ash has been investigated. Zeolite was synthesized by fussion with NaOH at 550°C, and variations weight of NaOH respectly: 2.5; 3.5; 4.5; 6.5 g and weight of Coal bottom ash is 2.5 g. The resulted by fussion with NaOH was hydrothermal treatment at 100°C, and 24 hour. The characterization result with IR Spectrophotometer and X-Ray diffraction showed that at variations weigh of NaOH/bottom ash (r) = 1, Na-P zeolite with increased intensity, A zeolite and faujasite decreased intensity were obtained. The treatment r = 1.4, faujasite with increased intensity, but Na-P and A zeolite decreased intensity were obtained. The treatment r = 1.8, sodalit increased intensity, and faujasite decreased intensity were obtained. The Treatment r = 2.6, was obtained.

Keywords: Zeolite, Coal Bottom Ash, Fussion, Hydrothermal

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh berat NaOH terhadap pembentukan zeolit dari abu dasar batubara (*bottom ash*). Sintesis zeolit menggunakan metode peleburan NaOH pada suhu 550°C dengan variasi berat NaOH: 2,5; 3,5; 4,5; dan 6,5 g dan berat abu dasar 2,5 g. Hasil leburan dihidrotermal pada suhu 100°C selama 24 jam. Hasil Karakterisasi dengan spektrofotometer IR dan difraksi sinar-X menunjukkan bahwa perlakuan rasio (r) berat NaOH/abu dasar = 1,0 terbentuk zeolit Na-P dengan intensitas tertinggi, zeolit A dan faujasit dengan intensitas rendah. Perlakuan r NaOH/abu dasar = 1,4 terbentuk faujasit dengan intensitas tertinggi, zeolit Na-P dan Zeolit A intensitasnya mulai menurun, serta sodalit dengan intensitas yang rendah. Perlakuan r NaOH/abu dasar = 1,8, Intensitas sodalit semakin meningkat dengan menurunnya intensitas faujasit. Perlakuan r NaOH/abu dasar = 2,6, zeolit yang terbentuk adalah sodalit.

Kata kunci: zeolit, abu dasar, peleburan, hidrotermal

PENDAHULUAN

Batubara sebagai bahan bakar banyak digunakan di PLTU. Kecenderungan dewasa ini akibat naiknya harga minyak diesel industri, maka banyak perusahaan yang beralih menggunakan batubara sebagai bahan bakar dalam menghasilkan *steam* (uap). Salah satu PLTU yang aktif beroperasi di Indonesia adalah PLTU Paiton Jawa Timur. Hasil pembakaran batubara ini menghasilkan limbah yaitu *fly ash* (abu layang) dan *bottom ash* (abu dasar). PLTU Paiton menghasilkan abu layang sekitar 80 – 90% dan abu dasar 10 – 20% .

Keberadaan limbah abu batubara ini di satu sisi menimbulkan persoalan lingkungan karena masih mengandung senyawa-senyawa beracun. Seperti abu dasar yang bentuknya berupa bongkahan-bongkahan besar masih mengandung *fixed carbon* yang memiliki nilai kalori 6500 – 6800 kkal/kg sekitar 41 – 42%. Jika abu dasar ini langsung di buang ke lingkungan maka lambat laun akan terbentuk gas metana (CH₄) yang sewaktu-waktu dapat terbakar atau meledak dengan sendirinya

(*self burning* dan *self exploding*). Di sisi lain, limbah abu batubara ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku semen, campuran aspal (*ready mix*), campuran beton (*concrete*) dan dicetak menjadi batako (*paving block*) (Kantiranis et al., 2004), serta sebagai *soil amendment* (Sell et al., 1989).

Abu dasar merupakan residu dari mineral anorganik sebagai hasil pembakaran batubara. Karena ukuran partikelnya yang besar maka abu dasar tidak dapat diangkut oleh gas buang, sehingga jatuh ke dasar atau di dekat tungku pembakaran. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Izquierdo et al. (2001) menunjukkan bahwa abu dasar memiliki komponen utama SiO_2 dan Al_2O_3 amorf, kuarsa, dan kalsit (CaCO_3) dan komponen-komponen lain dalam jumlah kecil, seperti Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O TiO_2 . Adanya komponen SiO_2 dan Al_2O_3 yang merupakan sisi aktif adsorpsi menyebabkan abu layang dan abu dasar banyak digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan logam berat, limbah fenol, dan limbah zat warna di perairan. Gupta et al. (2005) telah menggunakan abu dasar untuk menghilangkan zat warna dalam air limbah sintetik. Zat warna yang digunakan sebagai limbah sintetik adalah *alizarin yellow*, *fast green* dan metil violet. Kapasitas adsorpsi yang diperoleh (dalam g/mol) masing-masing untuk *alizarin yellow*, *fast green*, dan metil violet adalah $8,3 \times 10^{-5}$, $6,2 \times 10^{-5}$ dan $4,8 \times 10^{-5}$.

Keberadaan SiO_2 dan Al_2O_3 abu dasar juga memberikan manfaat positif karena kedua senyawa tersebut merupakan komponen utama penyusun zeolit, yaitu suatu bahan berpori yang banyak digunakan untuk berbagai keperluan di antaranya sebagai adsorben, penyaring molekul, *filler*, campuran pupuk, sebagai *release agent*, dan sebagai katalis. Dengan adanya komponen SiO_2 dan Al_2O_3 tersebut, maka dimungkinkan untuk mensintesis zeolit dari abu dasar.

Penelitian tentang sintesis zeolit dari abu dasar relatif masih kurang. Kebanyakan sintesis zeolit dilakukan dengan menggunakan abu layang. Sintesis zeolit dari abu dasar telah dilakukan oleh Penilla, et al (2004) dengan melakukan perlakuan hidrotermal. Abu dasar di hidrotermal dalam larutan alkali NaOH 1 M. Hasil karakterisasi dengan difraksi sinar-X padatan hasil hidrotermal menunjukkan bahwa pada suhu hidrotermal 100 °C terbentuk zeolit Na-P. Zeolit Na-P mengalami peningkatan pada suhu 150 °C, dan andradit juga telah terbentuk pada suhu ini. Setelah suhu 200 °C, zeolit Na-P tidak terbentuk lagi, dan terbentuk zeolit tubermorit.

Sintesis zeolit dari abu dasar akan berlangsung efektif apabila sumber silikon dan aluminium berada sebagai spesies yang reaktif yaitu silikat dan aluminat. Dalam abu dasar selain silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) amorf, silikon dan aluminium sebagian berada sebagai mineral kuarsa yang stabil. Penyediaan sumber silikat dan aluminat yang reaktif dari abu dasar dilakukan dengan peleburan menggunakan NaOH (Shigemoto et al., 1993). Peleburan dengan menggunakan NaOH dan dilanjutkan dengan reaksi hidrotermal bertujuan untuk mengoptimalkan pembentukan zeolit dari abu dasar. Untuk mengetahui pengaruh NaOH terhadap pembentukan zeolit maka dilakukan variasi berat NaOH terhadap abu dasar batubara.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan untuk sintesis zeolit dalam penelitian ini adalah abu dasar dari PLTU Paiton, Jawa Timur, NaOH pelet E Merck, akuades, dan kertas saring whatman 42.

Peralatan

Lumpang porselin, krus nikel, tungku pemanas, bejana teflon, pengaduk magnet, hot plate, oven listrik, corong, spektrofotometer IR dan difraksi sinar-X.

Sintesis zeolit dilakukan dengan cara peleburan abu dasar dilanjutkan dengan reaksi hidrotermal. Proses peleburan dilakukan dengan mencampur 2,5 gram abu dasar dengan 2,5; 3,5; 4,5; dan 6,5 gram NaOH. Campuran tersebut kemudian digerus sampai halus. Hasil gerusan

selanjutnya dilebur dalam tungku pemanas pada temperatur 550 °C selama 1 jam. Abu dasar yang sudah dilebur tersebut setelah dingin digerus sampai halus, dimasukkan dalam bejana teflon, ditambah 25 mL akuades dan diaduk dengan pengaduk magnetik selama 24 jam pada temperatur kamar. Selanjutnya dilakukan reaksi hidrotermal pada suhu 80, 100, 120 dan 150 °C selama 24 jam. Padatan hasil disaring, dinetralkan dan dikeringkan pada suhu 100 °C selama 1 jam. Padatan hasil selanjutnya dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer inframerah dan difraksi sinar-X.

HASIL PENELITIAN

Perlakuan abu dasar hasil peleburan NaOH dengan hidrotermal pada suasana basa memberikan berbagai macam tipe zeolit. Penggunaan NaOH yang lebih banyak diharapkan akan mendekomposisi komponen silika dan alumina pada abu dasar dengan lebih baik. Padatan amorf yang terbentuk kemudian dilarutkan dalam air, selanjutnya campuran tersebut dihidrotermal. Suasana basa untuk pembentukan zeolit diperoleh dari komposisi NaOH yang digunakan pada saat melebur, sehingga variasi rasio NaOH/abu dasar juga merupakan parameter penting yang mempengaruhi proses hidrotermal sekaligus menentukan tipe zeolit yang terbentuk.

Dalam penelitian ini telah dilakukan variasi berat NaOH masing-masing 2,5; 3,5; 4,5; dan 6,5 gram terhadap 2,5 g abu dasar, sehingga diperoleh rasio berat NaOH/abu dasar(r) yaitu: 1,0; 1,4; 1,8; dan 2,6. Abu dasar digerus sampai homogen dan dilebur pada suhu 550°C selama 60 menit. Hasil leburan diaduk dan dihidrotermal selama 24 jam pada suhu 100°C. Padatan yang terbentuk dikarakterisasi dengan spektrofotometer inframerah dan difraksi sinar-X.

Tabel 1. Serapan karakteristik zeolit pada variasi berat NaOH/abu dasar (T = 100 °C, hidrotermal 24 jam)

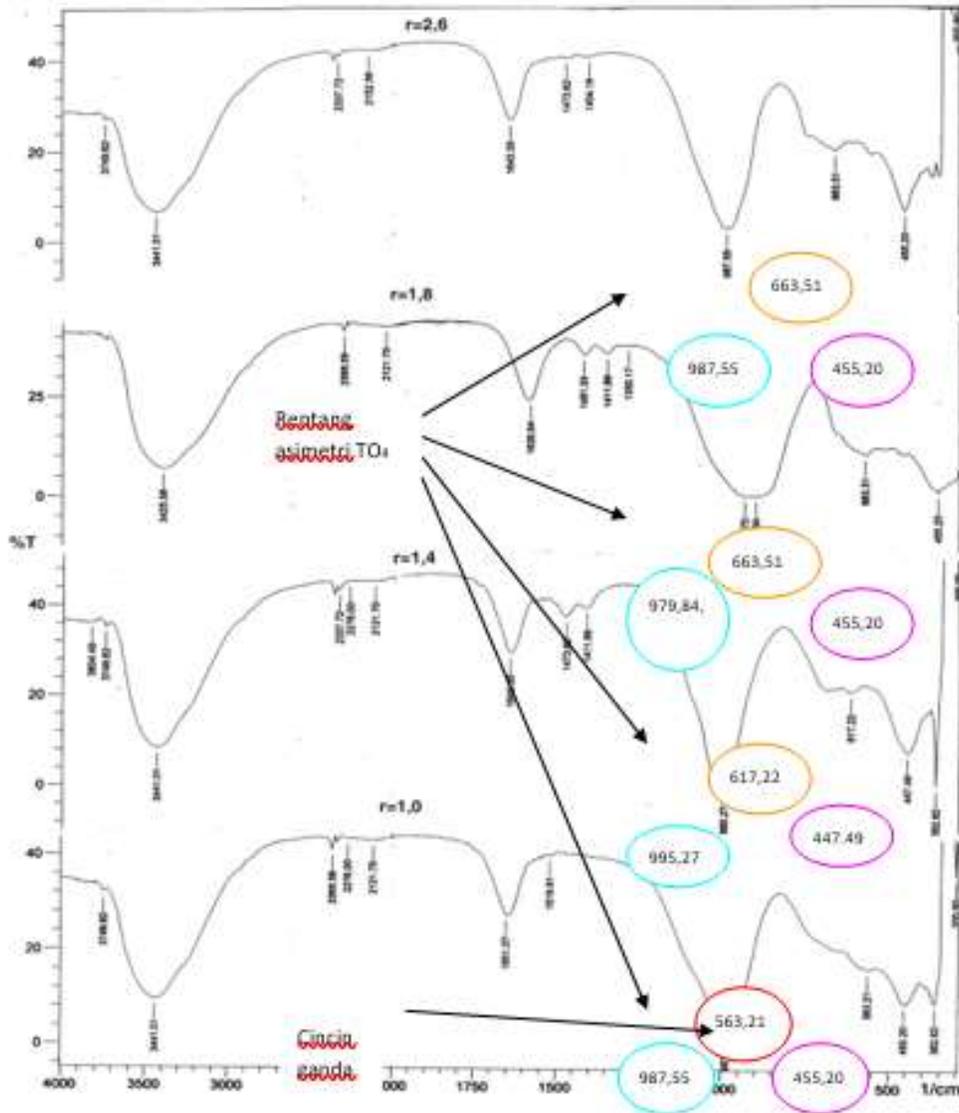
Jenis vibrasi	Rasio berat NaOH/ abu dasar			
	1,0	1,4	1,8	2,6
Rentang asimetri TO ₄	987,55 cm ⁻¹	995,27 cm ⁻¹	979,84 dan 1010 cm ⁻¹	987,55 cm ⁻¹
Rentang simetri TO ₄	-	-	663,51 cm ⁻¹	663,51 cm ⁻¹
Cincin ganda	563,21 cm ⁻¹	617,22 cm ⁻¹	-	-
Tekuk TO	455,20 cm ⁻¹	447,49 cm ⁻¹	455,20 cm ⁻¹	455,20 cm ⁻¹
Pori terbuka	362,62 cm ⁻¹	362,62 cm ⁻¹	-	-

Pola Serapan karakteristik zeolit pada berbagai variasi rasio(r) NaOH/abu dasar sebagaimana disajikan pada Tabel 1. Semakin meningkat konsentrasi NaOH serapan rentang asimetri TO₄ bergeser ke arah bilangan gelombang yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan rasio Si/Al yang terlibat dalam pembentukan kerangka zeolit semakin tinggi. Pola serapan pada Gambar 1 menunjukkan bahwa, dengan meningkatnya konsentrasi NaOH serapan di daerah sekitar 900 cm⁻¹ semakin sempit dan tajam. Hal ini menunjukkan tingkat kristalinitas semakin tinggi. Perlakuan r = 1,8 memunculkan serapan pada bilangan gelombang 1010,70 cm⁻¹ dan 979,84 cm⁻¹ membentuk serapan yang lebih melebar. Serapan pada bilangan gelombang 1010,70 cm⁻¹ dan 979,84 cm⁻¹ dapat dihubungkan dengan kerangka sodalit. Hal ini sesuai dengan pernyataan Breck (1974) bahwa kristal hidroksi sodalit standar memiliki serapan rentang asimetri TO₄ pada bilangan gelombang 1096 cm⁻¹ dan 986 cm⁻¹.

Semakin tinggi konsentrasi NaOH intensitas serapan pada daerah cincin ganda mengalami penurunan dan bergeser ke arah bilangan gelombang yang lebih tinggi. Serapan vibrasi Tekuk T-O mengalami peningkatan intensitas dengan bertambahnya konsentrasi NaOH.

Perlakuan r = 1,0, memunculkan serapan cincin ganda pada bilangan gelombang 563,21 cm⁻¹. Hal ini sesuai dengan penelitian Flanigen., et al (1971) bahwa serapan cincin ganda anggota 6 (D6R)

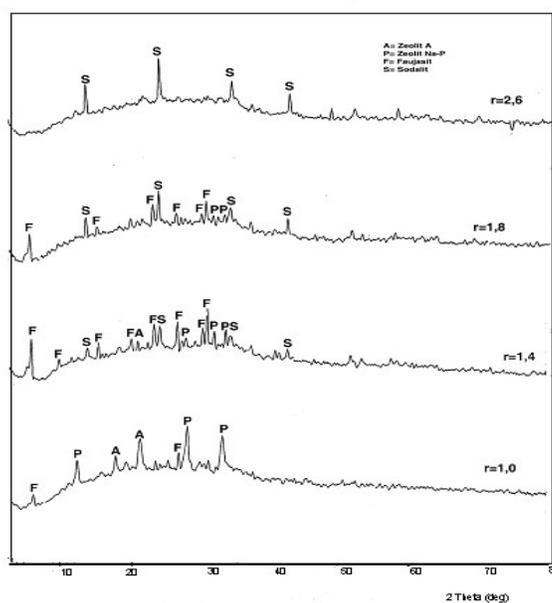
muncul pada bilangan gelombang 565-580 cm^{-1} . Hal yang sama dinyatakan oleh Balkus., et al (1991) bahwa serapan pada daerah sekitar 560 cm^{-1} dapat dihubungkan dengan serapan cincin ganda anggota 6 yang menghubungkan sodalit. Menurut Rees dan Chandrasekhar (1993) menyatakan bahwa pita serapan pada daerah sekitar 560 cm^{-1} merupakan serapan karakteristik untuk cincin ganda anggota 4 (D4R). Serapan cincin ganda pada perlakuan $r = 1,4$ mengalami penurunan intensitas dan terjadi pergeseran ke arah bilangan gelombang yang lebih tinggi yaitu muncul serapan pada bilangan gelombang 617,22 cm^{-1} . Hal ini diduga disebabkan terjadinya transformasi struktur karena kebasaan yang tinggi. Hal ini diperkuat dengan munculnya serapan pada bilangan gelombang yang lebih tinggi yaitu 663,51 cm^{-1} untuk perlakuan $r = 1,8$ dan 2,6. Sodalit tidak memiliki cincin ganda sehingga tidak menunjukkan serapan pada daerah tersebut.



Gambar 1. Spektra variasi rasio (r) berat NaOH/abu dasar (hidrotermal 100 °C selama 24 jam)

Serapan pada bilangan gelombang 3441,01 cm^{-1} , dan 3425,58 cm^{-1} merupakan vibrasi rentang gugus -OH dari molekul H_2O , sedangkan serapan vibrasi tekuk -OH dari molekul H_2O muncul untuk semua perlakuan masing-masing pada bilangan gelombang, 1651,07 cm^{-1} dan 1643,35 cm^{-1} . Dalam kristal zeolit, gugus ini kemungkinan berasal dari air terhidrat (Hamdan, 1992).

Dugaan terhadap tipe zeolit yang terbentuk pada masing-masing perlakuan, dikaji lebih lanjut dengan karakterisasi menggunakan difraksi sinar-X. Difraktogram padatan hasil sintesis variasi rasio berat NaOH/abu dasar disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan difraktogram pada Gambar 2 nampak bahwa pada perlakuan $r = 1,0$ muncul puncak-puncak pada $2\theta = 28,18$ ($d = 3,16\text{\AA}$); 33,30 ($d = 2,69\text{\AA}$); 12,55 ($d = 7,64\text{\AA}$). Puncak-puncak tersebut merupakan puncak-puncak untuk zeolit Na-P. Puncak-puncak pada $2\theta = 21,43$ ($d = 4,14\text{\AA}$); 17,92 ($d = 4,94\text{\AA}$); 27,00 ($d = 6,41$) merupakan puncak-puncak untuk zeolit A. (Ballmoos, 1984). Puncak pada $2\theta = 6,41$ ($d = 13,78\text{\AA}$) adalah puncak untuk faujasit. Keberadaan zeolit A dan faujasit turut mendukung data pada IR yaitu munculnya serapan pada cincin ganda.

**Gambar 2. Difraktogram XRD variasi rasio berat NaOH/abu dasar (hidrotermal 100 °C, 24 jam)**

Perlakuan $r = 1,4$ memunculkan puncak-puncak pada $2\theta = 6,24$ ($d = 14,15\text{\AA}$); 31,17 ($d = 2,87\text{\AA}$); 26,86 ($d = 3,32\text{\AA}$); 15,60 ($d = 5,67\text{\AA}$); 23,52 ($d = 3,77\text{\AA}$); 30,53 ($d = 2,90\text{\AA}$) merupakan puncak-puncak zeolit tipe faujasit (Ballmoos, 1984). Puncak-puncak yang muncul pada $2\theta = 28,10$ ($d = 3,17\text{\AA}$) dan 33,84 ($d = 3,65\text{\AA}$) merupakan puncak-puncak zeolit Na-P. Puncak-puncak sodalit muncul dengan intensitas yang lemah pada perlakuan $r = 1,4$. Hal ini diperkuat dengan adanya puncak-puncak pada $2\theta = 24,38$ ($d = 3,64\text{\AA}$); dan 14,87 ($d = 6,28\text{\AA}$) merupakan-puncak-puncak hidroksi sodalit (Ballmoos, 1984).

Berdasarkan data difraksi sinar-X tersebut nampak bahwa pada perlakuan $r = 1,4$ ini zeolit hasil sintesis didominasi oleh faujasit, sedangkan pada data IR tidak muncul serapan bilangan gelombang

sekitar 560 cm^{-1} yang merupakan serapan karakteristik cincin ganda, hal ini diduga terjadinya transformasi struktur karena kebiasaan yang tinggi. Hal ini didukung dengan semakin menghilangnya puncak-puncak zeolit A seiring meningkatnya intensitas faujasit. Intensitas zeolit Na-P mengalami penurunan, dan diduga mengalami transformasi struktur menjadi sodalit. Hal ini diperkuat dengan munculnya beberapa puncak yang merupakan puncak karakteristik sodalit. Terbentuknya beberapa tipe zeolit ini menyebabkan terjadi tumpang tindih struktur kerangka pada bilangan gelombang sekitar $650\text{-}500\text{ cm}^{-1}$ dan memberikan serapan pada daerah bilangan gelombang yang lebih tinggi yaitu $617,22\text{ cm}^{-1}$ dan tidak memunculkan serapan pada daerah bilangan gelombang sekitar 560 cm^{-1} .

Intensitas puncak-puncak faujasit mulai menurun pada perlakuan $r = 1,8$ sedangkan sodalit intensitasnya mulai meningkat. Puncak-puncak faujasit tidak muncul lagi pada perlakuan $r = 2,6$ dan secara keseluruhan puncak-puncak zeolit didominasi oleh hidroksi sodalit. Puncak-puncak hidroksi sodalit pada perlakuan $r = 2,6$, muncul pada $2\theta = 24,31$ ($d = 3,65\text{ \AA}$); $13,98$ ($d = 6,32\text{ \AA}$); $34,56$ ($d = 2,59\text{ \AA}$); $42,71$ ($d = 2,11\text{ \AA}$)

Secara umum dari hasil spektrofotometer inframerah dan difraksi sinar-X telah terbentuk beberapa tipe zeolit. Zeolit A, faujasit dan Na-P dengan intensitas yang lebih tinggi Pada perlakuan $r = 1,0$ terbentuk. Hal ini dapat dijelaskan bahwa, dominasi Na-P pada perlakuan $r = 1,0$ dapat dipahami karena komponen SiO_2 dalam abu dasar lebih tinggi dari Al_2O_3 . Menurut Breck (1974) komposisi hidrotermal dengan kandungan silikat yang lebih banyak lebih menyukai pembentukan zeolit Na-P. Zeolit Na-P memiliki kandungan sel satuan dengan rumus kimia $\text{Na}_6[(\text{AlO}_2)_6(\text{SiO}_2)_{10}]\cdot 15\text{H}_2\text{O}$ termasuk dalam klasifikasi zeolit golongan 1 yaitu zeolit dengan satuan pembangun sekunder cincin - 4 tunggal (*single 4-ring, S4R*).

Faujasit mendominasi hasil sintesis pada perlakuan $r = 1,4$. Zeolit A muncul dengan intensitas yang sangat rendah, sedangkan Na-P intensitasnya mulai menurun dengan mulai munculnya hidroksi sodalit. Munculnya puncak-puncak faujasit dengan intensitas yang paling tinggi pada perlakuan $r = 1,4$ disebabkan karena pada konsentrasi NaOH yang tinggi, pelarutan silika dan alumina baik yang berada sebagai fasa amorf maupun dalam bentuk kristal semakin sempurna. Spesies alumina amorf dalam larutan alkali superjenuh berada dalam bentuk $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, diduga akan bereaksi lebih lanjut dengan gugus silanol (SiOH) membentuk kerangka aluminasilikat. Spesies Al dalam kondisi ini, berfungsi sebagai jembatan yang menghubungkan terminal-terminal silanol yang tidak mampu berikatan satu sama lain sehingga polimerisasi menjadi lebih sempurna. Hasil akhir dari polimerisasi yang sempurna ini adalah terbentuknya zeolit dengan struktur kerangka yang lebih kompleks seperti faujasit. Faujasit memiliki rumus kimia $\text{Na}_{88}\text{Al}_{88}\text{Si}_{104}\text{O}_{384}(\text{H}_2\text{O})_{220}$, termasuk dalam klasifikasi zeolit golongan 4 yaitu zeolit dengan satuan pembangun sekunder cincin-6 ganda (*double 6-ring, D6R*).

Intensitas hidroksi sodalit meningkat pada perlakuan $r = 1,8$, dengan menurunnya intensitas faujasit. Pada perlakuan $r = 2,6$ zeolit yang terbentuk adalah sodalit. Hal ini dapat dijelaskan bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH, walaupun pelarutan silika dan alumina amorf semakin sempurna, namun menurut Breck (1974) pada kebiasaan yang tinggi baik faujasit maupun zeolit Na-P akan mengalami transformasi struktur menjadi sodalit. Sodalit memiliki kandungan sel dengan rumus kimia $\text{Na}_6[\text{AlO}_2)_6(\text{SiO}_2)_6]\cdot 7,5\text{H}_2\text{O}$ termasuk dalam klasifikasi zeolit golongan 2 yaitu zeolit dengan satuan pembangun sekunder cincin-6 tunggal.

Berdasarkan hasil karakterisasi dengan spektrofotometer inframerah dan difraksi sinar-X dengan membandingkan nilai d (jarak antar bidang kristal) pada 2θ padatan hasil sintesis dengan standar yang diajukan oleh Ballmoos (1984), maka dapat dinyatakan bahwa pada variasi rasio berat NaOH/abu dasar = 1,0; 1,4; 1,8; dan 2,6 telah terbentuk zeolit yaitu Zeolit Na-P, zeolit A, faujasit dan sodalit, walaupun kristalinitasnya masih rendah. Kristalinitas yang rendah tampak pada pola difraktogram sinar-X, di mana masih banyaknya fasa amorf. Kristalinitas yang rendah ini

kemungkinan disebabkan oleh sintesis yang tidak sempurna, karena masih banyaknya pengotor (*Impurities*) dalam abu dasar. Hal ini dapat dipahami karena pada penelitian ini tidak dilakukan preparasi awal untuk menghilangkan oksida-oksida lain yang diperkirakan dapat mengganggu proses sintesis.

KESIMPULAN

- Hasil Karakterisasi dengan spektrofotometer IR dan difraksi sinar-X menunjukkan bahwa
1. Perlakuan rasio(r) berat NaOH/abu dasar = 1,0 terbentuk zeolit Na-P dengan intensitas tertinggi, zeolit A dan faujasit dengan intensitas rendah.
 2. Perlakuan r NaOH/abu dasar =1,4 terbentuk faujasit dengan intensitas tertinggi, zeolit Na-P dan Zeolit A intensitasnya mulai menurun, serta sodalit dengan intensitas yang rendah.
 3. Perlakuan r NaOH/abu dasar = 1,8, Intensitas sodalit semakin meningkat dengan menurunnya intensitas faujasit.
 4. Perlakuan r NaOH/abu dasar = 2,6, zeolit yang terbentuk adalah sodalit

DAFTAR PUSTAKA

- Balkus, K. J. J and Kieu, T.L., 1991, The Preparation and Characterization of an X-Type Zeolite, *J.Chem.Edu.*, 68(10), 875-877.
- Ballmooss, R.V., 1984, *Collection of Simulated XRD Powder Pattern for Zeolite*, The Structure of Comission of The International Zeolite Association, 62.
- Breck, D.W., 1974, *Zeolite Molecular Sieve: Structure, Chemistry and Use*, John Wiley and Sons Inc. New York.
- Flanigen, E.M, Khatami, H., and Szimanski, H.A., 1971, Infrared Structural Studies of Zeolite Framework Molecular Sieves Zeolite-1, *American Society Advanced in Chemistry*, Series No.101, 201-227.
- Gupta, V.K., Saini, V.K., Gerven, T.V., Briggen, B. V and Vandecasteele, C., 2005, Removal of Dyes from Wastewater Using Bottom Ash, *Ind.Eng.Chem.Res.*, 44, 3655-3664.
- Hamdan, H., 1992, *Introduction to Zeolite: Synthesis, Characterization, and amodification*, University Technology Malaysia.
- Izquierdo, M., Vazquez, E., Querol, X., Barra, M., Lopez, A., and Plana, F, 2001, *Use of Bottom Ash from Municipal Solid Waste Incineration as a Road Material*, International Ash utilization Symposium Center for Applied Energy Research, University of Kentucky, Paper # 37.
- Kantiranis, N., Georgakopoulos, A., Fillipidis, A., and Drakoulis, A., 2004, Mineralogy and Organic Matter Content of Bottom Ash samples from Agios Dimitrios Power Plant, Greece, *Bulletin of The geological Society of Greece*. Vol XXXVI, 320-326.
- Rees, L.V.C., and Chandrasekhar, S., 1993, Formation of Zeolite from The System Na₂O-Al₂O₃-SiO₂-H₂O in Alkaline Medium (pH > 10), *Zeolite*, vol.13. 524-532.
- Sell, N., McIntosh, T., Severance, C., and Peterson, A., 1989, The Agronomic land Spreading of Coal Bottom Ash: Using a Regulated Solid Waste as a Resource, *J. Resources, Conservation, and Recycling 2/2*, 119-129.
- Sighemoto, N., Hayashi, H., and Miyaura, K., 1993, Selective Formation of Na-X, Na-A Zeolite from Coal Fly Ash by Fusion with Sodium Hydroxide Prior to Hydrothermal Reaction, *J. Mater. Sci.*, 28, 4781-4786.