

SINTESIS ZEOLIT A DARI ABU DASAR BATUBARA (*COAL BOTTOM ASH*) DENGAN METODE PELEBURAN DAN HIDROTHERMAL

Sunarti^{1*} dan Nazudin¹

¹Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan - Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

*sunartihalim835@gmail.com

Received: 09 October 2020 / Accepted: 11 January 2021 / Published: 19 January 2021

ABSTRACT

Zeolites can be synthesized from materials containing silica (SiO_2) and alumina (Al_2O_3). The analysis showed that the coal bottom ash from PLTU Paiton contained a number of oxides, namely: SiO_2 49.73%; Al_2O_3 19.51%; Fe_2O_3 16.18%; CaO 5.40%; MgO 2.96%; Na_2O 1.23%; K_2O 0.84%; TiO_2 0.99%; MnO 0.17%; and LOI of 2.38%. Zeolite from coal bottom ash was carried out by fusion and hydrothermal methods. Based on the percentage of alumina from the bottom ash, it is necessary to add pure alumina for the perfection of the zeolite formed. The addition of 1.5 g sodium aluminate resulted in a higher crystallinity level of the zeolite. This is indicated by the appearance of sharp peaks at $2\theta = 30.098$ ($d = 2.96$); 24.14 ($d = 3.68$); 27.24 ($d = 3.27$); 6.63 ($d = 13.31$); 7.08 ($d = 12.47$); 7.32 ($d = 12.06$) and 10.30 ($d = 8.58$). Based on the comparison of the peaks that appear on the diffractogram with the standards proposed by Ballmoos, with the addition of 1.5 grams of aluminate, the overall zeolite formed is zeolite A.

Keywords: *Zeolite, coal bottom ash, fusion method, hydrothermal method*

ABSTRAK

Zeolit dapat disintesis dari material yang mengandung silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3). Hasil analisis menunjukkan bahwa abu dasar batubara dari PLTU Paiton mengandung sejumlah oksida yaitu: SiO_2 49,73%; Al_2O_3 19,51%; Fe_2O_3 16,18%; CaO 5,40%; MgO 2,96%; Na_2O 1,23%; K_2O 0,84%; TiO_2 0,99%; MnO 0,17%; dan LOI 2,38%. Zeolit dari abu dasar batubara dilakukan dengan metode peleburan dan hidrotermal. Berdasarkan persentase alumina dari abu dasar maka dilakukan penambahan alumina murni untuk kesempurnaan zeolite yang terbentuk. Penambahan natrium aluminat sebanyak 1.5 g mengakibatkan tingkat kristalinitas zeolit yang dihasilkan semakin tinggi. Hal ini dibuktikan dengan munculnya puncak-puncak yang tajam pada $2\theta = 30,098$ ($d=2,96$); 24,14 ($d=3,68$); 27,24 ($d=3,27$); 6,63 ($d=13,31$); 7,08 ($d=12,47$); 7,32 ($d=12,06$) dan 10,30 ($d=8,58$). Berdasarkan perbandingan puncak-puncak yang muncul pada difraktogram dengan standar yang diajukan oleh Ballmoos, maka dengan penambahan aluminat 1,5 gram secara keseluruhan zeolit yang terbentuk adalah zeolit A.

Kata kunci: *Zeolit, Abu dasar batubara, metode peleburan, metode hidrotermal*

PENDAHULUAN

Batubara merupakan bahan bakar fosil selain minyak bumi dan gas alam yang mempunyai peranan penting sebagai sumber bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi dan gas alam yang banyak digunakan di PLTU. Hasil pembakaran batubara ini menghasilkan limbah yaitu *fly ash* (abu layang) dan *bottom ash* (abu dasar).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Izquierdo, dkk.(2001) menunjukkan bahwa abu dasar memiliki komponen utama SiO_2 dan Al_2O_3 amorf, kuarsa, dan kalsit (CaCO_3) serta komponen-komponen lain dalam jumlah kecil, seperti Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O TiO_2 . Keberadaan SiO_2 dan Al_2O_3 dalam abu layang dan abu dasar memberikan manfaat positif karena kedua senyawa tersebut merupakan komponen 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 (Akbar, 1996). Berdasarkan hal tersebut abu layang dan abu dasar dapat dimodifikasi menjadi material mirip zeolit.

Sintesis zeolit dari abu dasar telah dilakukan oleh Penilla dkk. (2004) dengan melakukan perlakuan 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.

Pada penelitian ini sebelum dilakukan sintesis zeolite A, terlebih dahulu dilakukan analisis komposisi oksida SiO₂ dan Al₂O₃. Sintesis zeolite A dari abu dasar batubara dilakukan dengan penambahan natrium aluminat disebabkan kecilnya konsentrasi Al₂O₃ pada abu dasar. Zeolit yang terbentuk dianalisis menggunakan FTIR untuk karakterisasi gugus fungsi serta XRD untuk mengetahui jenis zeolite yang terbentuk.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

A. Alat

Alat-alat yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah: bejana teflon volume 50 mL, neraca analitik Mettler AE 200, *Furnace* merk Nabertherm, oven pemanas merk Fischer Scientific, lumpang porselin, krus nikel, *hot plate* dan pengaduk magnet, *shaker* horizontal Marius Instrument, pH meter TOA electronics model HM-5B, ayakan 250 *mesh*, peralatan gelas, Spektrofotometer Inframerah Shimadzu model FTIR, Difraktometer Sinar-X merk Shimadzu XD-3H, Spektrofotometer serapan atom (SSA).

B. Bahan

Abu dasar batubara, NaOH pellet E. Merck, Merck, Al(OH)₃ E. Merck, akuabides, akuades dan kertas saring whatman 42, Indikator universal.

Prosedur Penelitian

Perlakuan awal

Abu dasar batubara digerus dan diayak dengan ayakan 250 *mesh*. Komposisi mineral abu dasar dianalisis dengan metode AAS dan spektrofotometer UV-Vis. Karakterisasi Abu dasar dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer inframerah, dan difraksi sinar -X.

Pembuatan Larutan Natrium Aluminat

Natrium aluminat dibuat dengan melarutkan 2,5 gram NaOH ke dalam 25 mL akuades dan diaduk sampai larut. Sebanyak 1,5 gram Al(OH)₃ dilarutkan dalam larutan NaOH tersebut dan dipanaskan sampai terbentuk larutan jernih kemudian ditambahkan akuabides sampai volume larutan menjadi 25 mL (Akbar, 1996).

Sintesis zeolit A

Sintesis zeolite dilakukan dengan mengacu pada prosedur yang telah dilakukan Akbar (1996) dengan sedikit modifikasi. Sebanyak 2,5 gram abu dasar dan 2,5 gram NaOH digerus selama 15 menit dengan lumpang porselin, kemudian dilebur pada suhu 550°C selama 60 menit. Hasil peleburan digerus kembali dan dimasukkan dalam reaktor hidrotermal, ditambahkan 25 mL larutan natrium aluminat 1,5 gram dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 24 jam. Selanjutnya dihidrotermal pada suhu 100°C selama 24 jam. Padatan hasil hidrotermal disaring, dinetralkan dengan akuades dan dikeringkan pada suhu 100°C. Padatan yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi dengan spektrofotometer inframerah dan difraksi sinar-X.

HASIL PENELITIAN

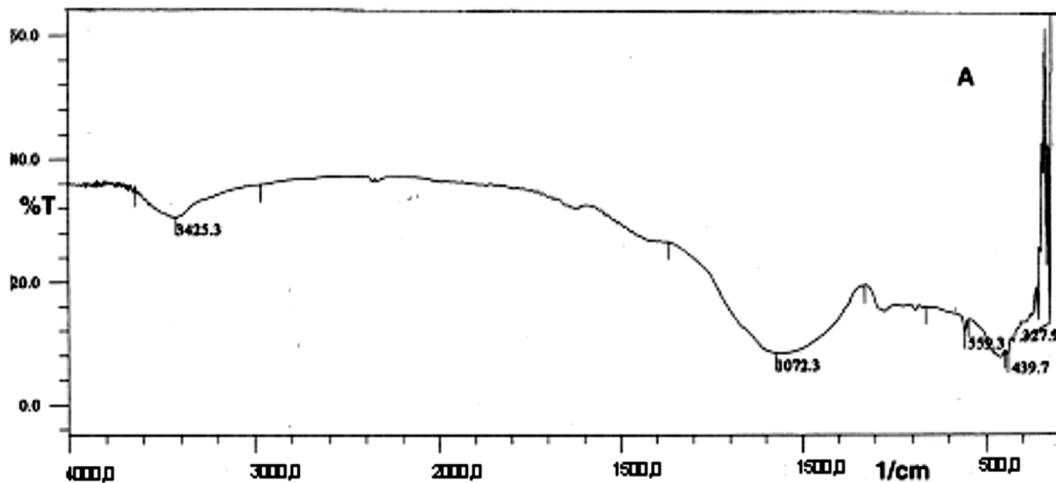
Analisis Oksida dan Karakterisasi Abu Dasar

Hasil analisis diperoleh komposisi kimia abu adasar PLTU Paiton yang dinyatakan dalam bentuk oksidanya dan disajikan pada **Tabel 1** di bawah ini

Tabel 1. Komposisi oksida abu dasar PLTU Paiton

Oksida	Kandungan (%)
SiO ₂	49,73
Al ₂ O ₃	19,51
Fe ₂ O ₃	16,18
CaO	5,40
MgO	2,96
Na ₂ O	1,23
K ₂ O	0,84
TiO ₂	0,99
MnO	0,17
LOI	2,38

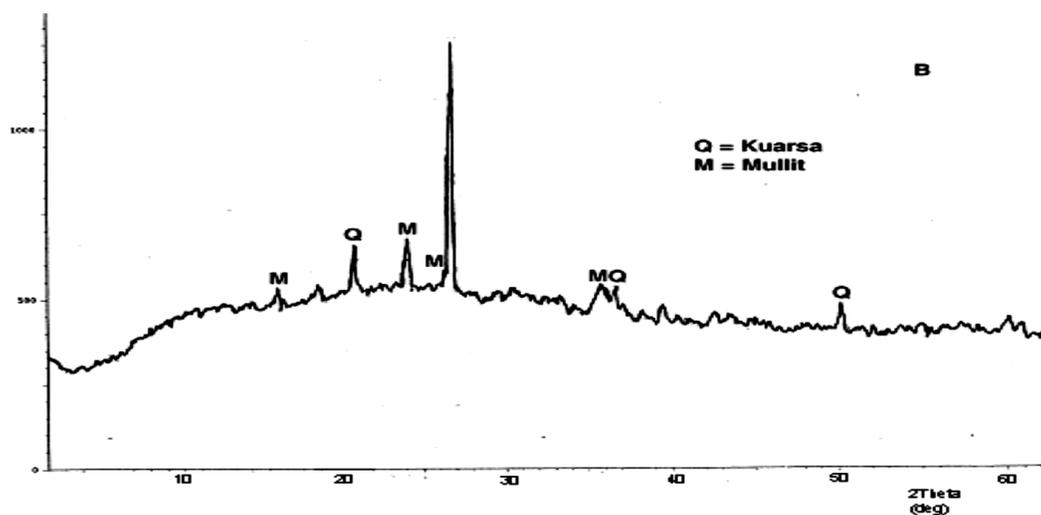
Data hasil analisis komposisi kimia pada **Tabel 1**, menunjukkan bahwa komponen utama penyusun abu dasar adalah silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃) dan oksida besi (Fe₂O₃) dengan kandungan silika yang paling tinggi. Keberadaan silika dan alumina pada abu dasar dikaji lebih jauh dengan karakterisasi menggunakan metode spektroskopi inframerah dan difraksi sinar-X.



Gambar 1. Spektra inframerah abu dasar

Karakterisasi abu dasar dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer inframerah (IR) dan difraktometer sinar-X (XRD). Karakterisasi dengan spektrofotometer inframerah bertujuan untuk mengetahui jenis vibrasi antar atom dalam abu dasar yang disajikan pada Gambar 1. Spektra inframerah pada Gambar 1 memunculkan serapan lebar pada bilangan gelombang 1072,3 cm⁻¹

yang merupakan serapan vibrasi rentangan asimetri TO4 (T= Si atau Al), dimana menurut Hamdan (1992) vibrasi rentangan asimetri TO4 muncul pada bilangan gelombang 1250 – 900 cm^{-1} . Selain itu muncul pula serapan pada bilangan gelombang 439,7 cm^{-1} yang merupakan vibrasi tekuk TO4 yang menurut Hamdan (1992) vibrasi ini muncul pada bilangan gelombang 420 – 500 cm^{-1} . Serapan pada bilangan gelombang 327,9 cm^{-1} merupakan serapan vibrasi pori terbuka. Serapan yang muncul pada bilangan gelombang 3425,3 cm^{-1} merupakan vibrasi rentang asimetri molekul H_2O . Serapan inframerah abu dasar menunjukkan keberadaan vibrasi karakteristik Si dan Al sebagai satuan tetrahedral (TO4) sebagai struktur satuan primer pembangun zeolit (Hamdan, 1992). Munculnya serapan yang melebar dan relatif lemah memberikan indikasi bahwa Si dan Al pada abu dasar belum tersusun sebagai satuan kerangka zeolite.



Gambar 2. Difraktogram XRD abu dasar

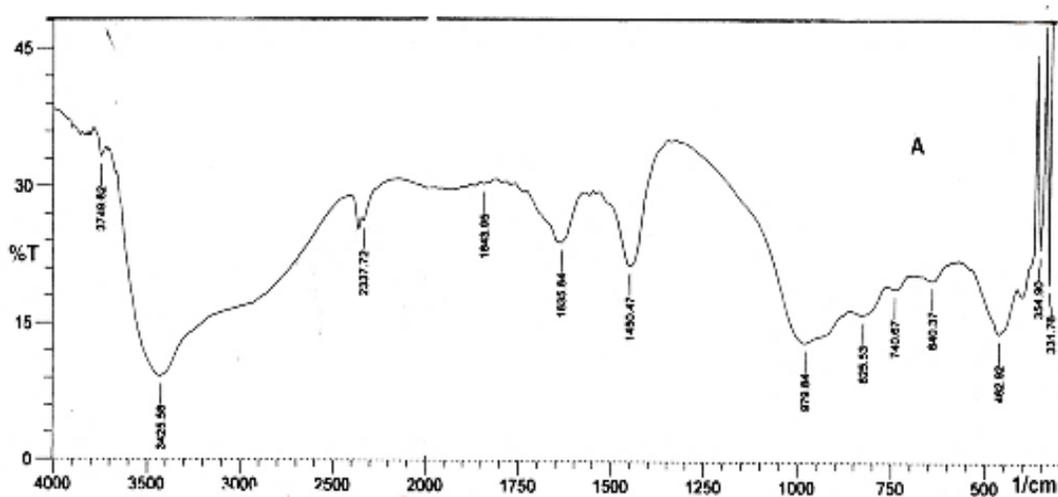
Karakterisasi selanjutnya dilakukan dengan metode difraksi sinar-X. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui mineral penyusun abu dasar. Difraktogram pada **Gambar 2** memberikan pola difraksi pada sudut 2θ . Berdasarkan penelusuran JCPDS puncak $2\theta = 26,65^\circ$ ($d = 3,34 \text{ \AA}$) dan $20,86^\circ$ ($d = 4,25 \text{ \AA}$) adalah puncak-puncak karakteristik mineral kuarsa (SiO_2), sedangkan $24,02^\circ$ ($d = 3,7 \text{ \AA}$) dan $16,45^\circ$ ($d = 5,38 \text{ \AA}$) adalah puncak-puncak karakteristik untuk mullit ($2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$).

Pola difraksi sinar-X pada **Gambar 2** mengindikasikan bahwa Si dan Al dalam abu dasar sebagian besar berada sebagai fasa kristalin kuarsa (Q) dan mullit (M). Selain fasa kristalin dan mullit, abu dasar juga tersusun oleh oksida-oksida silika dan alumina yang bersifat amorf, sebagaimana ditunjukkan oleh munculnya pola difraksi yang melebar di daerah $2\theta = 10 - 30^\circ$. Keberadaan serapan lebar fasa amorf tersebut membuat *baseline* pola difraksi abu dasar menjadi naik. Tingginya puncak-puncak kuarsa mengindikasikan bahwa jumlah silika dalam abu dasar lebih tinggi dari alumina dan oksida-oksida lainnya. Hal ini turut mendukung hasil analisis komposisi kimia di mana silika memiliki persentase yang lebih tinggi yaitu 49,73%. Berdasarkan komposisi silika dan alumina dalam abu dasar yang tinggi maka dimungkinkan untuk mensintesis zeolit dari abu dasar dengan melakukan kajian atau optimasi terhadap beberapa parameter yang berperan dalam proses sintesis zeolit.

Sintesis Zeolit

Zeolit dapat disintesis dari abu dasar dengan perlakuan hidrotermal dengan larutan basa NaOH pada temperatur yang tinggi. Perlakuan tersebut akan mengubah abu dasar menjadi mineral-mineral zeolit dan melarutkan unsur-unsur kelumit melalui larutan basa (Amrhein, 1996). Suhu dan waktu hidrotermal, konsentrasi dan jenis basa serta jenis abu dasar yang digunakan menentukan jenis zeolit yang terbentuk (Amrhein, 1996; Chang dan Shih, 1997).

Dekomposisi abu dasar menggunakan metode peleburan dengan NaOH akan mengubah silika dan alumina yang berada dalam bentuk kristal yang stabil menjadi garam silikat dan aluminat yang lebih reaktif (Shigemoto dkk., 1993). Berdasarkan spektra pada **Gambar 3** terdapat perbedaan pola serapan dari padatan hasil peleburan abu dasar dengan NaOH dengan pola serapan abu dasar tanpa peleburan. Spektra IR abu dasar tidak memunculkan serapan pada bilangan gelombang sekitar $750\text{ cm}^{-1} - 650\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan serapan rentang simetri eksternal O-Si-O dan Al-O-Al. Hal ini diduga karena banyaknya pengotor (*impurities*) yang menutupi permukaan abu dasar sehingga tidak memunculkan serapan pada daerah sekitar $750-650\text{ cm}^{-1}$. Serapan pada bilangan gelombang sekitar $1250\text{ cm}^{-1} - 950\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan rentang asimetri internal TO4 lebih melebar pada abu dasar tanpa peleburan. Pada spektra IR padatan hasil peleburan muncul pula beberapa puncak baru dan pergeseran beberapa bilangan gelombang. Pita serapan rentang asimetri TO4 pada padatan hasil peleburan lebih sempit dari abu dasar tanpa peleburan dan mengalami pergeseran bilangan gelombang dari $1072,3\text{ cm}^{-1}$ pada abu dasar menjadi $979,84\text{ cm}^{-1}$ untuk padatan hasil peleburan. Pita serapan yang melebar pada abu dasar karena T-O yang bervibrasi tidak berasal dari satu jenis saja. Senyawa yang mempunyai rasio Si/Al tinggi menyerap pada bilangan gelombang yang lebih tinggi sehingga muncul serapan yang melebar, sedangkan senyawa yang kaya Al akan menyerap pada bilangan gelombang yang lebih rendah.

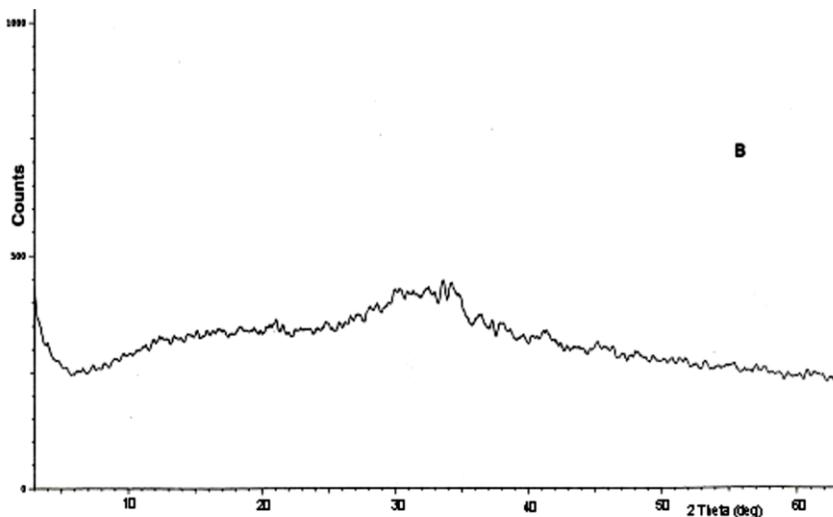


Gambar 3. Spektra IR padatan hasil peleburan abu dasar dengan NaOH ($r = 1,0$) pada suhu $550\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Penyempitan pita serapan rentang asimetri pada padatan hasil leburan diperkirakan berhubungan dengan bertambah homogenya bentuk spesies Si dan Al menjadi natrium aluminat dan natrium silikat setelah proses peleburan. Pita serapan baru muncul dengan intensitas yang lemah pada bilangan gelombang $640,37$; $740,67$ dan $825,53\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi eksternal rentang simetri TO4. Serapan-serapan tersebut cenderung tidak memisah, hal ini kemungkinan

disebabkan oleh terbentuknya spesies-spesies silikat dan aluminat amorf akibat pemanasan pada suhu tinggi dan suasana basa pada saat peleburan. Hal ini diperkuat dengan serapan vibrasi tekuk T-O yang mengalami pergeseran ke arah bilangan gelombang yang lebih tinggi yaitu $478,35 \text{ cm}^{-1}$, akibat adanya tumpang tindih antara pita serapan vibrasi tekuk T-O dari tetrahedral SiO_4^- dan AlO_4^- . Sedangkan serapan pada bilangan gelombang $362,62 \text{ cm}^{-1}$ merupakan serapan pori terbuka. Serapan baru juga muncul pada bilangan gelombang $1635,64 \text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi tekuk OH dari molekul H_2O . Pita serapan ini muncul karena terjadi penyerapan air dari udara baik oleh padatan leburan yang bersifat amorf atau sisa padatan NaOH karena sifatnya yang higroskopis. Pita serapan pada bilangan gelombang $3425,58 \text{ cm}^{-1}$ menjadi lebih lebar pada hasil leburan dari pada abu dasar. Pita serapan pada bilangan gelombang $3425,58 \text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi rentang gugus $-\text{OH}$ dari molekul H_2O yang terserap dari udara (Van der Marel, 1976). Pelebaran ini akibat kemampuan $-\text{OH}$ untuk membentuk ikatan hidrogen dengan gugus $-\text{OH}$ yang lain (Setianingsih, 1998), karena semakin banyak molekul air yang terserap, sebanding dengan terbentuknya garam-garam natrium yang higroskopis.

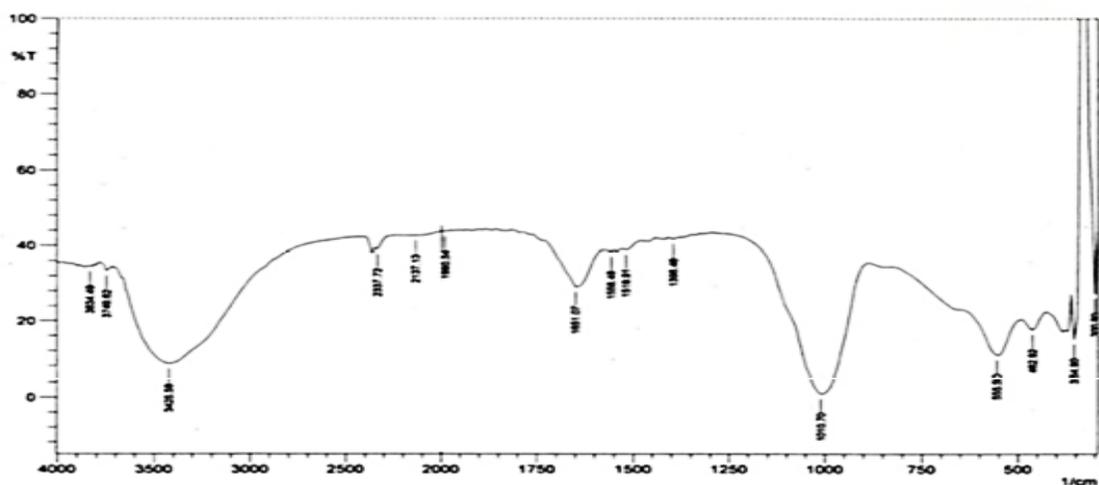
Pola difraksi abu dasar hasil peleburan disajikan pada **Gambar 4**. Setelah dilebur dengan NaOH dengan rasio berat NaOH/abu dasar = 1,0 pada suhu 550°C , maka terjadi perubahan puncak-puncak pada abu dasar. Tampak pada **Gambar 4** bahwa setelah proses peleburan puncak-puncak kuarsa dan mullit hilang, dan muncul puncak-puncak kecil dan tidak beraturan dengan intensitas yang sangat lemah. Hilangnya puncak-puncak kuarsa dan mullit ini mengindikasikan rusaknya struktur kerangka kristal dalam abu dasar menjadi natrium silikat dan natrium aluminat amorf. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Chang dan Shih (1998) yang menyatakan bahwa selama proses peleburan abu dasar, alumina dan silika diubah menjadi natrium silikat dan natrium aluminat amorf.



Gambar 4. Difraktogram padatan hasil peleburan abu dasar dengan NaOH ($r = 1,0$) pada suhu 550°C .

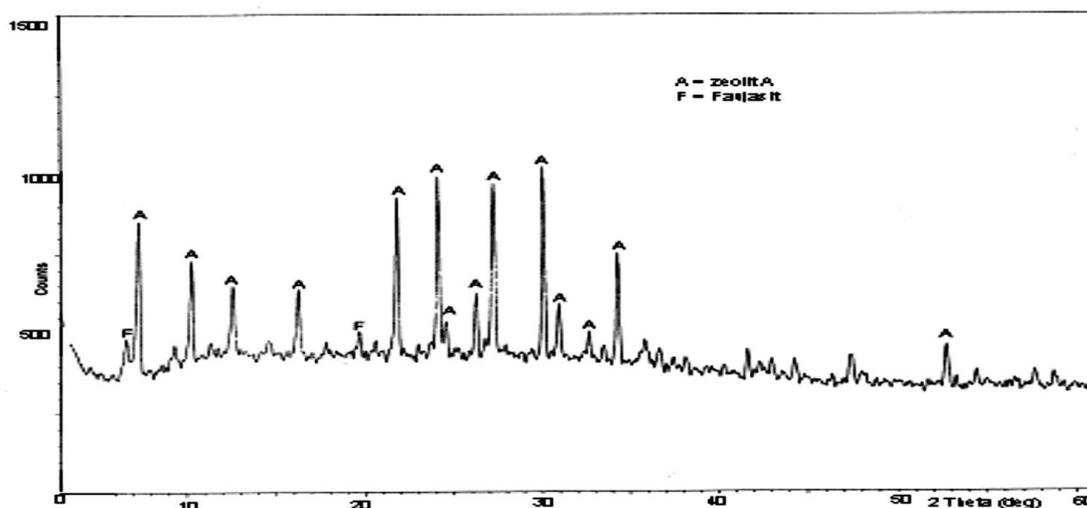
Berdasarkan spektra IR dan difraktogram sinar-X, maka dapat disimpulkan bahwa setelah peleburan abu dasar dengan NaOH maka dihasilkan padatan yang homogen yaitu padatan amorf yang lebih reaktif untuk sintesis zeolit. Mengingat suasana basa merupakan faktor penting dan menentukan tipe zeolit yang dihasilkan, di mana suasana basa ini diperoleh pada saat peleburan, dan selanjutnya pada natrium silika hasil dekomposisi dari abu dasar diberikan perlakuan dengan penambahan natrium aluminat.

Spektra IR padatan hasil penambahan natrium aluminat 1,5 g disajikan pada **Gambar 5**. Spektra IR pada **Gambar 3**, menunjukkan bahwa serapan vibrasi rentang asimetri TO4 muncul pada bilangan gelombang $1010,70\text{ cm}^{-1}$ dengan pola serapan yang lebih sempit dan tajam. Kondisi ini dapat dihubungkan dengan kristalinitas yang semakin meningkat. Serapan vibrasi tekuk T-O muncul pada bilangan gelombang $462,92\text{ cm}^{-1}$. Pita serapan pada bilangan gelombang $550,55\text{ cm}^{-1}$ merupakan serapan akibat vibrasi cincin ganda. Menurut Rees dan Chandrasekhar (1993) bahwa serapan pada bilangan gelombang 560 cm^{-1} merupakan serapan karakteristik untuk zeolit A. Serapan pada bilangan gelombang $354,90\text{ cm}^{-1}$ merupakan serapan untuk pori terbuka. Serapan vibrasi rentang asimetri dan vibrasi tekuk -OH dari molekul air masing-masing muncul pada bilangan gelombang $3425,58\text{ cm}^{-1}$ dan $1651,07\text{ cm}^{-1}$. Tipe zeolit yang terbentuk pada perlakuan ini dikaji lebih lanjut menggunakan difraksi sinar-X.



Gambar 5. Spektra IR padatan hasil penambahan natrium aluminat 1,5 gram (rasio berat NaOH/abu dasar 1,0; T = $100\text{ }^{\circ}\text{C}$; 24 jam)

Difraktogram pada **Gambar 6** muncul puncak-puncak yang lebih tinggi dan tajam. Puncak-puncak yang lebih tinggi dan tajam dapat dikaitkan dengan kristalinitas yang semakin meningkat. Hal ini dapat dipahami karena sumber aluminat yang digunakan merupakan bahan murni. Puncak-puncak yang muncul pada $2\theta = 30,098$ ($d=2,96$); $24,14$ ($d=3,68$); $27,24$ ($d=3,27$); $6,63$ ($d=13,31$); $7,08$ ($d=12,47$); $7,32$ ($d=12,06$) dan $10,30$ ($d=8,58$). Besarnya jarak antar bidang kristal (d) zeolit hasil sintesis dibandingkan dengan dengan standar yang diajukan oleh Ballmoos (1984). Berdasarkan perbandingan puncak-puncak yang muncul pada difraktogram dengan standar yang diajukan oleh Ballmoos, maka dengan penambahan aluminat 1,5 gram secara keseluruhan zeolit yang terbentuk adalah zeolit A. Hal ini disebabkan dengan penambahan natrium aluminat jumlah alumina semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian Barrer (1982) yang menyatakan bahwa zeolit A akan terbentuk jika dalam larutan tersedia spesies $\text{Al}(\text{OH})_4$. Penambahan natrium aluminat menyebabkan tingkat kristalinitas zeolit yang dihasilkan semakin tinggi dan zeolit yang dihasilkan adalah zeolit A.



Gambar 6. Difraktogram padatan hasil penambahan natrium aluminat 1,5 gram (rasio NaOH/abu dasar = 1,0; T = 100 °C; 24 jam)

Wahyuni, dkk. (2016) berhasil mensintesis zeolite A dari abu layang batubara dari PLTU Paiton. Menurut Wahyuni, dkk. (2016) sintesis zeolit A dipengaruhi oleh suhu peleburan dan waktu kristalisasi. Waktu kristalisasi yang relatif singkat sesuai untuk sintesis zeolit A yaitu selama 3 jam. Pengaruh suhu peleburan terhadap sintesis zeolit A yaitu semakin meningkat suhu peleburan yang digunakan maka jumlah Si, Al yang larut semakin berkurang. Berdasarkan hasil karakterisasi XRD dan FTIR menunjukkan bahwa zeolit A murni terbentuk pada suhu peleburan 450 °C adapun pada suhu fusi 400, 500, 550 °C terbentuk zeolit A dan faujasit dan pada suhu 600, 650 °C terbentuk fasa amorf. Hal ini juga dikonfirmasi oleh Wang, dkk (2008) dimana proses pembentukan zeolit A dilakukan pada suhu optimum 100 °C, waktu yang relatif pendek, konsentrasi basa yang rendah dan perbandingan molar Si/Al yang rendah yaitu pada range 1 sampai 1,4.

KESIMPULAN

1. Abu dasar batubara dari PLTU Paiton mengandung sejumlah oksida yaitu: SiO₂ 49,73 %; Al₂O₃ 19,51%; Fe₂O₃ 16,18%; CaO 5,40%; MgO 2,96%; Na₂O 1,23%; K₂O 0,84%; TiO₂ 0,99%; MnO 0,17%; dan LOI 2,38%
2. Berdasarkan data FTIR dan XRD dengan penambahan natrium aluminat maka zeolite yang terbentuk adalah zeolite A

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, F. (1996). Sintesis dan Karakterisasi Zeolit 4A dari Bahan Dasar Abu Layang, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Barrer, R.M., 1982, Hydrothermal Chemistry of Zeolite, Academic Press, London.
- Chang, H.L, and Shih, W.H. (1998). A General Method for the Conversion Fly ash into Zeolites as Ion Exchangers for Cesium, *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 37, 71-78.
- 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
- Penilla, R.P., Bustos, G.A., Elizalde, S.G. (2004). Zeolite Synthesized by Alkaline Hydrothermal Treatment of Bottom Ash from Combustion of 83 Municipal Solid Wastes. *J. American ceramic Society*, Vol. 86, 1527- 1533.
- Querol, X., Moreno, N., Umana, J.C., Alastuey, A., Hernandez, E., Lopez, A., and Plana, F. (2002). Synthesis of Zeolite from coal fly ash: An Overview, *International Journal of Coal geology*, 50, 413-423.
- Ribeiro, R.F., Ridgues, A.E., Rollman, L.D., and Naccache, C. (1984). *Zeolite Science and Technology*, Martinus Nijhoff Publisher, Netherland, 3- 12.
- Rees, L.V.C., and Chandrasekhar, S. (1993). Formation of Zeolite from The System $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ in Alkaline Medium ($\text{pH} > 10$), *Zeolite*, vol.13. 524-532.
- Setianingsih, T. (1998). *Sintesis dan Karakterisasi Aluminosilikat Mesopori (MCM-48)* Laporan Matakuliah Kapita Selektia, Program Pascasarjana, UGM Yogyakarta.
- 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.
- Sighemoto, N., Sugiyama, S., Hayashi, H., and Miyaura, K. (1995). Characterization of Na-X, Na-A and Coal Fly Ash Zeolite and Their Amorphous Precursors by IR, MAS NMR and XPS, *J. Mater. Sci*, 30, 5777-5782.
- Vucinic, D., Miljanovic, I., Rosic, A., and Lazic, P. (2003). Effect of $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ mole Ratio on The Crystal Type of Zeolite Synthesized From Coal Fly Ash, *J. Serb. Chem. Soc.* 68 (6) 471-478.
- Van der Marel, H.W. (1976). IR Spectroscopy of Clay Mineral and Their Admixture, Soil Mechanic Laboratory, Delft, Soil Survey Institute, Wageningen, Netherland.
- Wahyuni, T., Suprpto, Prasetyo, D. (2016). Pengaruh suhu fusi terhadap pembentukan zeolite A dari abu layang Paiton: Kapasitas penukar kation (Ca^{2+}), *Akta Kimindo* Vol. 1(1), 2016: 42-51.
- Wang, C.F., Li, J.S., Wang, L.J. dan Sun, X.Y. (2008). "Influence of NaOH Concentrations on Synthesis of Pure-form Zeolite A from Fly Ash Using Two-Stage Method", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 155, hal. 58-64.