



PENGARUH WAKTU REFLUKS TERHADAP HASIL SINTESIS ZEOLIT DARI BAHAN ABU DASAR BATUBARA DENGAN METODE HIDROTERMAL

Fina Wardani, Khamidinal, Endaruji Sedyadi, Didik Krisdiyanto*

Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
Jl. Marsda Adisucipto Yogyakarta 55281 Telp. +62-274-540971
Email: didik_kris@yahoo.com*

Abstrak. Telah dilakukan penelitian untuk sintesis zeolit dari abu dasar sisa pembakaran batubara P.G. Madukismo Yogyakarta dengan variasi lama waktu refluks untuk mengetahui pengaruh lama waktu refluks terhadap hasil sintesis zeolit dengan metode hidrotermal. Proses konversi abu dasar menjadi zeolit dilakukan dengan empat tahapan: pendahuluan, refluks dengan HCl (variasi lama waktu refluks 5, 6, 7, 8, dan 9 jam), sintesis zeolit dengan metode hidrotermal dikarakterisasi menggunakan Difraksi Sinar-X dan FTIR. Penelitian ini menghasilkan zeolit jenis Faujasit, Zeolit Y, Zeolit X, Zeolit Na dan Zeolit XSM-5. Hasil Karakterisasi FTIR menunjukkan adanya pola serapan pada bilangan gelombang 560,31-617,65 cm^{-1} yang menunjukkan adanya double ring pada struktur zeolit hasil sintesis. Lama waktu refluks mempengaruhi jenis dan kristalinitas padatan hasil sintesis karena berkurangnya Al akibat dealuminasi saat refluks.

This publication is licensed under a



Kata kunci: Zeolitel, abu dasar, refluks

Pendahuluan

Batubara merupakan salah satu sumber bahan bakar yang banyak digunakan dalam skala industri. Penggunaan batubara yang semakin meningkat, menyebabkan jumlah limbah yang dihasilkan juga semakin banyak. Limbah abu batubara yang relatif besar ini menimbulkan dampak pencemaran yang cukup berbahaya, sehingga perlu dipikirkan alternatif pemecahan permasalahan pencemaran ini. Pada penggunaan batubara sebagai sumber panas menghasilkan limbah dan menimbulkan polusi, limbah yang dihasilkan dari pembakaran ini berupa abu layang (*flying ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) (Querol dkk, 1997).

Abu sisa pembakaran batubara berwarna abu-abu dengan butiran abu dasar yang lebih besar sehingga dapat terkumpul di dasar tungku pembakaran, sedangkan abu layang akan melayang di udara karena berupa butiran yang lebih halus. Komponen kimia dari kedua jenis abu ini hampir sama, hanya kelimpahan masing-masing senyawa yang berbeda. Hasil analisis kandungan mineral menunjukkan bahwa abu dasar mengandung oksida-oksida logam termasuk logam-logam berat dalam jumlah kecil. Oksida utama dari abu dasar batubara adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan besi (Fe_2O_3). Keberadaan komponen silika dan alumina memungkinkan abu dasar dapat digunakan menjadi sumber bahan sintesis material yang strukturnya mirip dengan zeolit atau dikenal dengan *zeolite like material* (ZLM) (Tunjungsari, 2008).

Penelitian tentang pemanfaatan abu dasar maupun abu layang pada sintesis zeolit telah banyak dilakukan. Bialecka (2005) telah mensintesis zeolit jenis analsim dari abu layang batubara dengan metode hidrotermal, Widiastuti (2011) telah

berhasil mensintesis zeolit A dengan abu dasar sebagai sumber silika menggunakan metode peleburan dan kristalisasi hidrotermal. Penelitian Widiastuti dan Bialecka (2005) masih mengandung jenis zeolit lain yang tidak diinginkan karena pengotor yang ada pada abu layang masih banyak.

Metode refluks diharapkan dapat meningkatkan kristalinitas dari zeolit hasil sintesis dengan cara menghilangkan sejumlah oksida pengotor (Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O), metode ini telah dilakukan sebelumnya. Sunardi (2004) telah berhasil mensintesis zeolit dengan abu layang dengan perlakuan awal refluks NaOH 3M selama 12, 24, dan 72 jam menggunakan metode hidrotermal. Jumaeri (2007) juga telah mensintesis zeolit dari bahan abu layang dengan perlakuan awal refluks dengan HCl 1M selama 1 jam dengan metode hidrotermal.

Fajril (1996) dan Darwanta (1997) berhasil mensintesis zeolit 4A dari abu layang batubara asal PLTU Suralaya, dengan metode refluks dalam larutan NaOH 5M pada suhu 80°C , Sutarno (2004) telah mensintesis Zeolit dari bahan abu dasar dengan perlakuan awal refluks dengan HCl 5M selama 5 jam dengan metode hidrotermal. Sejauh pengetahuan penulis belum ada penelitian yang meneliti bagaimana pengaruh variasi lama waktu refluks HCl abu dasar terhadap hasil sintesis zeolit.

Penelitian ini diharapkan menjadi sumber pengetahuan mengenai pengaruh refluks terhadap hasil sintesis zeolit. Refluks dilakukan dengan HCl pada abu dasar dengan lama waktu yang berbeda. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber alternatif pemanfaatan limbah abu dasar menjadi bahan dengan nilai ekonomis yang lebih tinggi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode hidrotermal pada suhu 100°C

selama 72 jam yang mengacu pada metode yang digunakan oleh Sutarno (2004) dengan perlakuan awal abu dasar dengan Refluks HCl pada lama waktu yang berbeda.

Bahan dan Metode

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu abu dasar batubara dari Pabrik Gula Madukismo Yogyakarta, HCl (E. Merk), pelet NaOH (E.Merk), dan akuades

Peralatan Penelitian

Pada Penelitian ini alat yang digunakan yaitu, Gelas Piala 50 mL, labu ukur 50 mL, pipet volum 10 mL, corong gelas, bola hisap, lumpang porselen, mortar, teflon, penyaring Buchner, dan pengaduk magnet (VWR Scientific Nakamura) kertas saring, kertas pH universal, hotplate (Cimarex), oven (Thermo), Furnace (Thermo), Pompa Vakum (Vacumbrand), Neraca Analitik (Ohaus), Seperangkat alat Difraksi Sinar-X (Philips X' Pert Pro-MPD), Seperangkat alat FTIR (Shimadzu).

Metode Penelitian

Pembuatan Zeolit dari Abu Dasar

Tahapan yang pertama adalah preparasi abu dasar. Abu dasar digerus dengan lumpang dan mortar porselen sampai halus, kemudian disaring menggunakan ayakan dengan ukuran 230 mesh. Tahap ini akan menghasilkan abu dasar dengan ukuran yang halus dan seragam.

Tahapan yang kedua yaitu refluks, sebanyak 2 gram abu dasar di tambah dengan 50 mL HCl 0,4 M kemudian diaduk

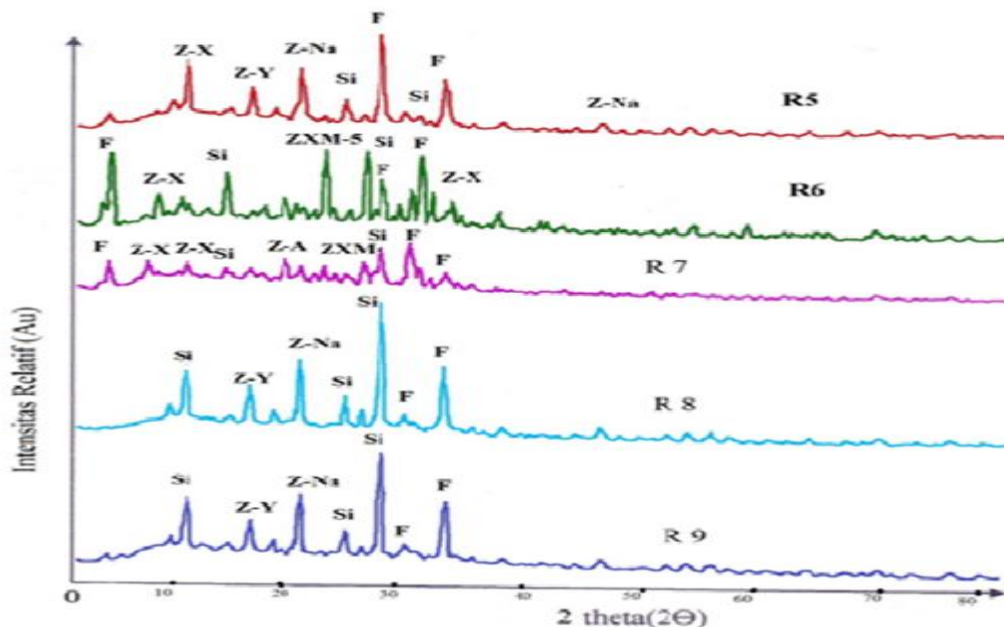
dengan pengaduk magnet pada suhu 90°C selama 5 jam. Tahapan ini diulangi dengan waktu refluks 6, 7, 8 dan 9 jam. Hasil refluks kemudian dinetralkan dengan akuades, setelah pH larutan netral kemudian disaring dengan penyaring Buchner dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 15 menit.

Tahapan selanjutnya adalah peleburan, abu dasar yang telah direfluks kemudian dimasukkan dalam furnace dan ditambahkan NaOH pelet dengan perbandingan 1:1,2 Kemudian dileburkan pada suhu 550°C selama 1 jam.

Tahapan selanjutnya yaitu proses hidrotermal, abu dasar yang telah terdekomposisi dimasukkan ke dalam teflon hidrotermal dan ditambahkan akuades dengan perbandingan 1 gram abu ditambah 10 mL akuades. Campuran kemudian dimasukan dalam oven dan dipanaskan pada suhu 100°C selama 72 jam .Hasilnya kemudian dicuci dengan akuades sampai pH larutan 10-11 untuk selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 15 menit.

Karakterisasi Zeolit dari Abu Dasar

Padatan yang dihasilkan dikarakterisasi dengan teknik Difraksi Sinar-X menggunakan radiasi CuK α pada panjang gelombang $\lambda = 1,541 \text{ \AA}$, tegangan 40 kV, dan arus 30 mA dengan rentang sudut $2\theta = 5-50^\circ$. Padatan yang dihasilkan dikarakterisasi dengan FTIR (SHIMADZU) untuk mengetahui ikatan yang terbentuk pada bilangan gelombang 4000 cm⁻¹ sampai 400 cm⁻¹.



Gambar 1. Difraksi Sinar-X zeolit dari Abu Dasar

Tabel 1. Interpretasi Difraksi Sinar-X zeolit dari Abu Dasar

No	(2 θ)					Interpretasi
	R5	R6	R7	R8	R9	
1	28,39 12,64 25,52	28,23	28,04 15,52	28,05 12,41 25,27	28,23 12,57 25,44	Silika
2	21,85 46,24	-	-	21,61 46,04	21,78 46,19	Zeolit Na
3	33,57 30,23	6,32 31,25 26,9	30,38 6,13 31,09	33,35 30,42	33,51 30,21	Faujasit
4	17,91	10,19		17,65	17,82	Zeolit Y
5	-	15,66 20,32	10,00 11,78	-	-	Zeolit X
6	-	24,2	26,70 17,55	-	-	Zeolit ZSM-5
7	-	-	21,62	-	-	Zeolit A

Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi Zeolit dari Abu Dasar

Padatan yang diperoleh kemudian dikarakterisasi dengan metode Difraksi Sinar-X. Pola difraksi masing-masing padatan hasil sintesis untuk variasi lama waktu refluks yang berbeda disajikan pada Gambar 1 dan hasil indeksasi secara lengkap disajikan pada Tabel 1. Pada Gambar 1 terlihat pola Difraksi Sinar-X untuk padatan hasil sintesis pada lama refluks 5 jam (R5). Dari pola tersebut kemudian dicocokkan dengan data pola Difraksi Sinar – X JCPDS (*Joint Committee for Powder Diffraction Standard*), atau hasil penelitian lain yang dilakukan, sehingga senyawa yang terdapat dalam sampel dapat diidentifikasi. Dari Hasil tersebut dapat diketahui bahwa pada sintesis zeolit dari bahan abu dasar sebagai sumber silika dengan waktu refluks 5 jam menghasilkan zeolit jenis Faujasit, Zeolit Y, Zeolit Na dan Silika. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Sutarno dkk, (2004) yang mensintesis Faujasit dengan lama waktu refluks HCl selama 5 jam dengan metode Hidrotermal pada suhu 100°C selama tiga hari. Zeolit jenis Faujasit terbentuk karena proses refluks dapat meningkatkan rasio Si/Al dari 2,14 menjadi 2,79 (Sutarno, 2004).

Sintesis zeolit pada waktu refluks 6 jam menghasilkan zeolit jenis Faujasit, Zeolit Y, Zeolit X dan Zeolit A dibandingkan saat lama waktu refluks 5 jam menghasilkan zeolit jenis Zeolit Na, Faujasit dan Zeolit Y, Zeolit X dan Zeolit A tidak terbentuk pada lama waktu refluks 5 dan 6 tetapi Zeolit A terbentuk pada lama waktu refluks 7 jam. Hal ini karena Zeolit A merupakan zeolit dengan kadar Si sedang, sehingga diasumsikan zeolit jenis ini akan terbentuk saat jumlah Si yang lebih banyak dibanding Al. Jumlah silika yang ada juga menurun yang menandakan lebih banyak Si yang telah terkonversi menjadi zeolit pada saat lama waktu refluks 6 dan 7 jam. Pada saat lama waktu refluks 7 jam, jenis zeolit yang terbentuk lebih banyak, puncak-puncak pola

yang dihasilkan cenderung merata dan tidak ada yang dominan, tidak ada peak yang runcing dan hal ini menandakan bahwa hasil sintesis kurang stabil, meskipun banyak zeolit yang terbentuk.

Pola Difraksi yang identik didapatkan pada pola Difraksi padatan hasil sintesis untuk lama waktu refluks 8 dan 9 jam. Dari pola Difraksi Sinar-X yang diperoleh dapat diketahui bahwa pada sintesis zeolit dengan metode hidrotermal pada variasi lama waktu refluks 8 dan 9 jam menghasilkan jenis zeolit Na, Faujasit, Zeolit Y dan Silika. Meskipun jenis zeolit yang terbentuk saat lama waktu refluks 8 dan 9 jam cenderung sama, terdapat perbedaan kristalinitas di antara keduanya. Untuk lama waktu refluks 9 jam, zeolit yang terbentuk lebih kristalin, hal ini dapat dilihat dari pola Difraksi Sinar-X untuk padatan zeolit hasil sintesis dengan lama waktu refluks 9 jam yang lebih runcing.

Perbedaan jenis zeolit yang terbentuk pada masing-masing padatan hasil sintesis dengan lama waktu refluks yang berbeda dikarenakan jumlah Al dalam abu dasar telah terdealumisasi waktu refluks. Zeolit X dan zeolit ZSM-5 tidak terbentuk pada sintesis dengan lama waktu refluks 8 dan 9 jam dikarenakan molekul Al_2O_3 dalam abu dasar telah hilang saat proses refluks. Zeolit Na tidak terbentuk pada lama waktu refluks 6 dan 7 jam, perbandingan Si/Al Zeolit Na adalah 9/1. Jika dilihat dari sini maka dapat diprediksikan bahwa pada saat lama waktu refluks 6 dan 7 jam kandungan Al masih melimpah sehingga cenderung terbentuk jenis zeolit dengan perbandingan Si/Al yang lebih sedikit, yaitu jenis Zeolit Y dengan perbandingan Si/Al adalah 2/1.

Pada semua padatan hasil sintesis dengan lama waktu yang berbeda terbentuk Faujasit dengan perbandingan Si/Al adalah 2,78, perbandingan antara Si dan Al pada zeolit jenis Faujasit hanya sedikit sehingga sangat mungkin terbentuk Faujasit meskipun jumlah Al dalam abu dasar mengalami penurunan karena adanya proses refluks, hal ini sama dengan kesimpulan

Sutarno, dkk. (2004) yang mensintesis zeolit dengan metode hidrotermal pada suhu 100°C.

Pola Difraksi Sinar-X untuk lama waktu refluks 5-9 jam memberikan pola yang semakin runcing, hal ini menunjukkan bahwa perbedaan lama waktu refluks dapat mempengaruhi kristalinitas zeolit yang terbentuk. Dengan kata lain, Kristalinitas akan semakin meningkat dengan meningkatnya rasio perbandingan Si/Al (Sutarno dkk, 2009).

Karakterisasi dengan FTIR terhadap padatan hasil refluks dilakukan untuk mengetahui pengaruh refluks terhadap perubahan gugus-gugus spesifik dalam kerangka alumina silikat dan perubahan gugus-gugus fungsi dari senyawa lain. Perubahan-perubahan tersebut dapat dianalisis dengan membandingkan pola spektra IR antara zeolit alam dengan padatan hasil refluks yang disajikan pada gambar 2.

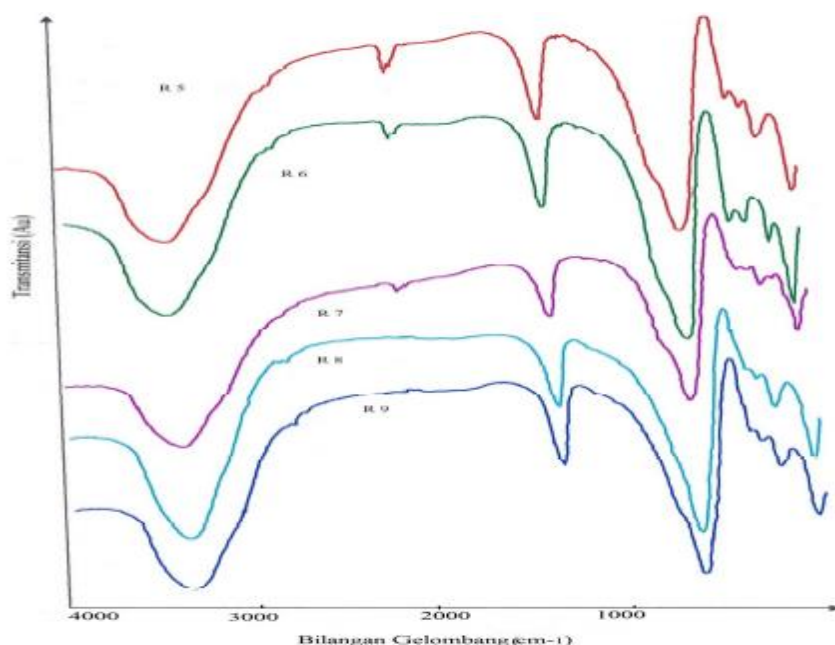
Perubahan pola serapan terjadi baik pada daerah bilangan gelombang 1300-300 cm^{-1} yang menunjukkan gugus spesifik zeolit maupun pada daerah bilangan gelombang 4000-1500 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus fungsi lainnya. Hasil interpretasi spektra inframerah secara lengkap disajikan pada Tabel 2

Pada hasil karakterisasi FTIR diperoleh pola serapan yang khas untuk masing-masing ikatan antar atom. Semua hasil sintesis menunjukkan adanya pola serapan pada daerah panjang gelombang 3451-3470 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi ulur gugus OH, hal ini diperkuat dengan adanya serapan pada panjang gelombang 1682,53-1648,24 cm^{-1} . Vibrasi tekuk OH

dapat diketahui dari adanya pola serapan pada panjang gelombang 1250-950 cm^{-1} . Pada struktur zeolit terdapat jalinan internal dan jalinan eksternal. Jalinan internal pada zeolit produk muncul pada daerah serapan sekitar 1250-950 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur asimetri dari Si—O dan Al—O dari kerangka alumino silikat. Serapan pada daerah ini ditunjukkan oleh semua zeolit hasil sintesis. Vibrasi ulur simetri Si—O dan Al—O muncul pada daerah serapan sekitar 820-650 cm^{-1} yang ditunjukkan oleh munculnya puncak serapan pada semua padatan hasil sintesis.

Pada daerah daerah bilangan gelombang 550-330 cm^{-1} memperlihatkan adanya perubahan bentuk serapan yaitu serapan vibrasi pori terbuka dan serapan vibrasi tekuk dari Si—O atau Al—O yang mengalami penyempitan. Pita yang sangat spesifik berada pada sekitar 550 cm^{-1} yang menunjukkan adanya unit cincin 5 dalam struktur pentasil zeolit seperti ZSM-5 (Goncalves dkk, 2008). Hasil analisis ini diperkuat dengan terjadinya penyempitan luasan serapan vibrasi tekuk dari Si—O atau Al—O pada bilangan gelombang antara 500-420 cm^{-1} yang juga diperkirakan karena mineral padatan hasil refluks yang lebih lama waktunya menjadi semakin homogen. Vibrasi tekuk dari Si—O dan Al—O pada kerangka aluminosilikat pada zeolit muncul pada daerah serapan sekitar 500-420 cm^{-1} .

Adanya vibrasi ulur dan vibrasi tekuk dari Si—O dan Al—O menunjukkan telah terbentuknya kerangka aluminosilikat pada setiap sampel. Adanya pergeseran pola pita pada karakterisasi FTIR mengindikasikan bahwa kristalinitas padatan yang terbentuk semakin meningkat (Vadapelli, 2008).



Gambar 2. Spektra FTIR zeolit dari Abu Dasar

Tabel 1. Interpretasi Spektra FTIR zeolit dari Abu Dasar

Range	Panjang gelombang (cm^{-1})					Interpretasi
	R 5	R6	R7	R8	R9	
3400-3700	3462,99	3470,85	3451,51	3452,07	3453,99	Vibrasi rentang OH
900-1250	986,00	979,93	998,46	1002,73	997,80	Vibrasi ulur O-T*-O
500-420	432,52	456,28	452,26	436,34	431,75	Vibrasi tekuk T*-O
650-500	597,41	560,31	617,65	605,50	604,11	Double Ring
4000-1250	1648,24	1643,20	1646,83	1642,53	1642,84	Vibrasi ulur gugus OH
1250-950	670,93	673,64	680,94	677,65	676,96	Vibrasi tekuk OH
680-850	737,53	749,90	-	-	-	Vibrasi rentang simetrik O-T*-O

Pada daerah bilangan gelombang sekitar $820\text{--}750\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya penurunan intensitas puncak serapan vibrasi rentang simetrik dari jalinan eksternal O—Si—O dan O—Al—O pada padatan hasil sintesis dengan lama waktu refluks selama 5 jam pada $737,53\text{ cm}^{-1}$ naik pada lama waktu refluks 6 jam pada $794,90\text{ cm}^{-1}$ tetapi pada lama waktu refluks 7 sampai 9 jam tidak ditemukan adanya vibrasi rentang simetrik dari jalinan eksternal O—Si—O dan O—Al—O. Adanya pergeseran tersebut menandakan bahwa semakin lama waktu refluks maka kandungan O—Al—O akan semakin berkurang bahkan tidak ditemukan karena terjadi dealuminasi. Dealuminasi terjadi karena Al lebih bersifat basa dari pada Si sehingga akan bereaksi dengan asam dan membuat ikatannya menjadi lebih mudah putus. Karena berkurangnya Al akibat dealuminasi menyebabkan peningkatan rasio Si/Al dan keasaman padatan hasil refluks.

Double ring ini merupakan jalinan eksternal antara lapisan zeolit satu dengan lainnya. Serapan pada daerah ini ditunjukkan oleh semua zeolit hasil sintesis. Terjadi pergeseran pola serapan untuk masing-masing padatan dengan lama waktu refluks yang berbeda yang cenderung naik dan kemudian turun. Pada lama waktu refluks lima sampai sembilan jam berturut-turut muncul vibrasi double ring pada bilangan gelombang $597,41$; $560,31$; $617,65$; $605,50$ dan $604,11\text{ cm}^{-1}$. Double ring merupakan karakter zeolit yang spesifik yang ditunjukkan dengan munculnya serapan pada daerah $650\text{--}500\text{ cm}^{-1}$ (Warsito dkk, 2009).

Hal ini menunjukkan bahwa pada lama waktu refluks lima sampai tujuh jam terjadi peningkatan jenis zeolit yang terbentuk karena padatan abu dasar masih mengandung senyawa pengotor seperti logam besi dan oksida-oksida yang lain. Sedangkan pada lama waktu refluks tujuh sampai sembilan jam jenis zeolit yang terbentuk semakin homogen karena pengotor yang ada pada abu dasar sudah dikurangi jumlahnya dengan refluks. Indikasi berkurangnya Al akibat refluks juga dapat diamati dengan melihat penurunan intensitas serapan pada bilangan gelombang $3200\text{--}2900\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi tekuk OH (hidroksil).

Penurunan daerah serapan tersebut pada padatan hasil sintesis untuk lama waktu refluks lima dan enam jam yaitu pada bilangan gelombang $1648,24$ menjadi $1643,20\text{ cm}^{-1}$. Serta pada padatan untuk lama waktu refluks tujuh dan delapan jam yaitu pada daerah panjang gelombang $1646,83$, $1642,53\text{ cm}^{-1}$.

Hal ini karena dealuminasi menyebabkan rasio Si/Al meningkat sehingga padatan hasil refluks dengan waktu yang lebih lama menjadi lebih hidrofobik sehingga interaksi antara padatan hasil refluks dengan air dan molekul polar lainnya akan menjadi lemah yang menyebabkan berkurangnya jumlah air ataupun gugus hidroksil yang terikat.

Karakterisasi FTIR memperlihatkan bahwa semua padatan hasil sintesis merupakan zeolit dengan adanya vibrasi gugus fungsional O-Si-O dan O-Al-O serta adanya vibrasi Double Ring yang merupakan ciri khas dari struktur kristal zeolit. Sintesis zeolit dari bahan abu dasar Batubara menggunakan metode hidrotermal dengan perlakuan awal refluks HCl menghasilkan zeolit dengan jenis dan kristalinitas yang berbeda-beda, hal ini karena berkurangnya pengotor saat refluks sehingga semakin lama waktu refluks akan meningkatkan kristalinitas zeolit yang terbentuk.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Abu dasar dapat dijadikan sebagai sumber Si dan Al untuk sintesis zeolit dengan perlakuan awal refluks menggunakan metode hidrotermal. Lama waktu refluks mempengaruhi kristalinitas hasil sintesis zeolit. Semakin lama waktu refluks, padatan zeolit yang terbentuk semakin kristalin. Karakterisasi Difraksi Sinar-X menunjukkan terbentuknya zeolit pada semua padatan hasil sintesis, sedangkan karakterisasi FTIR menunjukkan adanya struktur Double Ring yang merupakan ciri khas dari struktur zeolit pada daerah panjang gelombang $560,31\text{--}617,65\text{ cm}^{-1}$.

Daftar Pustaka

- Bialecka, B., Z., Adamczyk, 2005, Hydrothermal Synthesis of Zeolites From Polish Fly Ash . J., Environ., Study Vol. 14
- Darwanta., 1997, Kajian Penambahan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dalam Sintesis Zeolit 4A dari AbuLayang Batubara. Skripsi, Yogyakarta: Fakultas MIPA UGM
- Fajril A., 1996, Sintesis Zeolit 4A dari Abu Layang Batubara, Thesis, Yogyakarta: UGM
- Jumaeri, W., Astuti dan W.T.P. Lestari, 2007, Preparasi Dan Karakterisasi Zeolit Dari Abu Layang Batubara Secara Alkali HidrotermalFukui. jurnal Reaktor, vol. 11 No. 1
- Querol, X., Plana, F., Alastuey, A., Lopez-Soler, A., Andres, J.M., Juan, R., Ferrer, P., Ruiz, C.R., , 1997, Industrial Application of Coal Combustion Wastes: Zeolite Synthesis and Ceramic Utilisation, European Coal and Steel Community. International journal of Coal Geology A.
- Sunardi, 2007, Pengaruh Waktu Refluks dengan NaOH terhadap Konversi Abu Layang Batubara menjadi Zeolit. Banjarsari: Fakultas MIPA UNLAM
- Sutarno, 2009, Kajian Pengaruh Rasio Berat NaOH/Abu Layang Batubara terhadap Kristalinitas dalam Sintesis Zeolit. Jurnal Ilmu Dasar vol. 10 No. 1
- Tunjungsari, R., 2008, Studi Adsorpsi Ion Logam Pb (II) oleh abudasar (bottom ash) batubara. Skripsi, Yogyakarta: Fakultas MIPA UGM
- Warsito, Sriatun, Taslimah, 2007, Pengaruh Penambahan Surfaktan cetyltrimethylammonia bromide(n-CTMABr) pada Sintesis Zeolit Y. Semarang: Fakultas MIPA Universitas Diponegoro
- Widiastuti Nurul , Nurlailis Handayani, Didik Prasetyoko, Fahimah Martak, 2011, Adsorpsi Amonium (NH_4^+) pada Zeolit A yang Disintesis dari Abu Dasar Batubara. Surabaya: Fakultas MIPA ITS