



Terakreditasi: SK No.: 60/E/KPT/2016

Website : <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/reaktor/>

Reaktor, Vol. 17 No. 1, Maret Tahun 2017, Hal. 17-24

## Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Penahanan Terhadap Karakteristik Zeolit yang Disintesis dari Limbah Geothermal

Sulardjaka\*) dan Deni Fajar Fitriyana

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang  
Telp./Fax. (024)7460059 / (024)7460059

\*)Penulis korespondensi: [sulardjaka@undip.ac.id](mailto:sulardjaka@undip.ac.id)

### Abstract

**THE EFFECT OF CONCENTRATION OF NaOH AND HOLDING TIME ON CHARACTERISTIC OF ZEOLIT SYNTHESIZED FROM GEOTHERMAL WASTE.** *Objective of this research is to investigate the effect of concentration of NaOH and holding time on the characteristic of synthesized zeolite from geothermal waste. Geothermal waste was used as silica source and hydrothermally processed for zeolite synthesized. Variation concentration of NaOH was 1.67, 3, and 5 M and variation of holding time are 1, 3, and 5 hours. Synthesized products were characterized by XRD, FTIR and SEM photomicrograph. It can be concluded that the rise of concentration of NaOH reduce the cristalization time and crystal size. Increasing of concentration of NaOH and holding time produce divers zeolite structure. At holding time 5 h and NaOH 1.67 M produces zeolite A. At holding time 5 h and NaOH concentration 3 M produce zeolite P. Sodalite is produced at concentration NaOH 5 M with holding time 5 h.*

**Keywords:** hydrothermal; geothermal waste; zeolite

### Abstrak

*Penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh konsentrasi NaOH dan waktu penahanan terhadap karakteristik zeolit yang disintesis dari limbah geothermal. Limbah geothermal dipilih sebagai bahan silika pada sintesis zeolit dengan metode hidrotermal. Penelitian dilakukan dengan variasi konsentrasi NaOH: 1,67, 3, dan 5 M, dan variasi waktu penahanan 1, 3 dan 5 jam. Produk hasil sintesis dikarakterisasi dengan XRD, FTIR dan foto SEM. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa tinggi konsentrasi NaOH kristalisasi zeolit A semakin cepat, sehingga ukuran kristal semakin kecil. Konsentrasi NaOH yang semakin tinggi dan waktu penahanan yang semakin lama, menghasilkan jenis struktur zeolit yang lebih beragam. Pada waktu penahanan 5 jam, variasi konsentrasi NaOH 1,67 M menghasilkan zeolit A, variasi konsentrasi NaOH 3M menghasilkan zeolit P (NaP1) dan pada variasi konsentrasi NaOH 5M menghasilkan sodalit.*

**Kata kunci:** hydrothermal; limbah geothermal; zeolit

**How to Cite This Article:** Sulardjaka dan Fitriyana, D.F., (2017), Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Penahanan Terhadap Karakteristik Zeolit yang Disintesis dari Limbah Geothermal, Reaktor, 17(1), 17-24, <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.17.1.17-24>

## PENDAHULUAN

Zeolit adalah senyawa alumino-silikat berhidrat dengan kation natrium, kalium dan barium. Zeolit juga sering disebut sebagai *molecular sieve* karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler (*microporous*) sehingga mampu memisahkan/menyaring molekul dengan ukuran tertentu. Zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain: mudah melepas air akibat pemanasan, tetapi juga mudah mengikat kembali molekul air dalam udara lembab (Rahman dan Hartono, 2004). Zeolit juga mudah melepas kation dan diganti dengan kation lainnya (*ion exchange*), misal zeolit melepas natrium dan digantikan dengan mengikat kalsium atau magnesium. Di dalam air, zeolit mampu mengikat bakteri *E.Coli* (Yudhastuti, 1993). Zeolit yang berkualitas tinggi dapat digunakan untuk mengikat air pada gas alam, untuk meningkatkan kualitas produk gas alam (Shirazian dan Ashrafizadeh, 2015).

Zeolit terdiri dari 2 macam, yaitu zeolit alam dan zeolit hasil sintesis. Saat ini zeolit hasil sintesis lebih banyak digunakan karena kemurnian, keseragaman struktur kristal dan ukuran partikel (Georgiev dkk., 2009). Zeolit dapat disintesis dengan metode sintesis hidrothermal. Proses hidrothermal merupakan proses sintesis di dalam sebuah reaktor (*autoclave*) baja yang dilapis Teflon®, pada suhu dan waktu tertentu (Bayuseno dkk., 2009; Wang dkk., 2016). Sintesis zeolit dengan proses ini, dilakukan dengan membuat larutan silika dan alumina dengan ataupun tanpa katalis dipanaskan sampai temperatur antara 150-300°C selama 24-240 jam (Donahoe dkk., 1984). Produk zeolit tergantung pada perbandingan Al/Si, temperatur sintesis, pelarut, PH dan katalis (Konde dan Thomson, 2007).

Permasalahan pada proses sintesis zeolit adalah mahalnya harga bahan silika (Georgiev dkk., 2009). Untuk mengatasi masalah tersebut, beberapa penelitian untuk menekan biaya pembuatan (sintesis) zeolit dengan mencari berbagai bahan silika yang murah telah dilakukan. Bahan awal (*starting precursor*) yang mulai diteliti/dikembangkan sebagai bahan silika pada sintesis zeolit adalah abu sekam padi (Bhavorthanayod dan Rungrojchaipon, 2009; Rahman dkk., 2009; Santasnachok dkk., 2015; Ng dkk., 2015). Bahan limbah lain yang juga berhasil disintesis menjadi zeolit adalah limbah abu terbang batubara. Limbah abu terbang batubara mengandung 45% SiO<sub>2</sub>. Sintesis zeolit dengan menggunakan limbah abu terbang batubara sebagai bahan SiO<sub>2</sub> telah banyak dilakukan (Querol dkk., 2002; Adamczyk dan Bialecka, 2005; Cardoso dkk., 2015; Li dkk., 2015; Deng dkk., 2016; Fukasawa dkk., 2017;). Machado dan Miotto (2005) telah berhasil mensintesis limbah abu serpihan minyak (*oil shale*) yang mengandung 56% SiO<sub>2</sub> menjadi zeolit.

Penelitian yang dilakukan oleh Adamczyk dan Bialecka (2005) menghasilkan dua jenis zeolit, yaitu zeolit NaP1 dan analcime. Sintesis ini menggunakan larutan 3,6% Na<sub>2</sub>O (1,16 M NaOH) dengan suhu *hydrothermal* 80-320°C. Kristal zeolit NaP1 dan analcime mulai terbentuk pada suhu 120°C. Dengan

peningkatan suhu *hydrothermal* kandungan zeolite NaP1 semakin meningkat, dan untuk suhu 200 sampai 320°C, zeolit analcime mengalami pertumbuhan yang signifikan. Penelitian pengaruh konsentrasi NaOH dalam sintesis zeolit dengan bahan dasar abu terbang batu bara telah dilakukan oleh Wang dkk. (2008). Pada penelitian ini, sintesis zeolit dilakukan dengan variasi konsentrasi NaOH sebesar: 1,67; 3; 5; dan 6, 67 M dengan suhu *hydrothermal* sebesar 100°C. Proses sintesis dilakukan dengan variasi waktu: 340, 250 dan 190 menit. Penelitian ini menyimpulkan bahwa peningkatan konsentrasi NaOH menyebabkan kristal dari zeolit A akan menurun karena %kristalinitas akan semakin tinggi. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Escalante dkk. (1999) menunjukkan bahwa terdapat kandungan silika yang terdapat pada limbah geothermal. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh molaritas NaOH terhadap karakteristik zeolit yang disintesis dari limbah. Pada penelitian terdahulu, telah berhasil disintesis zeolit dari bahan dengan suhu *hydrothermal* 100, 110 dan 120°C dengan waktu *hydrothermal* 5 jam dan variasi waktu *hydrothermal* 3, 4, dan 5 jam dengan temperatur *hydrothermal* 120°C (Sulardjaka dkk., 2014).

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Sintesis zeolit pada penelitian ini menggunakan bahan baku limbah dari pembangkit listrik tenaga panas bumi. Limbah geothermal diambil dari tempat penimbunan limbah geothermal PT Geo Dipa Energy, Dieng, Wonosobo. Untuk proses pembuatan precursor pembuatan zeolit digunakan larutan NaOH dan Al(OH)<sub>3</sub>.

### Prosedur Penelitian

Limbah geothermal kemudian dikeringkan dan diayak dengan ayakan berukuran mesh 100. Serbuk limbah geothermal tersebut kemudian dikalsinasi dengan dipanaskan pada suhu 850°C di lingkungan dengan oksigen selama 3 jam. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air atau pengotor lain, sehingga didapat serbuk dengan kandungan silika yang tinggi. Produk hasil proses kalsinasi limbah geothermal diuji komposisi dengan metode AAS dengan menggunakan alat uji AAS *Shimadzu* tipe AA-6650. Pengujian komposisi dengan menggunakan AAS dilakukan pada serbuk yang tidak dikalsinasi dan dikalsinasi. Pengujian ini mendapatkan perbedaan komposisi senyawa yang terkandung pada bahan baku limbah geothermal. Tahap berikutnya adalah pembuatan larutan natrium aluminat. Pembuatan larutan natrium aluminat dimulai dengan melarutkan 20 gr NaOH kedalam 100 mL aquades. Larutan yang terbentuk kemudia dimasukkan ke dalam gelas kaca, dan diaduk dengan *magnetic stirrer* pada suhu 100 °C dan kecepatan putaran 300 rpm. Pada saat pengadukan, ke dalam larutan ditambahkan 8,5 gr Al(OH)<sub>3</sub>. Sebanyak 30 ml larutan natrium aluminat dicampur dengan 30 mL larutan NaOH (5, 3, atau 1,67 M) kemudian

ditambah dengan 3 gr serbuk geothermal yang telah dikalsinasi. Campuran larutan tersebut kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirer* yang telah diatur pada suhu 30°C dengan kecepatan putaran sebesar 300 rpm.

Natrium silikat yang dihasilkan dimasukkan ke dalam tabung Teflon® kemudian ditempatkan pada alat *hydrothermal*. Proses sintesis dimulai dengan pemanasan sampai suhu air didalam reaktor sebesar 100°C, kemudian dilakukan penahanan dengan variasi waktu penahanan: 3, 4, atau 5 jam dalam keadaan tertutup rapat. Hasil yang terbentuk kemudian di saring dengan kertas saring *whatmann* untuk memisahkan antara padatan dan *filtrate*. Padatan yang terbentuk kemudian dicuci dengan *aquabides*. Selanjutnya padatan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 6 jam. Untuk mengetahui pengaruh kondisi reaksi terhadap pembentukan zeolit dilakukan variasi waktu pemanasan pada proses *hydrothermal*.

Karakterisasi yang dilakukan pada produk hasil proses hidrothermal meliputi: analisis fasa kristalin pada zeolite dan penentuan ukuran butir zeolit dengan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*. *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)* untuk identifikasi gugus fungsi ikatan dalam stuktur zeolit. Untuk menganalisis morfologi dan topologi serbuk zeolit, dilakukan dengan pengujian SEM.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian komposisi kimia serbuk limbah *geothermal* yang belum dikalsinasi (*as receive*) dan telah dikalsinasi (*calcinated*) ditunjukkan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan rata-rata kandungan SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam serbuk geothermal yang belum dikalsinasi adalah 49,100% dan 0,0559%. Kandungan SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah dua unsur utama yang akan digunakan sebagai parameter kelayakan penggunaan lumpur *geothermal* sebagai bahan dasar dalam proses sintesis zeolit. Data komposisi limbah geothermal yang belum dikalsinasi menunjukkan bahwa limbah geothermal berpotensi untuk disintesis menjadi zeolit. Hasil pengujian komposisi pada bahan limbah geothermal yang telah dikalsinasi, menunjukkan bahwa kandungan SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada limbah geothermal yang telah dikalsinasi meningkat secara drastis menjadi 80,04 dan 0,14. Menurut Yusof dkk. (2010) hal ini terjadi karena pada proses kalsinasi, terjadi proses penguapan senyawa organik, sehingga meningkatkan persentase senyawa anorganik terutama SiO<sub>2</sub>.

Tabel. 1. Komposisi kimia limbah geothermal (%)

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Lainnya
<i>bahan baku</i>	0,06	0,20	0,60	49,10	- 100 %
<i>terkalsinasi</i>	0,14	0,45	0,76	80,04	-100 %

Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan hasil pengujian XRD produk hidrothermal limbah geothermal dengan konsentrasi NaOH yang berbeda (1,67, 3, dan 5 M) dengan suhu 100°C dan waktu penahanan 3 jam dan 4 jam. Grafik pada gambar tersebut menunjukkan terdapat intensitas yang

menunjukkan terbentuknya struktur zeolit A. Zeolit A ditunjukkan dengan adanya puncak intensitas pada nilai  $2\theta$  18,665. Perbedaan intensitas puncak yang dominan pada setiap difraktogram tersebut, menunjukkan adanya perbedaan kecepatan kristalisasi dari masing-masing zeolit yang dapat diketahui dari ukuran kristal yang dihasilkan pada setiap variasi konsentrasi NaOH.

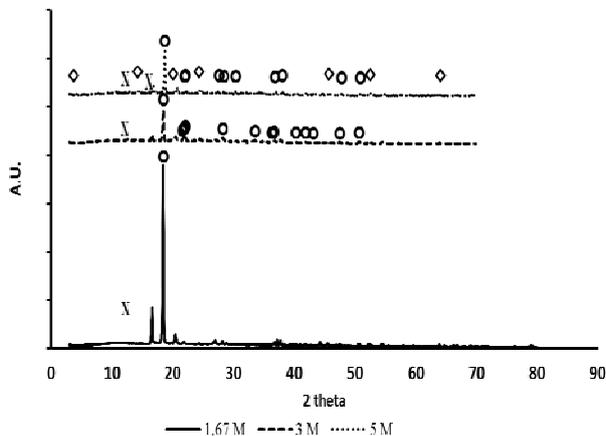
Hasil karakterisasi dengan XRD pada proses hidrothermal dengan variasi konsentrasi NaOH: 1,67, 3, dan 5 M pada suhu 100°C dan waktu pemanasan 5 jam ditunjukkan pada Gambar 3. Dari perbandingan difraktogram tersebut dapat dilihat bahwa intensitas yang menunjukkan keberadaan struktur zeolit A merupakan hasil yang dominan pada konsentrasi NaOH 1,67 M. Pada konsentrasi NaOH 3 M dan NaOH 5 M didominasi oleh masing-masing zeolit P (NaP1) dan sodalit. Pada proses hidrothermal dengan waktu penahanan 5 jam, terbentuknya zeolit A, zeolit P dan sodalit pada setiap variasi konsentrasi NaOH yang ditunjukkan *peak* dengan intensitas tertinggi pada  $2\theta$  28,180 dengan intensitas relatif sebesar 100. Pembentukan sodalit ditunjukkan dengan *peak* dengan intensitas tertinggi pada  $2\theta$  24,502 dan pada variasi konsentrasi NaOH 5 M.

Hasil pengujian gugus ikatan terhadap hasil proses hidrothermal ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6. Terbentuknya kerangka zeolit pada hasil sintesis ditemukan pada sampel yang diuji dengan FTIR. Hal ini ditandai dengan puncak-puncak pada bilangan gelombang, antara lain: adanya regangan simetris O-Si-O atau O-Al-O yang muncul untuk semua variasi waktu pemanasan 3, 4 dan 5 jam muncul bilangan gelombang 740 cm<sup>-1</sup>. Vibrasi eksternal dari cincin ganda D4R atau D6R merupakan vibrasi yang menjadi ciri khas terbentuknya struktur zeolit A (Xu dkk., 2007). Pada variasi NaOH 1,67 M dengan waktu pemanasan 3, 4, dan 5 jam dihasilkan *peak* dengan masing-masing panjang gelombang 509,21; 555,5; dan 509 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan adanya vibrasi eksternal dari cincin D4R atau D6R pada serbuk yang dikarakterisasi. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada perlakuan ini dihasilkan zeolit dengan jenis zeolit A. Puncak spektra untuk semua variasi waktu pemanasan 3, 4, dan 5 jam pada masing-masing bilangan gelombang 1018,41; 1081,41; 1018 cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya regangan asimetris O-Si-O atau Al-O-Al. Regangan asimetris dan regangan simetris menunjukkan adanya perubahan panjang ikatan dari O-Si-O atau O-Al-O. Semakin panjang ikatan molekul menunjukkan bahwa adanya peningkatan fleksibilitas dari atom yang saling berikatan (O-Si-O atau O-Al-O). Fleksibilitas dari ikatan O-Si-O atau O-Al-O sangat penting, karena merupakan ukuran derajat kebebasan yang memungkinkan pembentukan berbagai jenis struktur zeolit.

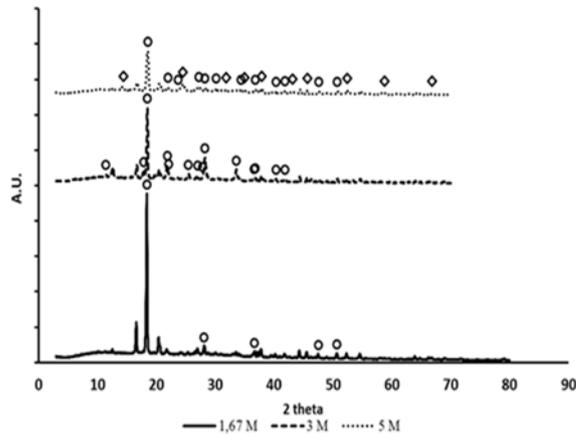
Gambar 7 menunjukkan pengaruh molaritas NaOH dan waktu penahanan terhadap ukuran kristal zeolit. Pada gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa pada molaritas NaOH 1,67 M memiliki kristalisasi

yang berlangsung lebih lambat dibandingkan konsentrasi NaOH 3 M, hal ini ditunjukkan ukuran kristal yang lebih besar dibandingkan dengan ukuran kristal yang dihasilkan pada variasi NaOH 3 M. Hal yang berbeda ditunjukkan pada konsentrasi NaOH 5M yang menghasilkan ukuran kristal zeolit A yang lebih besar dibandingkan dengan ukuran kristal zeolit A yang

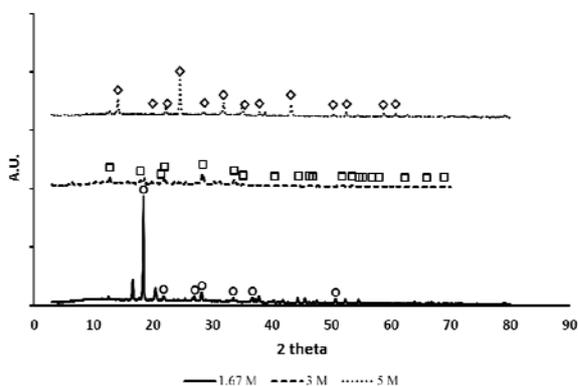
dihasilkan pada variasi NaOH 1,67 M dan NaOH 3 M. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi NaOH 5 M proses kristalisasi zeolit A berlangsung lebih lambat jika dibandingkan dengan kristalisasi yang dihasilkan pada variasi konsentrasi NaOH 1,67M dan NaOH 3 M sehingga menghasilkan ukuran kristal yang lebih besar.



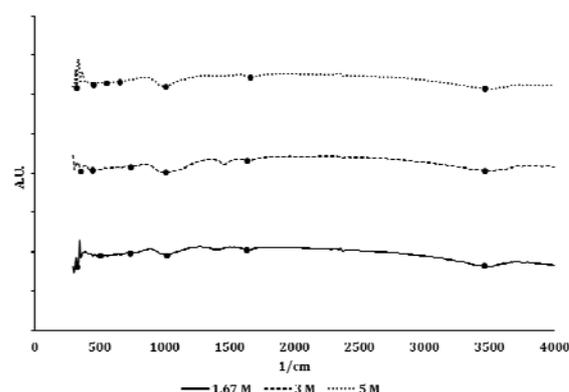
Gambar 1. XRD pengaruh %M NaOH terhadap hasil sintesis dengan waktu hidrothermal 3 jam



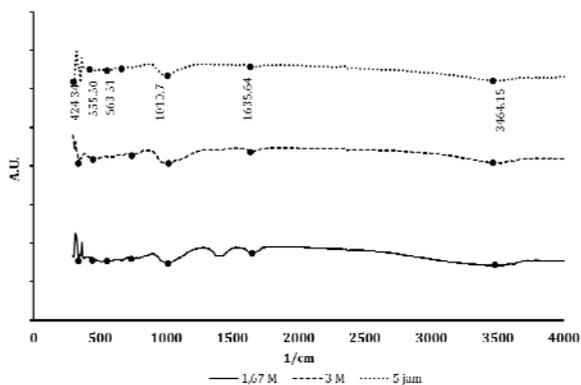
Gambar 2. XRD pengaruh %M NaOH terhadap hasil sintesis dengan waktu hidrothermal 4 jam



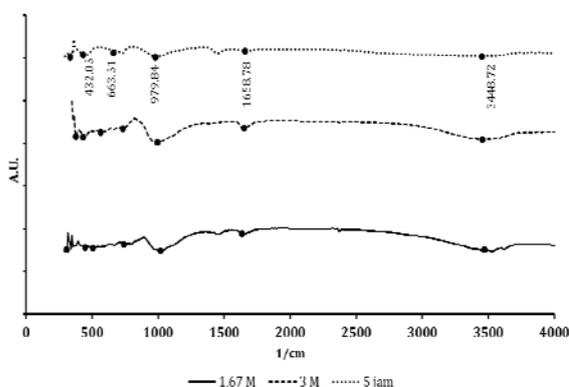
Gambar 3. XRD pengaruh %M NaOH terhadap hasil sintesis dengan waktu hidrothermal 5 jam



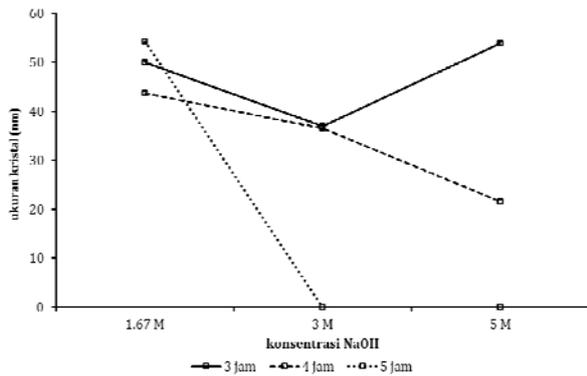
Gambar 4. FTIR analisis pengaruh %M NaOH dengan waktu hidrothermal 3 jam



Gambar 5. FTIR analisis pengaruh %M NaOH dengan waktu hidrothermal 4 jam



Gambar 6. FTIR analisis pengaruh %M NaOH dengan waktu hidrothermal 5 jam

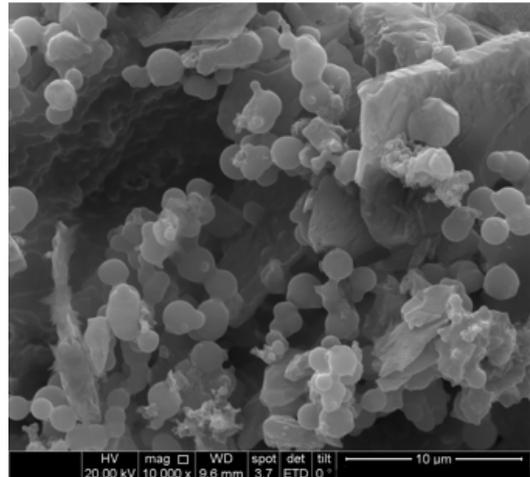


Gambar 7. Pengaruh konsentrasi NaOH terhadap ukuran kristal zeolit A

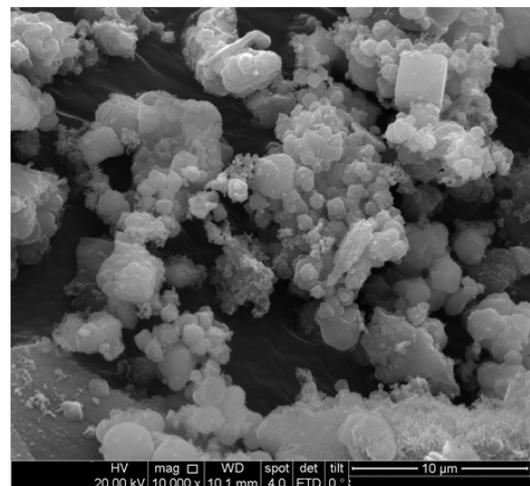
Pada konsentrasi NaOH 5 M ditemukan adanya pertumbuhan kristal untuk zeolit jenis lain yaitu sodalit. Data untuk sodalit ditunjukkan dengan intensitas dominan nilai  $2\theta$  24,502. Dengan adanya pertumbuhan kristal sodalit, kristalisasi zeolit A pada konsentrasi NaOH 5M dengan waktu pemanasan 3 jam akan semakin lambat sehingga ukuran kristal yang dihasilkan lebih besar.

Vibrasi bengkokan Si-O atau Al-O menunjukkan adanya perubahan sudut ikatan pada Si-O atau Al-O. Pada variasi waktu penahan 3 jam (Gambar 3) tidak ditemukan adanya perubahan sudut ikatan pada Si-O atau Al-O, karena tidak adanya *peak* yang dihasilkan pada rentang panjang gelombang 420-500  $\text{cm}^{-1}$ . Sedangkan untuk variasi waktu pemanasan 4 dan 5 jam (Gambar 5 dan Gambar 6) ditemukan adanya perubahan sudut ikatan pada Si-O atau Al-O yang masing-masing ditunjukkan pada bilangan gelombang 447,49 dan 447  $\text{cm}^{-1}$ .

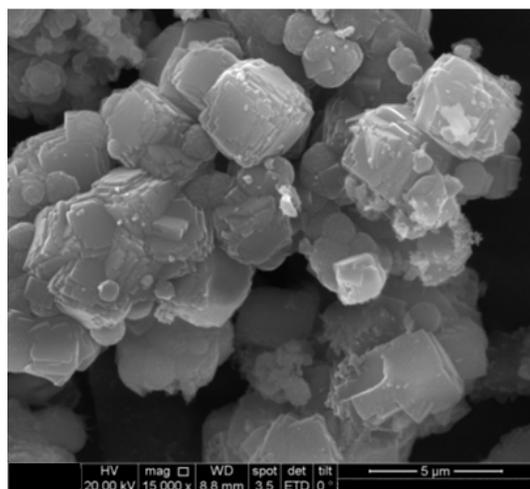
Menurut Wajima dkk. (2005) kristal zeolit A mempunyai bentuk kubus karena disusun oleh polyhedra yang dihasilkan dari 4 cincin tetrahedra yang saling berikatan ganda (D4R). Hasil pengujian SEM seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 (a,b,c), Gambar 9 (a,b,c) dan Gambar 10 (a) menunjukkan adanya struktur zeolit A yang berbentuk kubus diantara partikel yang berbentuk *spherical*. Gambar 8c menunjukkan kristal zeolit A dengan bentuk kubik yang mendekati sempurna yang terbentuk pada waktu pemanasan 3 jam dengan NaOH 5 M. Hidrothermal dengan waktu penahanan 4 jam menghasilkan zeolit A berbentuk kubus pada semua variasi NaOH (Gambar 9 a,b,c). Pada waktu pemanasan 5 jam, zeolit A dihasilkan pada NaOH 1,67 M (Gambar 10a). Pada Gambar 10b dan Gambar 10c ditunjukkan gambar zeolit sintesis dengan variasi konsentrasi NaOH 3 M dan 5 M dan waktu pemanasan 5 jam. Pada Gambar 10b menunjukkan terbentuknya zeolit P sedangkan pada Gambar 10c menunjukkan bentuk morfologi struktur kristal sodalit.



(a)

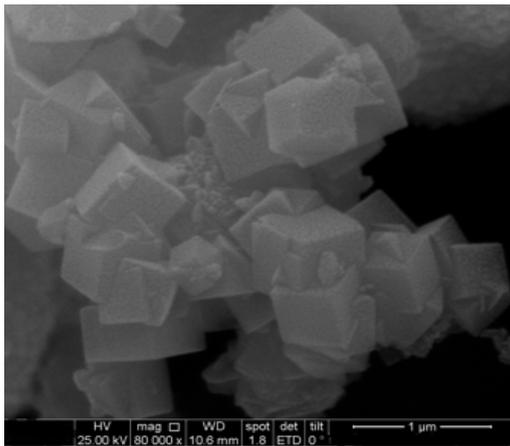


(b)

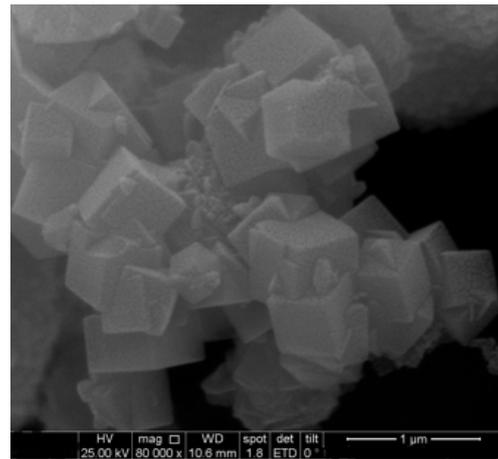


(c)

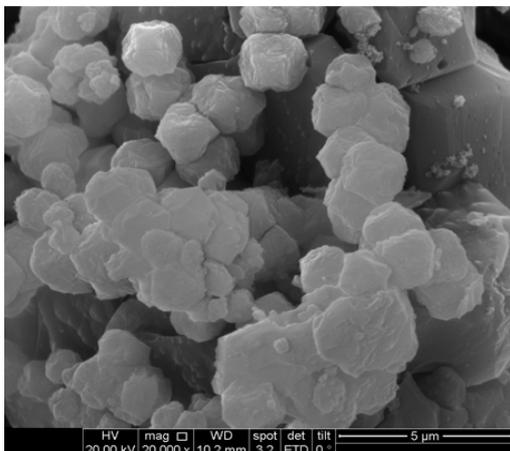
Gambar 8. Zeolit A produk hidrothermal pada suhu 100 waktu penahanan 3 jam (a) 1,67 M, (b) 3 M. dan (c) 5 M



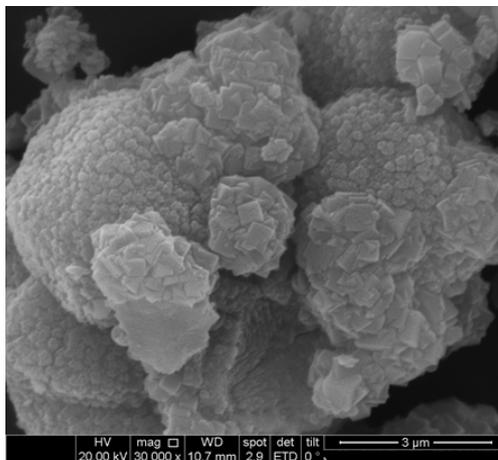
(a)



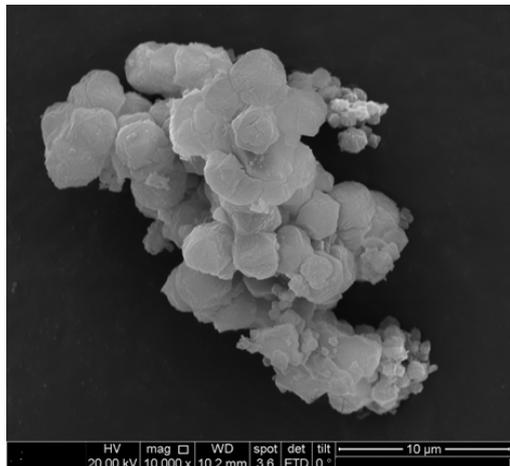
(a)



(b)



(b)



(c)



(c)

Gambar 9. Zeolit A produk hidrotermal pada suhu 100°C waktu penahanan 4 jam (a) 1,67 M; (b) 3 M; (c) 5 M

Gambar 10. Zeolit A produk hidrotermal pada suhu 100°C waktu penahanan 5 jam (a) 1,67 M; (b) 3 M; (c) 5 M

### KESIMPULAN

Semakin tinggi konsentrasi NaOH mempercepat kristalisasi zeolit A sehingga menurunkan ukuran kristal. Konsentrasi NaOH yang semakin tinggi dan waktu penahanan yang semakin lama, mengarahkan pembentukan jenis struktur zeolit yang lebih beragam,

seperti yang ditunjukkan pada waktu penahanan 5 jam. Pada waktu penahanan 5 jam, variasi konsentrasi NaOH 1,67 M menghasilkan zeolit A, variasi konsentrasi NaOH 3 M menghasilkan zeolit P (NaP1) dan pada variasi konsentrasi NaOH 5 M menghasilkan sodalit.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, yang telah memberikan dana penelitian bagi kegiatan penelitian ini

## DAFTAR PUSTAKA

Adamczyk, Z. and Bialecka, B., (2005), Hydrothermal Synthesis of Zeolites from Polish Coal Fly Ash, *Polish Journal of Environmental Studies*, 14(6), pp. 713-719.

Bayuseno, A.P., Schmahl, W.W., and Müllejans, Th., (2009), Hydrothermal Processing of MSWI Fly Ash-Towards New Stable Minerals and Fixation of Heavy Metals, *Journal of Hazardous Materials*, 167, pp. 250-259.

Bhavorthanayod, C. and Rungrojchaipon, P., (2009), Synthesis of Zeolite A Membrane from Rice Husk Ash, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 19(2), pp. 79-83.

Cardoso, A.M., Horn, M.B., Ferret, L.S., Azevedo, C.M.N., and Pires, M., (2015), Integrated Synthesis of Zeolites 4A and Na-P1 Using Coal Fly Ash for Application in the Formulation of Detergents and Swine Wastewater Treatment, *Journal of Hazardous Materials*, 287, pp. 69-77

Deng, L., Xu, Q., Wu, H., (2016), Synthesis of Zeolite-Like Material by Hydrothermal and Fusion Methods Using Municipal Solid Waste Fly Ash, *Procedia Environmental Sciences*, 31, pp. 662-667.

Donahoe, R.J., Liou, J.G. and Guldman, S., (1984), Synthesis and Characterization of Zeolite in the System Na-O-K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, *Clays and Clay Minerals*, 32(6), pp. 433-443.

Escalante, J.J., Mendoza, G., Mancha, H., López, J. and Vargas, G., (1999), Pozzolan Properties of a Geothermal Silica Waste Material, *Cement and Concrete Research*, 29, pp. 623-625

Fukasawa, T., Karisma, A.D., Shibata, D., Huang, An-Ni, Fukui, K., (2017), Synthesis of Zeolite from Coal Fly Ash By Microwave Hydrothermal Treatment With Pulverization Process, *Advanced Powder Technology*, In Press, Corrected Proof, Available online 30 December 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apt.2016.12.006>.

Georgiev, D., Bogdanov, B., Angelova, K., Markovska, I., and Hristov, Y., (2009), Synthetic Zeolite – Structure, Clasification, Current Trend in Zeolite Synthesis, Review, *International Science Conference*, 4th - 5th June 2009, Stara Zagora, Bulgaria.

Konde, S. and Thomson, R.W., (2007), Preparation of High-Silica Zeolite Beads From Silica Gel, *B.Sc Thesis*,

Dept. of Chemical Engineering, Worcester Polytechnic Institute.

Li, C., Zhong, H., Wang, S., Xue, J., and Zhang, Z., (2015), A Novel Conversion Process for Waste Residue: Synthesis of Zeolite from Electrolytic Manganese Residue and Its Application to the removal of Heavy Metals, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 470, pp. 258-267.

Machado, N.R.C.F. dan Miotto, D.M.M., (2005), Synthesis of Na-A and -X Zeolites from Oil Shale Ash, *Fuel*, 84, pp. 2289-2294.

Ng, Eng-Poh, Awala, H., Tan, Kok-Hou, Adam, F., Retoux, R., Mintova, S., (2015), EMT-type Zeolite Nanocrystals Synthesized from Rice Husk, *Microporous and Mesoporous Materials*, 204, pp. 204-209.

Querol, X., Moreno, N., Umana, J.C., Alastuey, A., Hernandez, E., Lo'pez-Soler, and Plana, F., 2002, Synthesis of Zeolites from Coal Fly Ash: An Overview, *International Journal of Coal Geology*, 50, pp. 413-423.

Rahman, A. dan Hartono, B., 2004, Penyaringan Air Tanah dengan Zeolit Alami untuk Menurunkan Kadar Besi dan Mangan, *Makara seri Kesehatan*, 8(1), hal. 1-6.

Rahman, M.M., Hasnida, N., and Wan, N., (2009), Preparation of Zeolite Y Using Local Raw Material Rice Husk as a Silica Source, *J. Sci. Res.*, 1 (2), pp. 285-291.

Santasnachoka, C., Kurniawana, W., Hinode, H., (2015), The Use of Synthesized Zeolites from Power Plant Rice Husk Ash Obtained from Thailand as Adsorbent for Cadmium Contamination Removal from Zinc Mining, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(3), pp. 2115-2126.

Shirazian, S. and Ashrafzadeh, S.N., (2015), Synthesis of Substrate-modified LTA Zeolite Membranes for Dehydration of Natural Gas, *Fuel*, 148, pp. 112-119

Sulardjaka, Fitriyana, D.F., and Adi, A.P., (2014), Synthesis of Zeolite from Geothermal Waste, *Applied Mechanics and Materials*, 660, pp. 157-161.

Wajima, T., Haggaa, M., Kuzawa, K., Ishimoto, H., Tamadaa, O., Ito, K., Nishiyama, T., Downs, R. T., Rakovan, J.F., 2005. Zeolite Synthesis from Paper Sludge Ash at Low Temperature (90°C) with Addition of Diatomite. *Journal of Hazardous Materials B*, 132, pp. 244-252.

Wang, C.F., Sheng Li, J., Jun Wang, L., 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*, 155, pp. 58–64.

Wang, Ji-Quang, Huang. Ya-Xi, Pan, Y., Mi, Jin-Xiao, (2016), New Hydrothermal Route for the Synthesis of High Purity Nanoparticles of Zeolite Y from Kaolin and Quartz, *Microporous and Mesoporous Materials*, 232, pp. 77-85.

Xu, R., Pang, W., Yu, J., Huo, Q., and Chen, J., (2007), *Chemistry of Zeolites and Related Porous Materials*

*Synthesis and Structure*, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, Singapore.

Yudhastuti, R., (1993), Studi Kemampuan Zeolit untuk Menurunkan Jumlah Kuman-Kuman Coliform Air Sungai Ciliwung di Jakarta, *Tesis*, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia, Indonesia, 1993.

Yusof, A.M., Nizam, N.A, and Rashid, N.A., (2010), Hydrothermal Conversion of Rice Husk Ash to Faujasite-types and NaA-type of Zeolite, *J Porous Material*, 17, pp. 39-47.