

SINTESIS DAN KARAKTERISASI ZEOLIT BERBAHAN DASAR ABU SEKAM PADI KARAWANG

Synthesis and Characterization of Zeolite from Karawang Rice Husk Ash

Putri Hawa Syaifie¹⁾, Gladys Ayu Paramita Kusumah Wardhani*¹⁾ dan Agus Taufiq²⁾

¹⁾Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Nusa Bangsa

Jl. KH. Sholeh Iskandar Km.4, Tanah Sareal, Bogor 16166 Jawa Barat

²⁾Program Studi PMIP, Politeknik AKA Bogor

Jl. Pangeran Sogiri No. 283 Tanah Baru, Bogor Utara 16154 Jawa Barat

^{*)}e-mail: gladys.paramita@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu pemanfaatan limbah sekam padi yaitu sebagai bahan dasar dalam sintesis zeolit. Zeolit berbahan dasar abu sekam padi yang diperoleh dari daerah Karawang, Jawa Barat telah berhasil disintesis melalui reaksi antara natrium silikat dan natrium aluminat dengan variasi rasio Si/Al = 1,5 (L1) ; 1 (L2) ; dan 0,67 (L3). Natrium silikat diperoleh dari reaksi antara abu sekam padi dengan NaOH sedangkan natrium aluminat diperoleh dari reaksi antara NaOH dengan Al(OH)₃. Sintesis zeolit melibatkan proses sol-gel dan hidrotermal. Zeolit diidentifikasi ikatan dan strukturnya menggunakan spektroskopi infra merah (FTIR) dan difraksi sinar-X (XRD). Struktur morfologi permukaan zeolit diamati menggunakan mikroskop elektron (SEM). Ikatan yang terbentuk pada zeolit L1, L2 dan L3 menunjukkan ada interaksi antara Si-Al yang dapat dilihat pada spektra FT-IR. Interaksinya meliputi vibrasi tekuk Si-OH, vibrasi ulur asimetri O-Si-O dan O-Al-O, vibrasi ulur simetri O-Si-O dan O-Al-O, dan vibrasi ikatan cincin ganda. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa zeolit L1 memiliki mineral penyusun berupa Faujasit dan Sodalit sedangkan Zeolit L2 dan L3 memiliki mineral penyusun berupa Zeolit Na-A dan Albit. Berdasarkan hasil SEM, Zeolit Na-A, sodalit dan faujasit memiliki bentuk unit struktural berupa bangun ruang segi enam, sedangkan kristal Albit berbentuk seperti bunga terbuka karena tersusun dari trigonal bipiramida.

Kata Kunci: Rasio Si/Al, hidrotermal, zeolit Na-A, sodalit, faujasit, albit.

ABSTRACT

One of the potential utilizations of rice husk waste is as a basic ingredient in zeolite synthesis. Rice-based zeolite obtained from Karawang, West Java has been successfully synthesized through a reaction between sodium silicate and sodium aluminate with Si/Al ratio = 1.5 (L1); 1 (L2); and 0.67 (L3). Sodium silicate was obtained from the reaction between rice husk ash and NaOH while sodium aluminate was obtained from the reaction between NaOH and Al(OH)₃. The zeolite synthesis involved sol-gel and hydrothermal processes. The bonds within zeolite and its structure were analyzed using Fourier Transform-Infrared (FTIR) spectroscopy and X-ray diffraction (XRD). The morphological structure of the zeolite surface was observed by using electron microscopy (SEM). The bond formed on zeolites L1, L2 and L3 showed that there was an interaction between Si-Al as indicated by the FTIR spectra. The interactions include Si-OH bending vibrations, vibrations of O-Si-O and O-Al-O asymmetry stretches, symmetric stretching vibrations of O-Si-O and O-Al-O, and double ring bond vibrations. The XRD characterization results show that L1 zeolite has mineral constituents in the form of Faujasite and Sodalite while L2 and L3 Zeolites have mineral compilers in the form of Zeolite Na-A and Albite. Based on the results of SEM, Zeolite Na-A, Sodalite and Faujasite have the form of structural units in the form of hexagon space. Whereas Albit, touch like an open flower because it is composed of trigonal bipyramide..

Keyword: Si/Al ratio, hydrothermal, zeolite Na-A, sodalite, faujasite, albite.

PENDAHULUAN

Sekam padi merupakan limbah pertanian yang banyak dihasilkan di Indonesia. Menurut Xiong *et al.* (2009), 20% dari padi berupa sekam padi. Produksi padi di provinsi Jawa Barat sebesar 11.373.144 ton per tahun (BPS, 2016) menghasilkan 2.274.629 ton sekam padi. Salah satu pemanfaatan limbah sekam padi ini adalah sebagai sumber silika dalam pembuatan zeolit sintetis. Berdasarkan penelitian Sriyanti *et al.* (2005), sekam padi yang diabukan dapat dimanfaatkan sebagai sumber silika karena kandungan silikanya tinggi yaitu 86,90–97,30%, murah, ketersediaannya melimpah, dan tidak beracun.

Zeolit merupakan padatan berupa kristal aluminosilikat hidrat yang tersusun atas SiO_4 dan AlO_4 yang terikat satu sama lain. Susunan tersebut membentuk struktur kerangka tiga dimensi yaitu tetrahedral karena penggunaan atom oksigen secara bersamaan, sehingga menyebabkan terbentuknya rongga intrakristalin (Prasetyoko *et al.*, 2006). Zeolit sintetis lebih sering digunakan karena keseragaman ukuran partikel dan tingkat kemurniannya lebih tinggi dibandingkan dengan zeolit alam. Selain itu, struktur zeolit sintetis dapat dibuat sesuai dengan yang diinginkan (Reyes *et al.*, 2011). Abu sekam padi telah berhasil digunakan sebagai sumber silika dalam pembuatan zeolit ZSM-5 (Ali *et al.*, 2011), zeolit NaY (Mohamed *et al.*, 2015), dan zeolit NaA (Mukherjee *et al.*, 2018).

Zeolit dapat disintesis dengan metode hidrotermal. Sintesis hidrotermal memungkinkan kristalisasi multifasa padatan baik fasa amorf maupun kristal (Liu *et al.*, 2013). Menurut Tauanov *et al.* (2018), metode ini masih merupakan metode yang paling menjanjikan dan diterapkan secara luas. Penelitian yang telah dilakukan oleh Arnelli *et al.* (2017) dan Sugiarti *et al.* (2017) masing-masing telah berhasil membuat zeolit Y dan zeolit Na-A. Sintesis zeolit tersebut menggunakan metode hidrotermal pada suhu pemanasan tertentu untuk menyempurnakan pembentukan kristal zeolit. Tujuan dari penelitian ini adalah mensintesis zeolit berbahan dasar abu sekam padi dengan metode hidrotermal berdasarkan variasi rasio Si/Al. Zeolit yang terbentuk diamati ikatan, struktur padatan, dan permukaannya masing-masing menggunakan FT-IR, XRD, dan SEM.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu labu semprot, penyangga corong, desikator, spatula timer, shaker, oven, neraca analitik, dan instrumen meliputi *Scanning Electron Microscope* (SEM) EVO 50 ZEISS, *Fourier-transform infrared spectroscopy* (FT-IR) Shimadzu IRPrestige 21, *X-ray Diffraction* (XRD) PANalytical, dan *hotplate*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sekam padi yang diperoleh dari Kota Karawang, Jawa Barat, NaOH,

$\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{HNO}_3(\text{p})$, akuades, kertas saring, dan alumunium foil.

Prosedur Kerja

Sintesis Zeolit

Zeolit disintesis dari natrium silikat dan natrium aluminat. Natrium silikat diperoleh dari abu sekam padi yang berasal dari pembakaran sekam padi pada suhu 600°C selama 2 jam. Abu yang diperoleh direaksikan dengan 60 mL NaOH 6 M hingga terbentuk filtrat. Filtrat tersebut adalah larutan natrium silikat.

Larutan natrium aluminat dibuat dengan melarutkan 30,50 gram NaOH dalam 100 mL akuades panas. Larutan tersebut ditambahkan 21,65 gram $\text{Al}(\text{OH})_3$ sambil diaduk di atas hotplate. Setelah semua $\text{Al}(\text{OH})_3$ larut, campuran kemudian disaring dan diencerkan dalam labu takar sampai volumenya 250 mL (Sugiarti, 2017).

Zeolit dibuat dengan variasi rasio natrium aluminat dan natrium silikat yang berbeda-beda. Zeolit L1 (40A:60B), zeolit L2 (50A:50B) dan zeolit L3 (60A:40B) dimana A adalah natrium aluminat dan B natrium silikat. Pembuatan zeolit dilakukan dengan mencampurkan secara kuantitatif natrium aluminat dari buret dengan natrium silikat dalam botol duran sambil diaduk menggunakan *magnetic stirer*.

Sintesis zeolit dilakukan dengan mencampurkan natrium aluminat dan natrium silikat. Kemudian campuran tersebut dipanaskan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Endapan putih yang

terbentuk disaring dan dicuci sampai pH netral. Endapan putih yang diperoleh dipanaskan kembali dalam oven pada suhu 105°C selama 8 jam. Serbuk putih yang terbentuk adalah zeolit (Arnelli *et al.*, 2017)

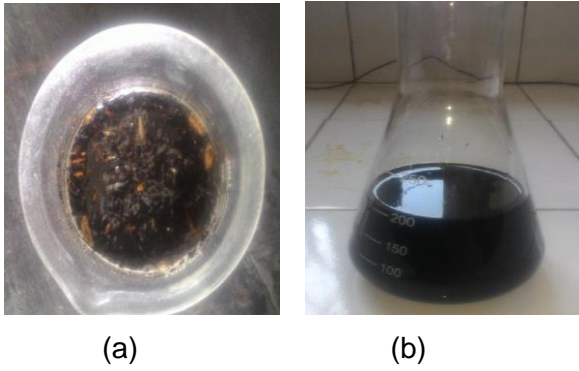
Karakterisasi Zeolit

Ikatan dan struktur padatan zeolit L1, L2, dan L3 ditentukan menggunakan FTIR dan XRD. Karakterisasi FTIR dilakukan dengan cara mencampur serbuk halus zeolit dengan KBr dan dibuat pelet. Serapan inframerah zeolit diukur pada rentang bilangan gelombang $4000 - 500 \text{ cm}^{-1}$. Pada karakterisasi XRD, serbuk halus zeolit diukur pola difraksinya pada $2\theta = 20 - 80^\circ$. Struktur morfologi permukaan padatan zeolit L1 dan L3 diamati menggunakan SEM dengan perbesaran 2500 kali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

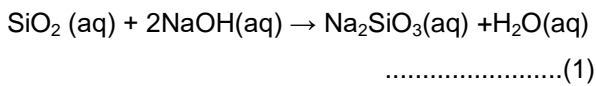
Zeolit Hasil Sintesis

Preparasi abu sekam padi sebagai sumber silikat dipengaruhi oleh suhu dan waktu dalam proses pengabuan. Hal ini akan mempengaruhi kristalinitas silika pada abu sekam padi (Umah, 2010). Pengarangan dan pengabuan dilakukan untuk menghilangkan senyawa organik dalam sekam padi. Senyawa organik akan terurai pada suhu di atas 400°C menjadi senyawa yang lebih sederhana (Kloss *et al.*, 2012).

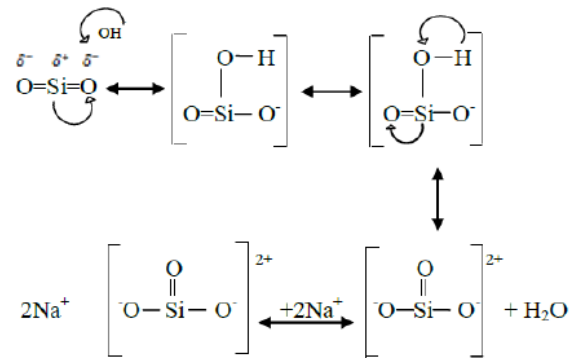


Gambar 1. Pembuatan Natrium Silikat (a) Abu sekam padi, (b) Larutan Natrium Silikat

Reaksi silika dalam abu sekam padi dengan NaOH dapat menghasilkan Natrium Silikat (Gambar 1(b)) karena kelarutan silika dalam basa kuat sangat besar (Handoyo, 1996). NaOH dalam larutan akan membentuk spesi ion Na⁺ dan OH⁻. Ion Na⁺ ini akan terikat pada silika dengan maksimal setelah perendaman selama 24 jam berdasarkan reaksi :

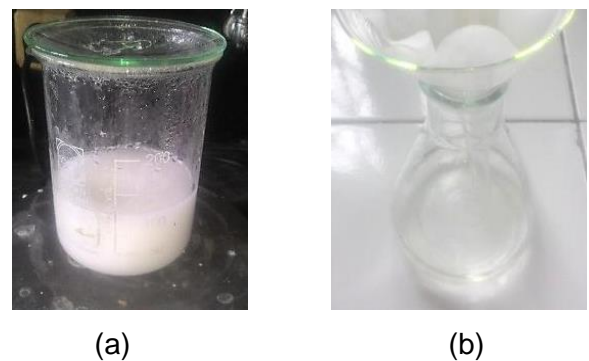


Elektronegativitas atom O yang tinggi pada SiO₂ menyebabkan Si lebih elektropositif dan terbentuk intermediet [SiO₂OH]⁻ yang tidak stabil dan akan terjadi dehidrogenasi. Ion OH⁻ yang kedua akan berikatan dengan hidrogen membentuk molekul air dan dua ion Na⁺ akan menyeimbangkan muatan negatif ion SiO₃²⁻ sehingga terbentuk natrium silikat (Mujiyanti *et al.*, 2010). Mekanisme reaksi yang diperkirakan pada pembentukan natrium silikat ditunjukkan pada Gambar 1.



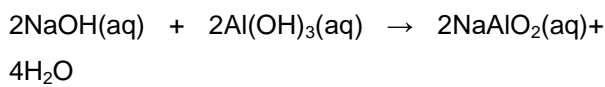
Gambar 2. Mekanisme Reaksi Pembentukan Natrium Silikat (Trivana *et al.*, 2015)

Selain sumber silika, sumber alumina juga dibutuhkan dalam sintesis zeolit. Penelitian ini menggunakan natrium aluminat. Natrium aluminat dibuat dengan mencampurkan NaOH dan Al(OH)₃ dalam akuades panas. Pencampuran tersebut akan membentuk koloid warna putih yang merupakan natrium aluminat seperti pada Gambar 3 (a). Pemanasan dan pengadukan membuat senyawa aluminat koloid putih bercampur dengan akuades dan larut membentuk larutan tidak berwarna. Larutan dihilangkan pengotornya melalui penyaringan (Gambar 3(b)).

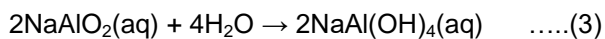


Gambar 3. Pembuatan Natrium Aluminat (a) koloid (b) larutan

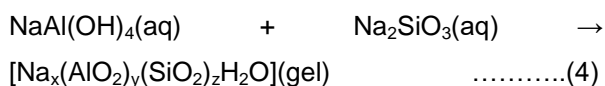
Natrium hidroksida yang bersifat basa mampu menarik proton sehingga terjadi pengendapan kation Al^{3+} menghasilkan endapan aluminat. Proses pembuatan natrium aluminat harus dalam suasana basa dengan tujuan sebagai penyeimbang karena atom O pada NaOH mempunyai harga elektronegativitas lebih tinggi daripada Al. Hal ini menyebabkan ion H^+ akan terikat di atom O (Radityo, 2012). Menurut Zaemi *et al.* (2013) reaksi yang terjadi yaitu :



.....(2)



Pembentukan gel pada proses sintesis zeolit menunjukkan interaksi yang kuat antara natrium silikat dan natrium aluminat yang berarti proses polimerisasi silikat dan aluminat telah dimulai. Berdasarkan penelitian Ojha *et al.*, (2014) reaksi yang terjadi :



Terbentuknya gel berwarna putih merupakan awal dari pembentukan inti dan pertumbuhan kristal yang merupakan hal penting dalam proses sintesis zeolit.

Larutan aluminat dan larutan silikat dicampur membentuk dua fase, yaitu fase gel dan fase larutan sebagai larutan lewat jenuh. Kedua fase ini berada dalam kesetimbangan

sebagai tahap awal pembentukan zeolit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4(a).



(a)

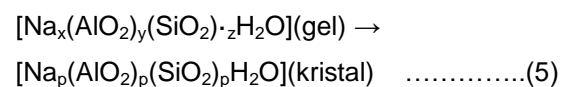


(b)

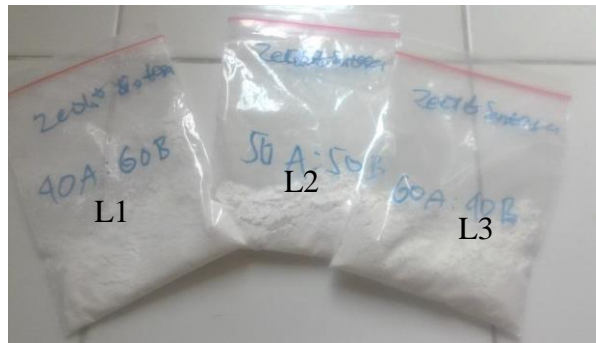
Gambar 4. Sintesis Zeolit (a) Proses pembentukan zeolit, (b) Zeolit hasil pencucian

Pada tahap pembentukan kristal, gel amorf akan mengalami penataan ulang pada strukturnya dengan adanya pemanasan sehingga dapat terbentuk embrio inti kristal. Apabila gel amorf sisa larut kembali, maka akan terjadi pertumbuhan kristal dan embrio inti hingga gel amorf sisa tersebut habis dan terbentuk kristal dalam keadaan stabil (Warsito *et al.*, 2008).

Menurut Zhely (2012), reaksi yang terjadi adalah



Zeolit hasil sintesis yang telah dikeringkan ditampilkan pada Gambar 5. Pengeringan dilakukan untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori – pori padatan zeolit. Zeolit yang terdehidrasi akan mempunyai struktur pori terbuka dengan luas permukaan internal yang besar (Marwati, 2011).



Gambar 5. Zeolit Hasil Sintesis

Karakterisasi Zeolit Sintetis

Spektra infra merah zeolit

Zeolit secara umum mempunyai daerah serapan infra merah di sekitar bilangan gelombang 300 – 1200 cm^{-1} karena pada

Gugus kimia utama yang muncul pada spektra infra merah zeolit adalah gugus serapan silika dan alumina. Daerah serapan sekitar 820 - 650 cm^{-1} menunjukkan terdapat vibrasi ulur simetri O-Si-O dan O-Al-O, sedangkan vibrasi ulur asimetrinya muncul pada daerah serapan sekitar 1250 - 950 cm^{-1} . Karakter spesifik cincin ganda kerangka zeolit ditunjukkan pada daerah serapan 650 - 500 cm^{-1} (Warsito *et al.*, 2008). Cincin ganda merupakan karakter kerangka zeolit pada jaringan eksternal antara lapisan zeolit satu dengan yang lainnya.

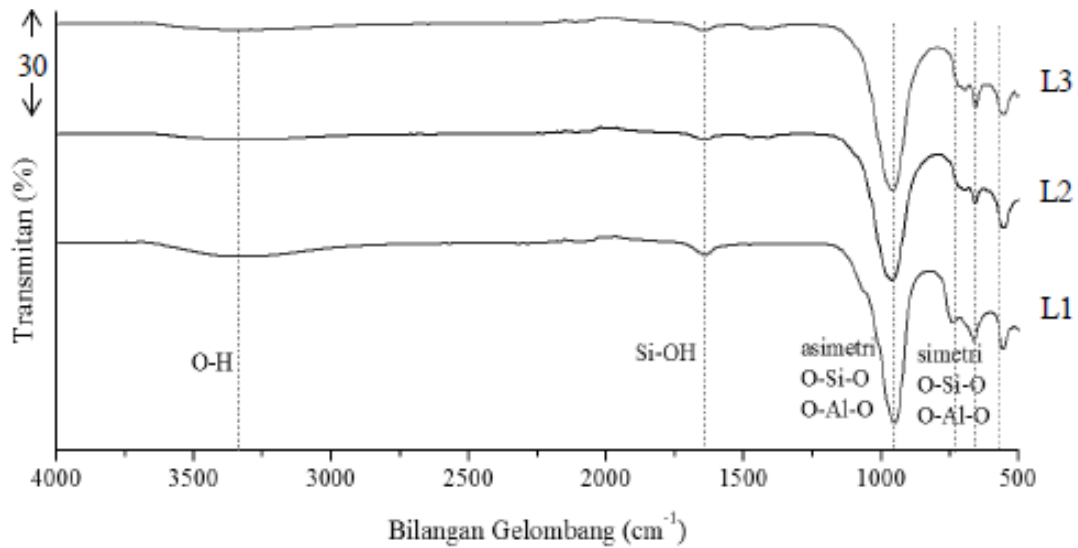
Pengaruh variasi komposisi silikat dan aluminat dapat diketahui dari spektra serapan infra merah yang dihasilkan. Zeolit dengan rasio Si/Al tinggi akan memiliki daerah serapan vibrasi ulur simetri O-Si-O dan O-Al-O pada bilangan gelombang yang lebih besar. Zeolit L1 memiliki rasio Si/Al paling tinggi dibanding zeolit L2 dan L3. Pergeseran ini disebabkan oleh berkurangnya jumlah Al-

daerah ini terdapat vibrasi fundamental kerangka tetrahedral $\text{SiO}_4/\text{AlO}_4$ yang merupakan unit pembentuk kerangka zeolit. Gambar 6 menunjukkan pola spektra infra merah pada zeolit L1, L2 dan L3.

O dalam kerangka zeolit pada rasio Si/Al yang semakin tinggi. Semakin tinggi rasio Si/Al maka jumlah Al akan semakin sedikit dibandingkan Si, sehingga berkurangnya Al-O dalam kerangka zeolit dapat menyebabkan intensitas pada daerah Al-O berkurang. Hal ini mengakibatkan pergeseran puncak serapan ke daerah bilangan gelombang yang lebih besar, artinya mendekati puncak serapan bilangan gelombang Si-O.

Difraktogram sinar-X zeolit

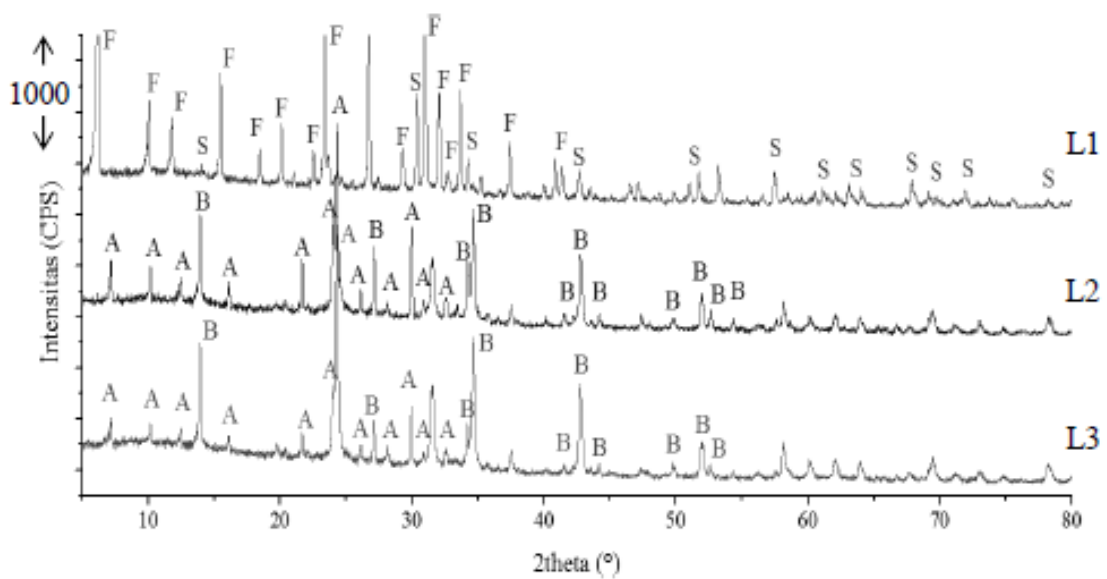
Karakterisasi dengan XRD dilakukan untuk mengetahui struktur dan jenis mineral yang tersusun dalam zeolit sintetis. Pola difraktogram menunjukkan puncak karakteristik mineral penyusun zeolit L1, L2, dan L3 (Gambar 7). Ketiga zeolit yang dihasilkan memiliki struktur kristalin. Mineral penyusun zeolit L1 berupa Faujasit (F) dan Sodalit (S). Zeolit L2 dan L3 memiliki mineral penyusun yang sama yaitu Albit (B) dan Na-A (A).



Gambar 6. Spektra Infra Merah Zeolit

Tabel 1. Serapan Infra Merah Zeolit L1,L2, dan L3

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)			
Zeolit L1	Zeolit L2	Zeolit L3	Jenis Vibrasi
1642,7	1645	1645,9	tekuk Si-OH
952,23	962,40	959,44	ulur asimetri O-Si-O dan O-Al-O
740,98	695,83	696,48	ulur simetri O-Si-O dan O-Al-O
663,27	657,96	656,15	
556,68	553,03	553,57	cincin ganda



Gambar 7. Difraktogram Sinar-X Zeolit

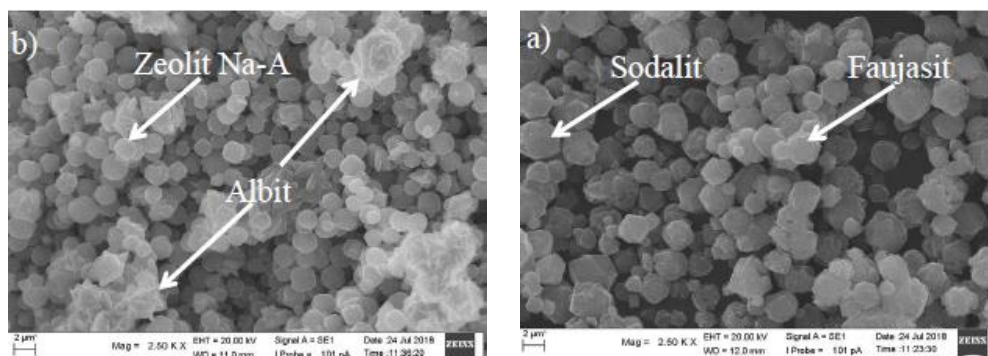
Puncak utama Faujasit pada zeolit L1 muncul pada $2\theta^\circ = 7,37 ; 15,36 ; 23,87 ; 27,44 ; 29,70$ dan $30,75$ dengan intensitas puncak yang lebih tinggi daripada Sodalit. Menurut Wang *et al.* (2013) sodalit terbentuk dari kerangka aluminosilikat yang sama dengan Faujasit. Rasio Si/Al berpengaruh terhadap struktur dan penyusun mineral zeolit yang dihasilkan. Mineral Faujasit dihasilkan pada Zeolit L1 dengan rasio Si/Al = 1,5. Zeolit L2 dan L3 dengan rasio Si/Al lebih rendah tersusun atas mineral zeolit Na-A dan Albit. Intensitas puncak zeolit Na-A maupun Albit pada kedua zeolit ini berbeda. Zeolit L1 dengan rasio Si/Al = 1 memiliki intensitas puncak zeolit Na-A dan Albit yang lebih tinggi daripada rasio Si/Al = 0,67. Puncak difraktogram paling tinggi menunjukkan mineral dengan rumus molekul $\text{Na}_{96}\text{Al}_{96}\text{Si}_{96}\text{O}_{384} \cdot 216\text{H}_2\text{O}$ yang merupakan jenis zeolit Na-A seperti pada penelitian Arnelli *et al.* (2017) telah mensintesis zeolit Na-A yang sesuai dengan *database JCPDS (Joint Committed on Powder Diffraction Standards)* nomor 39-0222 ($\text{Na}_{96}\text{Al}_{96}\text{Si}_{96}\text{O}_{384} \cdot 216\text{H}_2\text{O}$).

Puncak karakteristik zeolit Na-A berada pada nilai $2\theta^\circ = 0 - 50$ (Ojumu *et al.*, 2016).

Pada penelitian ini, zeolit Na-A memiliki puncak karakteristik pada $2\theta^\circ = 0 - 30$ karena pada $2\theta^\circ$ berikutnya hingga 50° telah didominasi oleh pembentukan mineral Albit. Albit atau natrium feldspar umumnya memiliki struktur yang tersusun atas cincin yang terbentuk dari empat buah struktur tetrahedral. Menurut Prasanphan (2006) permukaan feldspar terdiri atas muatan positif yang berupa ion Na^+ atau K^+ dan muatan negatif yang berupa gugus silanol (Si-OH) atau siloksan (Si-O-Si).

Morfologi permukaan zeolit dengan SEM

Karakterisasi SEM pada zeolit hasil sintesis bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan dan keseragaman bentuk partikel. Karakterisasi SEM dilakukan pada Zeolit L1 dan Zeolit L3 dengan perbesaran 2500 kali. Hasil karakterisasi menunjukkan morfologi permukaan zeolit L1 dengan bentuk yang lebih seragam dibanding zeolit L3. Kristal pada zeolit L1 memiliki ukuran diameter $2,859 \mu\text{m}$, sedangkan zeolit L3 berukuran diameter lebih kecil yaitu $2,055 \mu\text{m}$.



Gambar 8. Hasil Karakterisasi SEM a) Zeolit L1 dan b) Zeolit L3

Hasil karakterisasi SEM dapat dilihat pada gambar 8. Karakterisasi SEM zeolit L2 tidak dilakukan karena mineral penyusunnya sama dengan zeolit L3. Keberadaan kristal sodalit dan faujasit terlihat dari hasil karakterisasi SEM zeolit L1 pada Gambar 8 (a), begitu juga dengan kristal zeolit Na-A dan Albit pada hasil SEM zeolit L2 (b). Zeolit Na-A, sodalit dan faujasit memiliki bentuk unit struktural yang mirip yaitu membentuk bangun ruang segi enam. Kristal Albit berbentuk seperti bunga terbuka karena tersusun dari trigonal bipiramida.

KESIMPULAN

Zeolit dari abu sekam padi Karawang yang disintesis dengan metode sol-gel dan hidrotermal dengan rasio Si/Al berbeda memiliki mineral penyusun yang berbeda. Ikatan yang terbentuk pada zeolit L1, L2 dan L3 menunjukkan ada interaksi antara Si-Al yang ditunjukkan oleh spektra FT-IR. Interaksinya meliputi vibrasi tekuk Si-OH, vibrasi ulur asimetri O-Si-O dan O-Al-O, vibrasi ulur simetri O-Si-O dan O-Al-O, dan vibrasi ikatan cincin ganda. Zeolit L1 memiliki mineral penyusun berupa Faujasit dan Sodalit sedangkan Zeolit L2 dan L3 memiliki mineral penyusun berupa Zeolit Na-A dan Albit. Zeolit Na-A, sodalit dan faujasit memiliki bentuk unit struktural berupa bangun ruang segi enam. Kristal Albit, berbentuk seperti bunga terbuka karena tersusun dari trigonal bipiramida.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, I.O., Hassan, A.M., Shaaban, S.M. and Soliman, K.S., 2011. Synthesis and characterization of ZSM-5 zeolite from rice husk ash and their adsorption of Pb²⁺ onto unmodified and surfactant-modified zeolite. *Separation and Purification Technology*, 83, pp.38-44.
- Arnelli, A., Solichah, F., Alfiansyah, A., Suseno, A. and Astuti, Y., Sintesis Zeolit dari Abu Sekam Padi menggunakan Metode Hidrotemal: Variasi Waktu dan Temperatur. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 20(2), pp.58-61.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2016. *Produksi Padi Menurut Provinsi (ton) 1993 – 2015*. <https://www.bps.go.id/dynamictable/215/09/09/865/produksi-padi-menurut-provinsi-ton-1993-2015.html>.
- Handoyo, K. 1996. *Kimia Organik*. Gajah Mada Press, Yogyakarta.
- Kloss, S., Zehetner, F., Wimmer, B., Buecker, J., Rempt, F. and Soja, G., 2014. Biochar application to temperate soils: effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1), pp.3-15.
- Liu, H., Peng, S., Shu, L., Chen, T., Bao, T. and Frost, R.L., 2013. Magnetic zeolite NaA: Synthesis, characterization based on metakaolin and its application for the removal of Cu²⁺, Pb²⁺. *Chemosphere*, 91(11), pp.1539-1546.
- Marwati, S. 2011. *Pemanfaatan Zeolit Sebagai Bahan Pembuat Formula Pakan Dan Pengelolaan Kotoran Ternak Domba*. Materi disampaikan di Kelompok Ternak Tirta Domba Dusun Sangubanyu Moyudan Sleman pada 30 Juli 2011.
- Mohamed, R.M., Mkhallid, I.A. and Barakat, M.A., 2015. Rice husk ash as a renewable source for the production of zeolite NaY and its

- characterization. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(1), pp.48-53.
- Mujiyanti, D.R., Nuryono, N. and Kunarti, E.S., 2016. Sintesis Dan Karakterisasi Silika Gel Dari Abu Sekam Padi Yang Diimobilisasi Dengan 3-(Trimetoksisilil)-1-Propantiol. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*, 4(2), pp.150-167.
- Mukherjee, S., Barman, S. and Halder, G., 2018. Fluoride uptake by zeolite NaA synthesized from rice husk: Isotherm, kinetics, thermodynamics and cost estimation. *Groundwater for Sustainable Development*, 7, pp.39-47.
- Ojha, K., Pradhan, N.C. and Samanta, A.N., 2004. Zeolite from fly ash: synthesis and characterization. *Bulletin of Materials Science*, 27(6), pp.555-564.
- Ojumu, T.V., Du Plessis, P.W. and Petrik, L.F., 2016. Synthesis of zeolite A from coal fly ash using ultrasonic treatment—A replacement for fusion step. *Ultrasonics sonochemistry*, 31, pp.342-349.
- Prasanphan, S. and Nuntiya, A., 2006. Electrokinetic properties of kaolins, sodium feldspar and quartz. *Chiang Mai J. Sci*, 33(2), pp.183-190.
- Prasetyoko, D., Ramli, Z., Endud, S., Hamdan, H. and Sulikowski, B., 2006. Conversion of rice husk ash to zeolite beta. *Waste management*, 26(10), pp.1173-1179.
- Radityo D. 2012. *Optimasi Kondisi Operasi pada Pembentukan Sol-Gel Aluminosilikat menggunakan Jet Bubble Column untuk Efisiensi Rute Pembuatan ZSM-5*. Skripsi, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Reyes, C.A.R. and Fiallo, L.Y.V., 2011. Application of illite-and kaolinite-rich clays in the synthesis of zeolites for wastewater treatment. In *Earth and Environmental Sciences*. IntechOpen.
- Sriyanti, S., Taslimah, T., Nuryono, N. and Narsito, N., 2005. Sintesis Bahan Hibrida Amino-Silika dari Abu Sekam Padi Melalui Proses Sol-Gel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 8(1), pp.1-8.
- Sugiarti, S., Charlena, C. and Aflakhah, N.A., 2017. Zeolit Sintetis Terfungsionalisasi 3-(Trimetoksisilil)-1-Propantiol sebagai Adsorben Kation Cu (II) dan Biru Metilena. *Jurnal Kimia Valensi*, 3(1), pp.11-19.
- Tauanov, Z., Shah, D., Inglezakis, V. and Jamwal, P.K., 2018. Hydrothermal synthesis of zeolite production from coal fly ash: A heuristic approach and its optimization for system identification of conversion. *Journal of cleaner production*, 182, pp.616-623.
- Wang, C., Zhou, J., Wang, Y., Yang, M., Li, Y. and Meng, C., 2013. Synthesis of zeolite X from low-grade bauxite. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 88(7), pp.1350-1357.
- Trivana, L., Sugiarti, S. and Rohaeti, E., 2015. Sintesis dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na₂SiO₃) dari Sekam Padi. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 7(2), pp.66-75.
- Umah S. 2010. *Kajian Penambahan Abu Sekam Padi dari Berbagai Suhu Pengabuan Terhadap Plastisitas Kaolin*. Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Xiong, L., Saito, K., Sekiya, E.H., Sujaridworakun, P. and Wada, S., 2017. Influence of impurity ions on rice husk combustion. *Journal of metals, materials and minerals*, 19(2). *Materials and Minerals*. 19 (2) : 73-77.
- Zaemi, H., Tjahjanto, R.T. and Darjito, D., 2013. Sintesis Aerogel Silika dari Lumpur Lapindo dengan Penambahan Trimetiloklorosilan (TMCS). *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*, 1(2), pp.208.
- Zhely, N.H.M. and Widiastuti, N., 2012. Sintesis Zeolit X-karbon dari Abu Dasar Batubara dan Karakterisasinya sebagai Material Penyimpan Hidrogen. *Prosiding KIMIA FMIPA-ITS*.