

# Pembentukan Komposit Zeolit X - Bayerit dari Perlakuan Abu Sekam Padi dan Aluminium Kemasan Produk Pangan dalam Larutan NaOH Teknis pada Suhu Ruangan

## *Formation of Zeolite X and Bayerite Composites from Rice Husk Ash and Aluminium Food Packaging Waste in Technical NaOH Solution at Room Temperature*

Dede Suhendar<sup>1\*</sup>, Luthpiansyah<sup>2</sup>, Budy Frasetya Taufik Qurrohman<sup>3</sup>, Yusuf Rohmatulloh<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati

<sup>2</sup> Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati

<sup>3</sup> Program Studi Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati

<sup>4</sup> Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati

Email: <sup>1</sup>dede.suhendar@uinsgd.ac.id, <sup>2</sup>luthpiansyah@gmail.com, <sup>3</sup>budyfrasetya@uinsgd.ac.id, <sup>4</sup>yusufrohmatullah@uinsgd.ac.id

\*Penulis korespondensi: dede.suhendar@uinsgd.ac.id

Direview: 1 Maret 2023

Diterima: 4 April 2023

### ABSTRAK

Berbagai upaya penelitian telah dilakukan untuk memperoleh metode sintesis zeolit yang efisien, termasuk penggunaan limbah sebagai bahan utamanya atau dilakukan pada suhu ruang. Salah satu jenis zeolit yang pernah disintesis pada suhu ruang adalah zeolit X (ZX) dalam waktu minimal 28 hari dengan menggunakan bahan-bahan kimia sintetik. Tujuan penelitian ini adalah untuk memeriksa bagaimana ZX dapat terbentuk dan fasa apa yang menyertainya yang dihasilkan dari bahan-bahan limbah, dalam larutan NaOH teknis, pada suhu ruangan, selama 40 hari, dan tanpa pengadukan. Bahan-bahan limbah yang digunakan terdiri atas abu sekam padi dari industri bata merah, limbah kaleng minuman berbahan aluminium, dan limbah kemasan makanan berlapis aluminium. Bahan-bahan tersebut dicampur homogen dengan larutan NaOH teknis sedemikian sehingga menghasilkan campuran dengan rasio mol  $7,23\text{Na}_2\text{O} : 0,26\text{Al}_2\text{O}_3 : 1\text{SiO}_2 : 280\text{H}_2\text{O}$ , dengan masing-masing rasio mol NaOH/H<sub>2</sub>O dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> yang 30% lebih besar daripada literatur untuk sintesis ZX. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa perlakuan tersebut menghasilkan ZX pada 40 hari bersamaan dengan keberadaan fasa bayerit (Al(OH)<sub>3</sub>) yang telah terbentuk sejak 20 hari. Penggunaan rasio mol Na<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>O dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> yang berlebih dalam studi ini menyebabkan lebih mudah terbentuk bayerit terlebih dahulu dan sulitnya silika terlarut berkondensasi sehingga menyebabkan terlambanya kristalisasi ZX. Hasil penelitian ini telah membawa temuan baru potensi sintesis komposit zeolit-bayerit secara langsung, sederhana, murah, dan ramah lingkungan, di mana komposit sejenis ini dilaporkan telah banyak diaplikasikan sebagai katalis dan adsorben.

**Kata kunci:** Zeolit X, bayerit, abu sekam padi, limbah aluminium, suhu ruangan

### ABSTRACT

Various research efforts have been carried out to obtain efficient zeolite synthesis methods, including the use of waste as the main ingredient or carried out at room temperature. One type of zeolite that has been synthesized at room temperature is zeolite X (ZX) within a minimum of 28 days using synthetic chemicals. The purpose of this study is to explore how ZX can be formed from waste materials and NaOH technical grade solution (TGS) at room temperature for 40 days without stirring treatments. The waste materials are rice husk ash from the traditional red brick industry, aluminum beverage cans, and food packaging aluminum waste. The materials were homogeneously mixed with the NaOH TGS in such a way as to produce a mixture with a mole ratio of  $7.23\text{Na}_2\text{O} : 0.26\text{Al}_2\text{O}_3 : 1\text{SiO}_2 : 280\text{H}_2\text{O}$ , with mole ratios of Na<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub>O and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> that were 30% higher than the literature for ZX synthesis, respectively. The results of characterization showed that the treatment yield was ZX along with the

*presence of the bayerite phase, which had been formed since the 20-day observation period. The use of excess  $\text{Na}_2\text{O}/\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  mole ratios in this study impacts the formation of bayerite first and the ability of dissolved silica to condense, thus slowing the crystallization of ZX. The result of this study led to the new finding that zeolite-bayerite composite can be synthesized directly in a simple, inexpensive, and environmentally friendly manner, where the composite materials have been reported as catalysts and adsorbents.*

**Keywords:** zeolite X, bayerite, rice husk ash, aluminum waste, room temperature

## 1. PENDAHULUAN

Inovasi-inovasi metode sintesis zeolit saat ini cukup beragam. Metode sintesis yang konvensional dalam sintesis zeolit adalah metode hidrotermal, yang memerlukan suhu di sekitar atau di atas  $100\text{ }^\circ\text{C}$  (Khaleque, Alam, Hoque, Mondal, Haider, et al., 2020). Salah satu upaya untuk menekan biaya sintesis adalah dengan mencobanya menggunakan metode non hidrotermal, yakni di bawah  $100\text{ }^\circ\text{C}$  (Khaleque, Alam, Hoque, Mondal, Haider, et al., 2020; Król et al., 2014; Online, 2014; Valtchev et al., 2005). Salah satu tipe kerangka zeolit yang telah banyak disintesis pada suhu di bawah  $100\text{ }^\circ\text{C}$  adalah FAU (zeolit X dan Y) (Khaleque, Alam, Hoque, Mondal, Haider, et al., 2020), bahkan pada suhu ruang (Zhang et al., 2013). Dengan menggunakan suhu ruang, zeolit diperoleh dalam waktu yang jauh lebih lama daripada dengan menggunakan suhu lebih tinggi (Hu et al., 2017). Namun demikian, lamanya waktu reaksi terbayar bukan hanya dari efisiensi energi, namun dalam pemakaian desain reaktor yang tidak mahal.

Awalnya, sintesis zeolit X biasa disintesis selama beberapa jam, namun dengan menggunakan suhu di atas suhu ruang sampai di atas  $100\text{ }^\circ\text{C}$  (Khaleque, Alam, Hoque, Mondal, Bin, et al., 2020). Zhang dkk. (2013) telah mengubah kebiasaan itu dengan menyintesisnya pada suhu ruang, namun memakan waktu sampai minimal 28 hari dengan menggunakan bahan-bahan sintetik. Bagaimanapun juga, sampai saat ini belum ada upaya sintesis zeolit X pada suhu ruang dengan menggunakan bahan-bahan dari limbah.

Beberapa sumber alumina dari limbah yang telah digunakan untuk sintesis zeolit X di antaranya adalah limbah pertambangan bauksit (Qiang et al., 2019), abu terbang industri batu bara (Zhu et al., 2019), dan limbah batu basal (Ke et al., 2019). Namun demikian, upaya coba-coba metode baru dalam sintesis suatu zeolit justru memperoleh produk berupa campuran, salah satunya dalam upaya memperoleh zeolit bertipe kerangka LTA berbahan limbah aluminium dan limbah metasilikat industri. Mereka memperoleh campuran zeolit yakni LTA, FAU, EMT, dan SOD, dengan menggunakan suhu  $80\text{ }^\circ\text{C}$  selama 2 hari (Abid et al., 2020). Adapun penamaan tipe-tipe kerangka yang telah disebut berasal dari singkatan atau inisial nama mineral zeolit alami. LTA, FAU, EMT, dan SOD secara berturut-turut merupakan singkatan/inisial dari *Linde Type A*, *Faujasite*, *EMC Two* (*EMC-2*), dan *Sodalite*.

Melebihkan bahan sumber alumina bukan hal yang lumrah dalam sintesis zeolit jika resepnya sudah teruji. Dalam penelitian ini akan dicoba menyintesis zeolit X dengan menggunakan peralatan sederhana, bahan-bahan limbah, juga bahan-bahan kimia teknis, dengan melebihkan sedikit rasio mol  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{O}/\text{H}_2\text{O}$ -nya pada resep campuran bahan awalnya, dibandingkan dengan yang telah dilakukan oleh Zhang dkk. (2013). Adapun tujuan melebihkan rasio mol  $\text{Na}_2\text{O}/\text{H}_2\text{O}$ -nya adalah untuk melihat efek kelebihan basa terhadap kompetisi pelarutan di antara alumina dengan silika pada suhu ruang. Sementara itu, sumber silika yang akan dipakai berasal dari abu sekam padi bekas pembakaran bata merah, bukan sekam padi yang dibakar secara sengaja terkontrol dalam oven berpemanas otomatis, alumina diperoleh dari limbah kaleng aluminium bekas botol kemasan minuman dan sampah kemasan-kemasan makanan/minuman yang mengandung lapisan aluminium. Sintesis dilakukan menggunakan bahan-bahan kimia teknis, tanpa menggunakan pemanas dan tanpa pengadukan. Pemilihan abu sekam padi bekas pembakaran bata merah untuk sumber silika memiliki efisiensi tinggi dalam memperoleh bahan baku silikanya daripada membakar sendiri dari sekam padi secara langsung.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah. Untuk sumber  $\text{Al}_2\text{O}_3$  diperoleh dari beberapa kaleng bekas minuman berkarbonasi berbagai merk dan bekas kemasan pembungkus produk-produk pangan yang mengandung aluminium, seperti bekas bungkus kopi, susu, dan makanan ringan. Sementara itu untuk sumber  $\text{SiO}_2$  diperoleh dari limbah abu sekam padi dari industri bata merah tradisional. Bahan-bahan kimia lain yang digunakan adalah NaOH padat teknis (PT. Asahimas Chemical) dan akuades

teknis (CV. Megatama Mandiri). Bahan-bahan lain yang digunakan sebagai pendukung antara lain pH universal dan kertas saring.

## 2.2. Peralatan dan Instrumen Analisis/Karakterisasi

Alat utama penelitian ini adalah botol propilena berpenutup ulir untuk reaktor zeolit, selebihnya terdiri atas alat-alat yang umum digunakan di laboratorium kimia. Adapun karakterisasi dan analisis yang dilakukan terdiri atas difraksi sinar-X (XRD) (Rigaku Miniflex tipe 600, Cu-K $\alpha$  1,5406 Å), pemindai mikroskop elektron (SEM) (JEOL tipe JSM-6360LA), dan fluoresensi sinar-X (ARL-900 *X-ray fluorescence analyzer*).

## 2.3. Prosedur

Tahap pertama, abu sekam padi dibersihkan secara manual dari batu dan tanah, kemudian diayak dengan ukuran lubang ayakan 100 mesh. Pengayakan abu sekam padi menghasilkan hasil ayakan abu yang dominan berwarna putih (diberi kode Si-ASP) dan yang tersisa dalam ayakan lebih didominasi partikel-partikel agak kasar yang didominasi warna hitam. Untuk sumber alumina digunakan kaleng bekas minuman berbahan aluminium, dibersihkan dari cat dengan cara dikerik memakai pisau, kemudian dipotong-potong memakai gunting, dan potongan-potongan kaleng ini dilarutkan dalam larutan NaOH teknis yang terlebih dahulu dibakukan dengan titrasi biasa (dengan HCl yang telah dibakukan dengan asam oksalat). Sisa aluminium yang tidak bereaksi dipisahkan, kemudian larutan diuapkan airnya sampai habis yang menyisakan padatan putih yang dirujuk sebagai NaAlO<sub>2</sub> (diberi kode Al-KMB). Sumber alumina lainnya berasal dari sampah-sampah pembungkus makanan yang berlapis aluminium yang diperoleh melalui pembakaran sampai bagian kertas atau plastiknya habis terbakar (diberi kode Al-AKM).

Selanjutnya, terhadap Si-ASP, Al-KMB, dan Al-AKM dilakukan analisis unsur menggunakan metode fluoresensi sinar-X (XRF). Berdasarkan data XRF tersebut dihitung resep kebutuhan silika dan alumina untuk sintesis zeolit X. Kebutuhan silika dipenuhi dari Si-ASP dan alumina dari gabungan Al-KMB dan Al-AKM dengan rasio berat Al-KMB : Al-AKM = 1 : 1 (diberi kode (Al-G)). Adapun resep sintesis zeolit dalam penelitian ini menggunakan rasio mol 7,23Na<sub>2</sub>O : 0,26Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 1,0SiO<sub>2</sub> : 280H<sub>2</sub>O, lebih basa dan lebih banyak aluminiumnya daripada resep sintesis zeolit X pada suhu ruang yang dijadikan referensi (Zhang dkk., 2103), yakni 4,0Na<sub>2</sub>O : 0,2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 1,0SiO<sub>2</sub> : 200H<sub>2</sub>O.

Sintesis dilakukan dengan melarutkan NaOH teknis (mengandung sekitar 85% NaOH) dengan akuades dalam wadah berbahan polipropilena, kemudian ditambahkan secara berturut-turut Al-G sampai larut dan Si-ASP sambil diaduk manual selama 30 menit. Campuran tersebut dibuat sebanyak 3 kali dalam wadah yang berbeda, kemudian ditutup dan dibiarkan di ruangan dalam udara terbuka selama 20, 30 dan 40 hari, tanpa pengadukan. Masing-masing produk padatan yang dihasilkan kemudian disaring, dicuci beberapa kali dengan akuades, dikeringkan pada suhu 110 °C selama 3 jam.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Hasil Analisis Unsur Si-ASP, Al-KMB, dan Al-AKM

Hasil analisis unsur terhadap sumber silika (Si-ASP) dan alumina (Al-KMB dan Al-AKM) dengan menggunakan metode XRF menunjukkan limbah abu sekam padi dan limbah aluminium memiliki kandungan secara berturut-turut silika dan alumina yang tinggi sehingga cocok dijadikan sebagai sumber silika dan alumina dalam pembentukan zeolit. Hasil tersebut disajikan pada Tabel-1 yang menunjukkan kandungan silika dari Si-ASP sebesar 84,16%, alumina dari Al-KMB dan Al-AKM secara berturut-turut sebesar 60,53 dan 94,83%. Kandungan LOI (*lost of ignition*) dari Al-KMB cukup besar yang selanjutnya dipertimbangkan sebagai kandungan H<sub>2</sub>O.

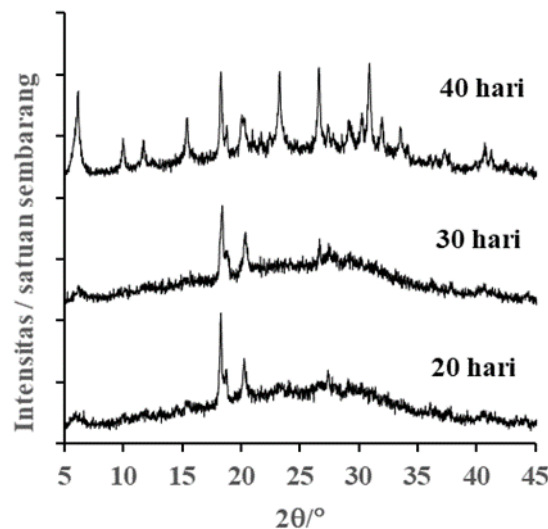
### 3.2. Hasil Karakterisasi dan Analisis Produk

Pada penelitian ini, resep bahan sintesis mengabaikan kandungan unsur-unsur yang ada selain Si, Al, Na, dan H<sub>2</sub>O. Asumsi kadar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ditetapkan untuk bahan sintesis adalah 77,68%, hasil perataan terhadap Al-KMB dan Al-AKM karena digunakan sumber alumina keduanya dengan perbandingan berat 1 : 1. Penyimpanan campuran pada suhu ruang selama 20, 30, dan 40 hari telah menghasilkan produk dengan pola difraktogram sinar-X seperti yang ditunjukkan pada Gambar-1. Adapun suhu pemeraman tidak dikondisikan secara khusus, namun mengikuti suhu udara ruangan tempat pemeraman tersebut. Data suhu ruang yang dipakai berdasarkan data dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) secara online pada rentang waktu 15 Januari - 24 Februari 2020, yakni dalam kisaran rata-rata harian 25 – 26 °C untuk kecamatan

tempat penelitian ini berlangsung (Kec. Cibiru, Kota Bandung), dengan waktu pengamatan suhu terendah pada pukul 04.00 dan tertinggi pada 13.00.

**Tabel-1.** Kadar unsur-unsur dalam abu sekam padi (Si-ASP), kaleng aluminium (Al-KMB) dan kemasan makanan (Al-AKM) yang dinyatakan dalam oksida-oksida

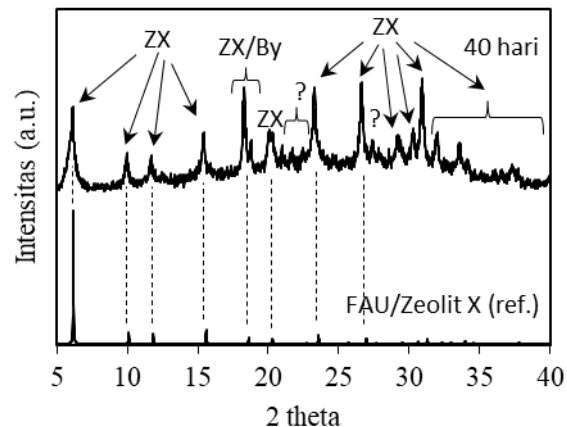
Oksida	Kadar (% massa)			
	Sumber silika	Sumber alumina		
	Si-ASP	Al-KMB	Al-AKM	Rata-rata
Na <sub>2</sub> O	0,077	0,629	0,062	0,345
MgO	0,713	1,95	0,159	1,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,09	60,53	94,83	77,68
SiO <sub>2</sub>	84,16	0,71	1,71	1,21
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,20	0,108	-	0,054
SO <sub>3</sub>	0,26	0,0184	0,049	0,034
K <sub>2</sub> O	2,59	0,0044	0,059	0,031
CaO	0,576	0,0206	0,163	0,092
TiO <sub>2</sub>	0,037	0,0366	2,49	1,26
MnO	0,12	0,81	-	0,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,476	0,457	0,26	0,36
LOI	8,30	34,57	-	17,28



**Gambar-1.** Pola-pola difraktogram sinar-X dari sintesis yang dilakukan pada suhu ruang selama 20, 30, dan 40 hari, dengan suhu rata-rata harian pada kisaran 25 – 26 °C

Berdasarkan pencocokan pola difraktogram, produk pemeraman selama 40 hari menghasilkan fasa zeolit, yakni zeolit X (ICDD 00-041-0118) dan sebagian bayerit Al(OH)<sub>3</sub> (ICDD 00-083-2256). Selain itu, pola difraktogram yang diperoleh juga dibandingkan dengan basis data milik *International Zeolite Association* (IZA) untuk pencocokan pola difraktogram tipe zeolit yang tepat dengan kecocokan dapat dilihat pada Gambar-2. Terdapat beberapa puncak yang rendah yang diberi tanda “?” yang fasanya belum dapat dipastikan.

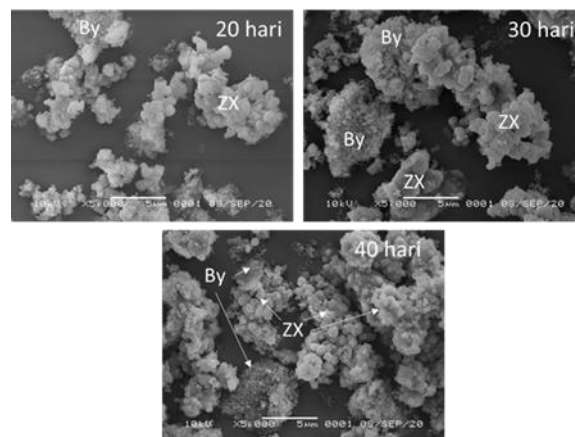
Berdasarkan Gambar-1, zeolit X sebenarnya telah terbentuk sejak 20 hari juga, namun sangat sedikit. Cikal bakalnya dapat dilihat kemunculan puncak yang masih rendah pada 2θ sekitar 6° dan 24°. Hal ini dapat dipertegas dengan hasil analisis dari foto SEM yang ditunjukkan pada Gambar-3, dari ketiganya dapat dilihat hanya dua kategori morfologi yang berdasarkan literatur sebagai zeolit X dan bayerit. Ciri yang menonjol adanya dua puncak pada sekitar sudut 2θ = 17° (Kazantsev et al., 2018), yang berimpitan merupakan ciri zeolit X maupun bayerit seperti yang ditunjukkan pada Gambar-2.



**Gambar-2.** Hasil pencocokan puncak-puncak berdasarkan sudut-sudut difraksi sinar-X dari sampel yang disintesis pada 40 hari dengan referensi tipe kerangka FAU. Sumber referensi: International Zeolite Association ([https://asia.iza-structure.org/IZA-SC/pow\\_pat.php?STC=FAU&ID=FAU\\_2](https://asia.iza-structure.org/IZA-SC/pow_pat.php?STC=FAU&ID=FAU_2))

Berdasarkan analisis unsur terhadap produk sintesis 40 hari yang disajikan pada Tabel-2, rasio mol Si/Al produk adalah 0,886 yang menunjukkan bahwa terdapat kelebihan aluminium berdasarkan ketentuan bahwa pada zeolit memiliki rasio mol Si/Al  $\geq 1$ , sehingga dari 1 mol Al kandungan zeolit X yang terbentuk sekurang-kurangnya terdapat 0,114 mol Al yang bukan berasal dari zeolit X. Jumlah mol Al sisa ini telah dikonfirmasi sebelumnya minimal berasal dari dan didominasi oleh bayerit,  $Al(OH)_3$ .

Kristalit-kristalit bayerit dalam penelitian ini telah dikonfirmasi berdasarkan hasil penelitian You dkk. (2013), yakni memiliki bentuk umum sferis yang beraglomerasi yang dipicu oleh proses sementasi (You et al., 2013). Keadaan bayerit tersebut paling nyata terlihat pada foto SEM sampel 30 hari seperti yang ditampilkan pada Gambar-3. Bentuk-bentuk kristalit dari zeolit X relatif beragam, namun hasil sintesis yang kami lakukan analog dengan hasil sintesis zeolit X dari Zhang dkk. (2013) pada suhu ruangan selama 28 hari. Lebih lambat kristalisasi zeolit X yang kami amati daripada hasil Zhang dkk., diprediksi berasal dari tiga hal, yakni perbedaan konsentrasi basa, rasio mol bahan dan ketidakmurnian sumber silika dan aluminyanya.



**Gambar-3.** Foto hasil pemindaian mikroskop elektron (SEM) dengan perbesaran 5000 yang menunjukkan kristalit-kristalit zeolit X (ZX) telah terbentuk sejak 20 hari dan lebih dominan daripada fasa bayerit (By) pada 40 hari.

Pada penelitian ini, keadaan lebih basa sangat berpengaruh terhadap lebih lambat laju kristalisasi pembentukan zeolit X. Keadaan lebih basa ini dapat dinyatakan dalam rasio mol  $Na_2O/H_2O = 0,026$ , 30% lebih banyak daripada yang digunakan Zhang dkk., 0,020. Berdasarkan hasil pekerjaan Melaningtyas dkk. (2019), makin basa larutan yang dipakai pada sintesis zeolit menyebabkan makin berkurangnya rasio mol Si/Al pada produk zeolit (Melaningtyas et al., 2019), artinya makin banyak silika terlarut yang menurunkan laju kondensasi membentuk pengulangan satuan-satuan silikat yang lebih panjang. Kemampuan membentuk ion-

ion aluminosilikat sendiri lebih didominasi kemampuan silikat daripada aluminat dalam membentuk oligomer-oligomer yang sejalan dengan hasil studi pelarutan zeolit dengan basa yang dilakukan oleh Sano dkk. (1997), basa OH<sup>-</sup> lebih dominan memutus ikatan-ikatan Si – O – Si daripada Si – O – Al (Sano et al., 1997).

**Tabel-2.** Hasil analisis unsur pada produk pemeraman 40 hari

Oksida	Kadar (%)	Oksida	Kadar (%)
SiO <sub>2</sub>	30,38	CaO	0,275
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,10	K <sub>2</sub> O	0,240
Na <sub>2</sub> O	14,45	MnO	0,142
TiO <sub>2</sub>	0,73	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0524
MgO	0,509	LOI	23,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,383	-	-

Bukan hanya masalah basa, lebih lambat kristalisasi pembentukan zeolit X pada penelitian kami juga disumbangkan oleh berlebihnya sumber bahan alumina. Kami menggunakan rasio mol Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> = 0,26, lebih banyak 30% daripada yang digunakan Zhang dkk., 0,20. Dengan basa dan sumber alumina yang berlebih, menjadikan alumina mudah terlarut menjadi ion tetrahidroksaluminat, (Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>) (Wu et al., 2016). Ion (Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>) ini selanjutnya mengalami kesetimbangan membentuk aluminium hidroksida (bayerit) sambil melepaskan ion hidroksida, seiring menurunnya pH (Fe, 2002).

### 3.3. Mekanisme dan Tahap Pembentukan Produk Campuran

Berdasarkan perubahan-perubahan pola difraksi yang ditampilkan pada Gambar-1, pada suhu ruang fasa bayerit lebih mudah terbentuk daripada zeolit X dan relatif stabil sampai terbentuknya zeolit X dalam keadaan sangat basa, dengan tahap-tahap sebagai berikut,

1. Pelarutan alumina membentuk ion Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup> dan pelarutan silika membentuk silikat, silanol, dan bentuk-bentuk silika terlarut (monomer, dimer, trimer, dst.)  

$$\text{Al}_2\text{O}_3(s) + 2\text{NaOH}(aq) + 3\text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons 2\text{Na}^+(aq) + 2\text{Al}(\text{OH})_4^-(aq) \dots (1)$$

$$2\text{SiO}_2(s) + 2\text{NaOH}(s) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{SiO}_3(aq) + \text{Si}(\text{OH})_4(aq) \dots (2)$$
2. Dengan larutnya silika juga, konsentrasi hidroksida menurun yang menyebabkan ion-ion tetrahidroksaluminat ini melakukan kesetimbangan membentuk aluminium hidroksida (bayerit), menghasilkan kembali hidroksida,  

$$\text{Al}(\text{OH})_4^-(aq) \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3(s) + \text{OH}^-(aq) \dots (3)$$
3. Dengan dihasilkannya kembali hidroksida menyebabkan terjadinya kelebihan basa dalam campuran, menghasilkan silika lebih banyak dalam bentuk satuan-satuan pengulangan silikat yang lebih pendek lagi. Sementara itu satuan-satuan silikat yang sudah mulai berkondensasi juga melarut lagi seperti pada tahap ke-1.
4. Berdasarkan analisis intensitas puncak-puncak difraksi, bayerit mengalami sedikit kenaikan kadar dalam larutan pada hasil sintesis selama 30 hari, kemudian turun lagi pada hari ke-40 namun dengan intensitas yang lebih rendah lagi daripada hasil sintesis pada 20 hari. Artinya, pada rentang waktu 30 – 40 hari terjadi reaksi kesetimbangan balik (persamaan (3)), sebagian kecil bayerit melarut lagi menjadi ion Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup> diikuti pengurangan konsentrasi basa, memberi kesempatan spesi-spesi silika terlarut mulai berkondensasi lebih baik dan memerangkap ion-ion Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup> menuju kristalisasi zeolit X.
5. Terbentuk padatan campuran zeolit x dengan bayerit disertai terperangkapnya oksida-oksida titanium, magnesium, besi, kalsium dan mangan, sebanyak totalnya kira-kira 2% (Tabel-2).

### 3.4. Peluang Aplikasi Komposit Zeolit X – Bayerit Menurut Literatur

Jika produk campuran zeolit X dan bayerit dikalsinasi maka campuran ini akan menghasilkan komposit zeolit X - alumina yang memiliki peluang dapat diaplikasikan untuk pengering udara (*desiccant*). Komposit ini memiliki daya serap terhadap uap air yang lebih besar daripada silika gel (Oh et al., 2017). Secara umum, aplikasi yang telah banyak dikenal dari komposit zeolit-alumina ini adalah untuk katalis atau pendukung katalis untuk reaksi-reaksi organik (Xie et al., 2010).

Dalam memperoleh alumina secara industri, metode Bayer digunakan untuk memperoleh aluminium hidroksida dari bahan baku bauksit, kemudian dilakukan kalsinasi (Fan & Li, 2020; Meshcheryakov et al., 2021). Diketahui bahwa kalsinasi zeolit X sampai suhu 650 °C selama 3 jam tidak menyebabkan perubahan

fasa zeolit, bahkan meningkatkan kristalinitasnya (Ke et al., 2019). Pada rentang suhu 300 – 900 °C, kalsinasi bayerit tidak cukup beragam, hanya menghasilkan fasa  $\gamma$ -alumina (Kazantsev et al., 2018; Du et al., 2009), sehingga berpeluang untuk memperoleh fasa-fasa yang berkomposit akan seragam.

Komposit pada umumnya diperoleh secara mekanis dengan pencampuran secara homogen dari dua atau lebih zat yang terpisah sebelumnya. Dengan ditemukannya cara memperoleh komposit zeolit X – bayerit dalam penelitian ini, besar peluang pengembangan komposit zeolit –  $\text{Al}(\text{OH})_3/\text{Al}_2\text{O}_3$  berbasis bahan limbah, diperoleh dalam wadah yang sama secara bersamaan, dan sangat minimal biaya sintesis, dengan aplikasi untuk katalis dan adsorben.

#### 4. KESIMPULAN

Dari eksperimen, penyajian hasil dan pembahasan, kami menyimpulkan bahwa zeolit X dapat diperoleh dari perlakuan sederhana limbah aluminium kemasan dan abu sekam padi tanpa pemurnian selama 40 hari dalam suhu ruangan dengan menggunakan rasio mol 7,23  $\text{Na}_2\text{O}$  : 0,26  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 1  $\text{SiO}_2$  : 280  $\text{H}_2\text{O}$ , bersama dengan hadirnya fasa bayerit yang telah terbentuk lebih awal. Kemurnian dan waktu terbentuknya fasa zeolit X pada sintesis dengan suhu ruang dan tanpa pengadukan dipengaruhi terutama oleh:

- berlebihnya rasio mol  $\text{NaOH}/\text{H}_2\text{O}$  yang memperlambat terjadinya kondensasi satuan-satuan silika terlarut dan
- berlebihnya rasio mol  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  yang mempermudah terbentuknya bayerit lebih awal daripada zeolit X.

#### SARAN

Penelitian ini belum dapat diterapkan, namun memiliki peluang sangat menguntungkan jika diteliti lebih lanjut dalam memperoleh adsorben yang sangat murah dan mengurangi limbah aluminium kemasan produk-produk makanan dan minuman.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Agama RI yang telah membiayai penelitian ini dalam Program Bantuan Penelitian, Publikasi Ilmiah, dan Pengabdian Masyarakat, TA 2021, melalui LP2M Satker Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abid, R., Delahay, G., Tounsi, H., Abid, R., Delahay, G., Tounsi, H., & Emt, F. A. U. (2020). *Preparation of LTA, HS and FAU / EMT intergrowth zeolites from aluminum scraps and industrial metasilicate To cite this version : HAL Id : hal-02273090.*
- Du, X., Wang, Y., Su, X., & Li, J. (2009). In fl uences of pH value on the microstructure and phase transformation of aluminum hydroxide. *Powder Technology*, 192(1), 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2008.11.008>
- Fan, W., & Li, W. (2020). Hydrometallurgy Morphology-control techniques for preparing aluminum hydroxide via wet chemical synthesis. *Hydrometallurgy*, 192(January), 105256. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105256>
- Fe, M. (2002). *Synthesis of bayerite ( h -Al ( OH ) 3 ) microrods by neutralization of aluminate ions at constant pH.* 56(November), 978–983.
- Hu, T., Gao, W., Liu, X., Zhang, Y., & Meng, C. (2017). Synthesis of zeolites Na-A and Na-X from tablet compressed and calcinated coal fly ash. *Royal Society Open Science*, 4(10). <https://doi.org/10.1098/rsos.170921>
- Kazantsev, S. O., Lozhkomoev, A. S., Glazkova, E. A., Gotman, I., Gutmanas, E. Y., Lerner, M. I., & Psakhie, S. G. (2018). *SC. Materials Research Bulletin.* <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2018.04.011>
- Ke, G., Shen, H., & Yang, P. (2019). *Synthesis of X-Zeolite from Waste Basalt Powder and.* 1–14.
- Khaleque, A., Alam, M., Hoque, M., Mondal, S., Bin, J., Xu, B., Johir, M. A. H., Krishna, A., Zhou, J. L., Boshir, M., & Ali, M. (2020). *Zeolite synthesis from low-cost materials and environmental applications : A review.* 2(October). <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2020.100019>
- Khaleque, A., Alam, M. M., Hoque, M., Mondal, S., Haider, J. Bin, Xu, B., Johir, M. A. H., Karmakar, A. K., Zhou, J. L., Ahmed, M. B., & Moni, M. A. (2020). Zeolite synthesis from low-cost materials and environmental applications: A review. *Environmental Advances*, 2(October). <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2020.100019>

- Król, M., Morawska, J., Mozgawa, W., & Pichór, W. (2014). Low-temperature synthesis of zeolite from perlite waste - Part I: Review of methods and phase compositions of resulting products. *Materials Science-Poland*, 32(3), 503–513. <https://doi.org/10.2478/s13536-014-0216-y>
- Melaningtyas, G. S. A., Krisnandi, Y. K., & Ekananda, R. (2019). Synthesis and characterization of NaY zeolite from Bayat natural zeolite: Effect of pH on synthesis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 496(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/496/1/012042>
- Meshcheryakov, E. P., Reshetnikov, S. I., Sandu, M. P., Knyazev, A. S., & Kurzina, I. A. (2021). *applied sciences Efficient Adsorbent-Desiccant Based on Aluminium Oxide. L.*
- Oh, H. T., Lim, S. J., Kim, J. H., & Lee, C. H. (2017). Adsorption Equilibria of Water Vapor on an Alumina/Zeolite 13X Composite and Silica Gel. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 62(2), 804–811. <https://doi.org/10.1021/acs.jced.6b00850>
- Online, V. A. (2014). *RSC Advances Low temperature synthesis of nanosized NaY zeolite crystals from organic-free gel by using supported seeds †. i*, 21951–21957. <https://doi.org/10.1039/c4ra03376k>
- Qiang, Z., Shen, X., Guo, M., Cheng, F., & Zhang, M. (2019). A simple hydrothermal synthesis of zeolite X from bauxite tailings for highly efficient adsorbing CO<sub>2</sub> at room temperature. *Microporous and Mesoporous Materials*, 287(May), 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2019.05.062>
- Sano, T., Nakajima, Y., Wang, Z. B., Kawakami, Y., Soga, K., & Iwasaki, A. (1997). Effect of framework aluminum on the dissolution process of ZSM-5 zeolite crystal. *Microporous Materials*, 12(1–3), 71–77. [https://doi.org/10.1016/S0927-6513\(97\)00058-8](https://doi.org/10.1016/S0927-6513(97)00058-8)
- Valtchev, V. P., Tosheva, L., & Bozhilov, K. N. (2005). *Synthesis of Zeolite Nanocrystals at Room Temperature. 14*, 10724–10729.
- Wu, Y. sheng, Li, H. liang, Shi, F. ling, Liu, xiao fu, Su, G. qao, & Qu, Y. ping. (2016). Corundum dissolution in concentrated sodium hydroxide solution. *China Foundry*, 13(6), 422–426. <https://doi.org/10.1007/s41230-016-5064-4>
- Xie, Z., Liu, Z., Wang, Y., Yang, Q., Xu, L., & Ding, W. (2010). An overview of recent development in composite catalysts from porous materials for various reactions and processes. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(5), 2152–2187. <https://doi.org/10.3390/ijms11052152>
- You, S., Li, Y., Zhang, Y., Yang, C., & Zhang, Y. (2013). *Synthesis of Uniformly Spherical Bayerite from a Sodium Aluminate Solution Reacted with Sodium Bicarbonate.*
- Zhang, X., Tong, D. Q., Zhao, J. J., & Li, X. Y. (2013). Synthesis of NaX zeolite at room temperature and its characterization. *Materials Letters*, 104(2013), 80–83. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.03.131>
- Zhu, T., Zhang, X., Han, Y., Liu, T., & Wang, B. (2019). *Preparation of Zeolite X by the Aluminum Residue From Coal Fly Ash for the Adsorption of Volatile Organic Compounds. 7(May)*, 1–8. <https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00341>