

Effect of Si/Al molar ratio on zeolite synthesis from nipah leaf and used canned aluminium

Arsita Nur Rizkia Putri, Ilma Fadlilah*, Oto Prasadi

Program Studi Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap, Cilacap 53225, Indonesia

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: 27 July 2023 Received in revised form: 14 September 2023 Accepted: 13 October 2023</p>	<p>Silica and aluminium are the main sources in the manufacture of synthetic zeolite which will be engineered in such a way that it contains the same character as natural zeolite. The silica content in Nipah leaf waste is 26,28 % and the aluminium content in used cans is 53,09 %, it has the potential to be the main ingredient in zeolite synthesis. The synthesis zeolite in this study was formed due to the use of nipah leaf waste material and canned aluminium. This study aims to determine the effect of Si/Al molar ratio on synthetic zeolite characteristics. Making zeolite is done by mixing silica and aluminium as well as the zeolite crystallization process using a hydrothermal reactor. Characterization of zeolite was carried out by morphological analysis and elemental composition using SEM-EDX and functional group analysis using FTIR. The results of SEM-EDX show the morphology and composition of zeolite forming elements included in low silica zeolite, and FTIR results show functional groups of synthetic zeolite in the form of double rings at wavenumbers 500 – 650 cm^{-1}, and the presence of zeolite finger prints at wavenumbers 700 – 1100 cm^{-1}.</p>
<p><i>Keywords:</i> Hydrothermal, characterization, zeolite synthesis</p>	

1. Pendahuluan

Zeolit adalah mineral kristal alumina silika yang berisi ion logam di dalam rongga-rongga yang saling berhubungan dengan atom-atom oksigen dan mempunyai kerangka tiga dimensi berbentuk tetrahedral $[\text{SiO}_4]^{4-}$ dan $[\text{AlO}_4]^{5-}$ [1]. Zeolit sintesis didapatkan dari hasil rekayasa yang sedemikian rupa hingga berkarakter sama dengan zeolit alam. Zeolit sintesis memiliki kelebihan dibandingkan zeolit alam yaitu keberadaannya tidak terikat dengan unsur lain, mampu menyerap molekul, struktur pori terbuka dan kemurniannya jauh lebih tinggi. Kelebihan dari zeolit sintesis yaitu tidak terikat dengan unsur lain, dapat menyerap molekul, struktur pori terbuka, dan kemurniannya tinggi [2]. Zeolit sintesis terbentuk dari adanya unsur silika dan aluminium dari suatu bahan tertentu.

Keberadaan unsur silika dan aluminium pada zeolit dapat diperoleh dari sumber komersial, namun biaya pembelian cukup mahal. Mengingat bahwa Indonesia merupakan Negara kaya akan sumber daya alam, maka daripada itu untuk menggantikan silika komersial dapat dilakukan dengan alternatif berupa pemanfaatan limbah agrikultural berupa limbah daun Nipah. Keberadaan Nipah dapat ditemukan di Perairan Segara Anakan Cilacap. Selama ini daun nipah belum dimanfaatkan secara optimal karena, pada umumnya yang dimanfaatkan hanya sebatas bagian buah dan tempurung. Adanya potensi tersebut sebanding dengan kandungan silika

yang terdapat dalam daun nipah sebesar 26,28%.

Pada umumnya, unsur aluminium pada zeolit didapatkan dari penambahan bahan kimia berupa natrium aluminat dan sodium aluminat. Penggunaan bahan kimia tersebut menjadi permasalahan karena sulit didapatkan dan adanya resiko pencemaran terhadap lingkungan. Maka dari itu, unsur aluminium dapat diperoleh dari limbah anorganik yaitu limbah aluminium kaleng bekas yang memiliki kandungan aluminium sebesar 53,09%. Kedua bahan tersebut memiliki potensi sebagai bahan utama dalam pembuatan zeolit sintesis. Pembentukan zeolit dipengaruhi oleh perbandingan rasio Si/Al, yang mana akan menghasilkan jenis zeolit yang berbeda sesuai sifat yaitu kadar Si rendah, kadar Si sedang, dan kadar Si tinggi.

Adapun metode yang dapat dilakukan dalam pembuatan zeolit sintesis diantaranya metode hidrotermal, ultrasonik, dan gelombang mikro. Metode yang paling optimal dalam sintesis zeolit yaitu hidrotermal, karena mudah dan memiliki waktu sintesis yang relatif cepat dibandingkan metode lainnya [3]. Hidrotermal berasal dari dua kata hidro yang berarti air dan termal yang berarti panas. Metode hidrotermal merupakan pembentukan mineral atau kristal di sekitar sumber panas yang memiliki sifat merubah larutan menjadi padatan [4]. Panas yang dihasilkan dari hidrotermal ini berada pada suhu dibawah 300°C dan diatas titik didih yaitu 100°C. Prinsip dari hidrotermal ini yaitu pemanasan reaktan dalam wadah tertutup, sehingga dapat memecahkan ikatan senyawa amorf pada material dengan temperatur tertentu dan terjadi peningkatan ukuran kristal [5].

Metode hidrotermal ini menjadi metode umum yang digunakan pada sintesis zeolit, seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Muis dkk. [6] dengan melakukan variasi waktu

* Corresponding author.

Email: ilma.fadlilah@pnc.ac.id

<http://dx.doi.org/10.20527/k.v12i2.16985>



hidrotermal. Adapun pada penelitian ini tidak menggunakan variasi waktu hidrotermal dan perbedaan kondisi operasi berupa media reaktor hidrotermal. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui karakteristik yang dilihat dari hasil uji menggunakan SEM-EDX dan FTIR berdasarkan variasi rasio Si/Al.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Rekayasa Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan Politeknik Negeri Cilacap. Bahan baku utama yaitu limbah daun nipah yang diperoleh dari Bunton, Adipala, Kabupaten Cilacap dan limbah aluminium kaleng bekas yang diperoleh dari pengepul sampah di daerah Tegalkamulyan, Kabupaten Cilacap.

2.1. Preparasi dan ekstraksi silika daun nipah

Limbah daun nipah diperkecil ukurannya menjadi 2 – 3 cm dengan pemotongan menggunakan gunting. Selanjutnya daun nipah dikeringkan di bawah terik matahari selama 1 minggu [7]. Daun nipah yang sudah bersih kemudian dibakar selama 3 jam pada suhu 750°C di dalam *furnace* hingga terbentuk abu. Haluskan sampel yang dilanjutkan dengan pengayakan 200 mesh, sehingga didapatkan serbuk daun nipah. Kemudian, serbuk abu daun nipah sebanyak 13 gram dimasukkan ke dalam gelas *beaker* dengan penambahan 80 mL larutan Natrium hidroksida (NaOH) 2 M menurut Mujiyanti dkk. [8], dan diaduk menggunakan *hotplate stirrer* secara terus menerus dengan suhu 80°C pada kecepatan 300 rpm selama 3 jam [9]. Setelah itu, campuran dipisahkan menggunakan kertas saring untuk memisahkan antara larutan natrium silikat dan residu padatan. Tambahkan larutan asam klorida (HCl) 2 M tetes demi tetes hingga terbentuk silika pada larutan natrium silikat, selanjutnya dipisahkan kembali dengan menggunakan kertas saring. Silika yang terbentuk dikeringkan selama 8 jam pada suhu 110°C di dalam oven. Silika kering dihaluskan dengan mortar hingga diperoleh bubuk silika.

2.2. Preparasi aluminium kaleng bekas

Siapkan bahan baku aluminium kaleng jenis *softdrink* yaitu limbah minuman berionik tinggi. Bersihkan cat yang menempel pada kaleng tersebut menggunakan amplas dan menggunakan *paint remover* VIP. Setelah penghilangan cat, kaleng aluminium dibersihkan kembali menggunakan air dan kain hingga bersih, kemudian dipotong bahan aluminium kaleng bekas tersebut menjadi bagian yang kecil.

2.3. Sintesis zeolit dengan rasio molar Si/Al

Sintesis zeolit dari daun nipah dan aluminium kaleng bekas dengan perlakuan variasi rasio Si/Al disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Rasio Molar Si/Al

Rasio molar Si/Al	NaOH (g)	SiO ₂ (g)	Al ₂ O ₃ (g)	H ₂ O (mL)
1,7	6,6	3,36	3,3	103,43
1,9	6,6	3,36	2,98	103,43

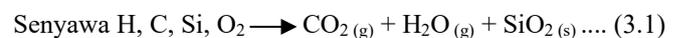
Masing-masing komposisi bahan diaduk diatas *hot plate* dan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 350 rpm selama 3 jam

suhu ruang 25°C - 30°C [10]. Kemudian masukkan ke dalam reaktor PTFE 200 mL dan dikristalisasi pada reaktor hidrotermal dengan temperatur 150°C dengan waktu 8 jam. Kemudian, hasil yang terbentuk disaring dengan kertas saring dan padatan hasil kristalisasi dicuci dengan *aqua demineralisasi* hingga pH 7 – 9 [11]. Selanjutnya, keringkan padatan pada suhu 120°C selama 3 jam menurut Safitri & Jahro, [12] serta dihaluskan dan disaring menggunakan saringan 100 mesh.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil karakterisasi abu limbah daun nipah

Adanya proses penjemuran di bawah terik matahari selama 7 hari bertujuan untuk mengurangi kadar air, sehingga mempermudah proses pembakaran di dalam *furnace*. Pada proses pengabuan, akan menghasilkan CO₂ dan H₂O dari hidrokarbon yang teroksidasi sehingga hanya bahan anorganik terutama SiO₂ yang tersisa [13].



Tabel 2. Komposisi Kimia Abu Daun Nipah

Komponen Kimia	Konsentrasi Unsur (%berat)	
	Penelitian Sebelumnya [14]	Hasil Penelitian
Si	0,8	26,28
K	1,6	19,12
S	0,5	8,162

Berdasarkan analisis komposisi unsur menggunakan XRF, kandungan Si (silika) dalam abu daun nipah sebesar 26,28 %. Hal ini menunjukkan bahwa bahan terbakar sempurna karena suhu diatas 700°C merupakan suhu pembakaran sempurna untuk tidak menghasilkan karbon, dan didukung pernyataan pada penelitian Chandra dkk. [15] bahwa pada temperatur 750°C semua senyawa organik telah teroksidasi hingga mengandung kandungan silika yang cukup tinggi. Abu daun nipah selanjutnya diekstraksi menggunakan pelarut alkali yaitu NaOH 2M, yang berfungsi untuk melarutkan SiO₂ yang terdapat dalam abu daun nipah karena hanya alkali hidroksida yang dapat melarutkan SiO₂ [16]. Filtrat yang diperoleh ditambahkan HCl 2 M, yang bertujuan untuk membentuk pada kondisi pH netral atau asam, karena pada pH netral tersebut larutan HCl yang bereaksi dengan natrium silika menjadi stabil, yang ditunjukkan semakin meningkatnya silika dalam larutan natrium silikat [17]. Silika yang terbentuk kemudian dipisahkan dengan filtratnya dan dikeringkan dalam oven selama 8 jam pada suhu 110°C, yang bertujuan untuk mengurangi kandungan air.

3.2. Hasil karakterisasi aluminium kaleng bekas

Aluminium kaleng bekas berjenis *softdrink* yang telah dipotong menjadi bagian terkecil, maka selanjutnya dikarakterisasi menggunakan instrumen XRF. Karakterisasi ini untuk mengetahui komposisi unsur pada kaleng tersebut.

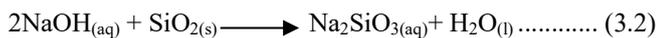
Jenis kaleng yang digunakan pada penelitian sebelumnya dan hasil penelitian ini, menggunakan jenis kaleng yang sama yaitu kaleng *softdrink* berionik tinggi. Adapun perbedaan komposisi disebabkan karena adanya perbedaan perlakuan saat pembersihan cat yang melekat pada kaleng tersebut.

Tabel 3. Komposisi Kimia Aluminium Kaleng

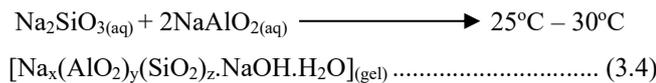
Komponen Kimia	Konsentrasi Unsur (%berat)	
	Penelitian Sebelumnya [18]	Hasil Penelitian
Aluminium	96,38	53,09
Magnesium	1,14	0,5974
Mangan	0,75	0,5172

3.3. Sintesis zeolit

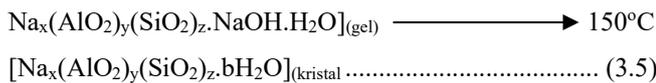
Beberapa tahapan dalam sintesis zeolit diantaranya pencampuran bahan, kristalisasi (hidrotermal), pencucian zeolit sintesis, dan pengeringan. Zeolit dibuat dari bahan dasar silika (Si), aluminium (Al), natrium hidroksida (NaOH), dan aquades (H₂O). Keberadaan NaOH sebagai aktivator untuk membentuk natrium silikat dan natrium aluminat dan berperan dalam pembentukan zeolit selama proses kristalisasi, karena kation Na⁺ digunakan dalam menstabilkan unit-unit pembentuk kerangka zeolit [19]. Proses sintesis zeolit dimulai dengan mereaksikan aluminium, silika dan larutan NaOH. Hal tersebut bertujuan untuk mempermudah pembentukan natrium silikat dan aluminat, serta berperan dalam pembentukan zeolit.



Senyawa yang berbeda terjadi ketika terlarutnya kedua larutan tersebut yang menjadikan adanya difusi zat terlarut. Hal tersebut akan terjadi modifikasi tekstur atau struktur dan dapat mengurangi energi bebas dalam sistem, sehingga meningkatkan ukuran pori serta partikel [20]. Untuk menghomogenkan campuran maka seluruh bahan reaktan diaduk menggunakan *stirrer* selama 3 jam, sehingga dapat mempercepat reaksi antara natrium silikat dan natrium aluminat yang menyebabkan frekuensi tumbukan molekul-molekul akan terjadi lebih besar [6].



Sintesis zeolit ini dilakukan pada keadaan basa (pH > 8), karena adanya polimerisasi ion pembentuk zeolit berupa Si-O-Al. Gel amorf akan mengalami penataan ulang pada struktur zeolit ketika proses hidrotermal. Dari hal tersebut maka akan terbentuk embrio inti kristal dan struktur zeolit akan lebih teratur serta ikatannya lebih kuat. Fase larutan menjadi padatan merupakan inti pencapaian pada proses kristalisasi zeolit [21].

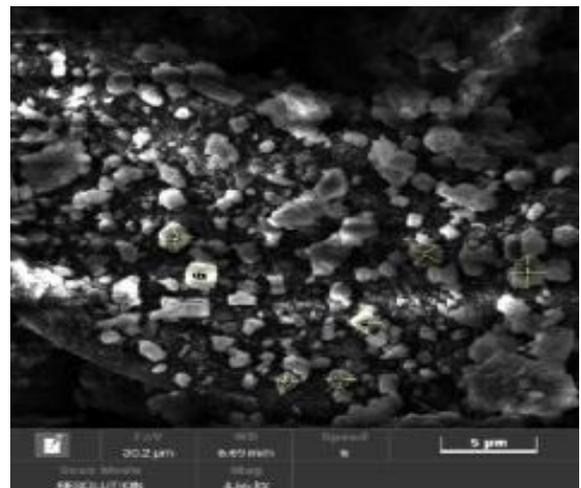


Padatan abu kecoklatan yang terbentuk dicuci secara berulang kali dengan *aqua* demineralisasi hingga keadaan netral atau pH < 9, yang bertujuan untuk menghilangkan sisa NaOH yang bersifat basa menurut Kurniawan dan Widiastuti, [22] dan padatan dilanjutkan untuk dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 3 jam. Sehingga diperoleh serbuk zeolit sintesis berwarna putih keabuan untuk zeolit sintesis rasio 1,7 dan berwarna coklat untuk zeolit sintesis rasio 1,9.

3.4. Karakterisasi zeolit sintesis

3.4.1. Analisis morfologi dan komposisi unsur zeolit sintesis rasio molar 1,7

Partikel sampel diindikasikan memiliki morfologi bentuk kristal berbentuk bola teraglomerasi serta permukaan yang kasar. Diameter partikel yang terbentuk pada setiap kristal dengan ukuran rata-rata sebesar 1753,25578 μm, yang menunjukkan bahwa kristal zeolit merupakan kerangka yang terbentuk dari jaring tetrahedral SiO₄ dan AlO₄ [10]. Diameter rata-rata partikel yang diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan *software ImageJ*. Terbentuknya deposit zeolit pada permukaan oleh adanya temperatur hidrotermal menyebabkan perbedaan ukuran partikel dan permukaan yang kasar [23].



Gambar 1. SEM Gambar * ARABIC 1. Morfologi Permukaan dan Diameter partikel ZSR 1,7

Analisis SEM menunjukkan bahwa komposisi unsur yang terkandung di dalam ZSR 1,7 terdiri dari unsur utama pembentuk zeolit yaitu Si, Al, Na, dan O berdasarkan data EDX.

Tabel 4. Data EDX Komposisi Kimia ZSR 1,7

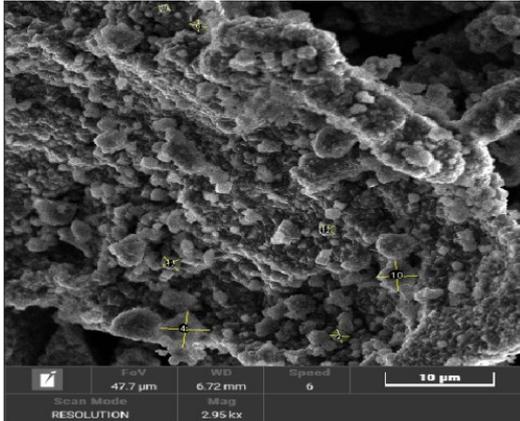
Komponen Unsur Kimia	Konsentrasi Unsur Kimia (%wt)			
	Penelitian Sebelumnya [24]	[25]	[26]	Hasil Penelitian (*)
Si	0,09	18,99	16,24	11,36
Al	0,18	28,57	23,99	23,87
Na	2,53	12,73	9,08	7,33
O	-	24,72	50,69	49,06

Keterangan (*) : Peneliti, 2023.

Analisis EDX menunjukkan komposisi atom oksigen dalam ZSR 1,7 terbesar dibandingkan dengan unsur yang lain yakni 49,06%wt. Hal tersebut mengindikasikan bahwa senyawa oksida terbentuk dari unsur-unsur Al, Si maupun unsur logam lainnya [27]. Semakin banyaknya Si serta Al yang terlarut membentuk zeolit, disebabkan karena penambahan NaOH yang dapat mengubah komposisi zeolit [27]. Berdasarkan tabel 4 rasio molar Si/Al adalah 0,5, hal ini menunjukkan bahwa zeolit hasil sintesis termasuk zeolit tipe NaA yang termasuk ke dalam zeolit bersilika rendah, dengan rumus empiris Na₁₂[(AlO₂)₁₂(SiO₂)₁₂].27H₂O [28].

3.4.2. Analisis morfologi dan komposisi unsur zeolit sintesis rasio molar 1,9

Partikel sampel diindikasikan memiliki morfologi bentuk kristal berbentuk kubus. Struktur kristal zeolit ini nampak kurang seragam dan banyak yang tidak bersiku tajam, yang diindikasikan oleh suhu hidrotermal yang kurang tinggi [29]. Diameter partikel yang terbentuk pada setiap kristal dengan ukuran rata-rata sebesar 1748,64515 μm , menunjukkan bahwa kristal zeolit merupakan kerangka yang terbentuk dari jaringan tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 [10]. Diameter rata-rata partikel yang diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan *software ImageJ*.



Gambar 2. SEM Gambar * ARABIC 2. Morfologi Permukaan dan Diameter partikel ZSR 1,9

Hasil analisis menunjukkan bahwa komposisi unsur yang terkandung di dalam ZSR 1,9 terdiri dari unsur utama pembentuk zeolit yaitu Si, Al, Na, dan O.

Tabel 5. Data EDX Komposisi Kimia ZSR 1,9

Komponen Unsur Kimia	Konsentrasi Unsur Kimia (%wt)			
	Penelitian Sebelumnya			Hasil Penelitian (*)
	[16]	[10]	[30]	
Si	13,11	13,3	7,76	20,92
Al	14,05	14,3	8,31	22,29
Na	13,64	41,4	11,41	12,97
O	50,93	-	72,52	43,83

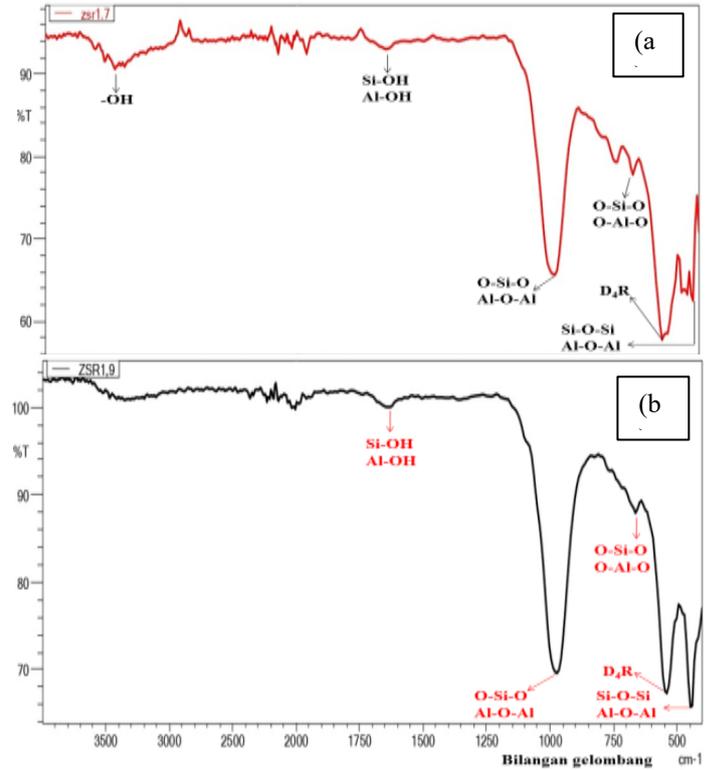
Keterangan (*): Peneliti, 2023.

Perbedaan komposisi unsur antara bahan mentah dengan komposisi unsur pada ZSR 1,9 mengalami perbedaan, hal tersebut karena penambahan larutan basa NaOH yang dapat mengubah komposisi zeolit sintesis, dengan cara merusak lapisan luar sehingga silika dan alumina dapat keluar ke permukaan dan menyebabkan terjadinya perubahan komposisi unsur menurut Setiawan dkk. [27] dan semakin banyaknya Si serta Al yang terlarut membentuk zeolit [23]. Berdasarkan tabel 5 rasio molar Si/Al mendekati 1 sebesar 0,94, hal ini menunjukkan bahwa zeolit hasil sintesis termasuk zeolit tipe A yang termasuk ke dalam zeolit bersilika rendah, dengan rumus empiris $\text{Na}_{96}[(\text{AlO}_2)_{96}(\text{SiO}_2)_{96}].216\text{H}_2\text{O}$ [22].

3.4.3. Analisis gugus fungsi senyawa zeolit sintesis

Gugus fungsi dari kerangka zeolit sintesis dapat diketahui dari hasil karakterisasi menggunakan FTIR. Karakterisasi ini ditunjukkan untuk kedua zeolit sintesis rasio (ZSR) 1,7 dan 1,9

pada bilangan gelombang antara 400 – 4000 cm^{-1} .



Gambar 3. SEM Gambar * ARABIC 3. (a) Spektra FTIR ZSR

Adapun serapan gugus fungsi zeolit dapat diinterpretasikan yang ditampilkan pada spektrum tabel dibawah ini.

Tabel 6. Spektrum Zeolit Sintesis Rasio 1,7 & Zeolit Sintesis Rasio 1,9

v Zeolit Sintesis Rasio 1,7 (cm^{-1})	v Zeolit Sintesis Rasio 1,9 (cm^{-1})	Gugus Fungsi
470,63	447,49	Vibrasi tekuk Si-O-Si/Al-O-Al
547,78	540,07	Double ring
663,51	663,51	Vibrasi simetrik O-Si-O atau O-Al-O
972,12	972,12	Vibrasi asimetrik O-Si-O atau Al-O-Al
1643,35	1640,35	Vibrasi tekuk Si-OH atau Al-OH
3441,01	Tidak terdeteksi	Vibrasi ulur -OH

v = bilangan gelombang

Pada zeolit sintesis ditemukan serapan pada bilangan gelombang 447,49 hingga 470,63 cm^{-1} yang menunjukkan telah terbentuknya kerangka aluminosilikat karena serapan dari vibrasi gugus Si-O dan Al-O. Pita serapan cincin ganda (*double ring*) diidentifikasi pada bilangan gelombang 540,07 hingga 547,78 cm^{-1} yang merupakan jalinan eksternal antara lapisan zeolit satu dengan yang lainnya [31]. Vibrasi ulur simetrik dan asimetrik ditemukan pada bilangan gelombang 663,51 cm^{-1} dan 972,12 cm^{-1} yang menandakan adanya perubahan panjang ikatan dari O-Si-O atau O-Al-O, panjang gelombang tersebut pun menunjukkan adanya Al tersubstitusi dalam bentuk tetrahedral dari kerangka silika [32]. Serapan gugus Si-OH [33-35] atau Al-OH [36-37] ditunjukkan pada bilangan gelombang 1643,35 cm^{-1} dan 1640,35 cm^{-1} yang menandakan getaran deformasi molekul air yang teradsorpsi dalam zeolit sintesis [38]. Gugus -OH hanya terlihat pada zeolit sintesis rasio 1,7 pada bilangan gelombang 3441,01 cm^{-1} . Hal ini mengindikasikan pada rasio Si/Al 1,9 terjadi dealuminasi yang

disebabkan oleh Al lebih bersifat basa dari pada Si, sehingga membuat ikatannya menjadi lebih mudah putus. Hal tersebut menyebabkan peningkatan rasio Si/Al dengan hasil 0,93 dibandingkan rasio Si/Al pada zeolit sintesis rasio 1,7. Hal tersebut pun menjadikan zeolit lebih hidrofobik, sehingga molekul polar lainnya akan menjadi lebih lemah yang menyebabkan berkurangnya jumlah air ataupun gugus hidroksil yang terikat menurut Wardani dkk. [39] dan kemampuan adsorpsinya semakin meningkat [40].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi XRF menampilkan bahwa komposisi unsur kimia yang terkandung dalam abu daun nipah terdiri dari 26,28% Si; 19,12% K; 8,162 S. Komposisi unsur kimia yang terkandung dalam aluminium kaleng bekas terdiri dari 53,09% Al; 0,5974% Mg; 0,5172% Mn. Adapun komposisi rasio molar Si/Al zeolit sintesis yang optimal pada zeolit dengan rasio Si/Al 1,9 atau zeolit A. Hasil tersebut berdasarkan karakterisasi menggunakan SEM-EDX dan FTIR, yang menunjukkan zeolit sintesis memiliki komposisi Si/Al rendah dengan nilai 0,93 atau mendekati 1 dan munculnya cincin ganda (*double ring*) yang merupakan ciri khas zeolit pada bilangan gelombang 500 – 650 cm^{-1} serta adanya *finger print* zeolit pada bilangan gelombang 700 – 1100 cm^{-1} .

Referensi

- Y.I. Cahyo, D. Prasetyoko, Pengaruh rasio Mol $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pada sintesis zeolit Y secara langsung dari Kaolin Bangka Belitung, *J. Sains dan Seni Pomits*, 3 (2016) 1-7
- Hartati, A.A. Widiawati, K. Lutfiah, Sintesis zeolit ZSM-5 dari metakaolin terdealuminasi tanpa cetakan organik dengan metode desilikasi, *J. Akta Kim. Indones.*, 4 (2019) 63-74.
- W. Channabasavaraj, R. Reddy, A review on characterization and application of fly ash zeolites, *IJDR*, 7 (2017) 14294–14300.
- D.F. Putri, H. Maulina Ritonga, V. Murdiati, R. Zainul, A review what is hydrothermal?, *J. FMIPA*, 1 (2016) 1–17.
- S. Husein, E. T. Wahyuni, M. Mudasar, Synthesis of Tin(II) Oxide (SnO) nanoparticle by hydrothermal method, *JKPK*, 4 (2019) 145-151.
- L. Muis, A. Sanova, and H. Suryadri, Karakterisasi zeolite dari ampas tebu yang dihasilkan dari reaktor hidrotermal dan aplikasinya pada penyerapan Ion logam Pb^{2+} , *Chempublish J.*, 6 (2021) 1–11.
- I. Fadlilah, N. A. Triwuri, and A. Pramita, Perbandingan karbon aktif tempurung nipah dan karbon aktif-kulit pisang kepok teraktivasi kalium hidroksida, *CHEESA Chem. Eng. Res. Artic.*, 5 (2022) 20-27.
- D.R. Mujiyanti, D. Ariyani, N. Paujiah, Kajian variasi konsentrasi NaOH dalam ekstraksi silika dari limbah sekam padi banjar jenis "Pandak", *J. Sains dan Terap. Kim.*, 15 (2021) 143.
- T. Paramitha, T.R. Saputra, A. N. Aliah, A. V. Tarigan, M. Ghozali, Karakterisasi silika dari abu ampas tebu, *Kovalen J. Ris. Kim.*, 5 (2019) 290–298.
- L. Muis, E. Permana, H. Anwar, Aplikasi zeolite dari cangkang kelapa sawit pada penyerapan logam kromium heksavalen (Cr^{6+}) heksavalen pada industri elektroplating, *J. Daur Lingkungan.*, 2 (2019) 1–6.
- N. Widiastuti, M.H. Fachrudin, E.P. Setyaningsih, T.Q. Romadiansyah, adsorpsi metilen biru dan kongo merah pada Zeolit-A hasil sintesis dari abu dasar, *J. Sains Terap.*, 8 (2022) 24-34.
- I.A. Safitri, I.S. Jahro, Synthesis and characterization of zeolite X from boiler ash and aluminum foil waste, *Indones. J. Chem. Sci. Technol.*, 4 (2021) 15–20.
- Arnelli, B.Y. Fathoni, T.I. Prasetyo, A. Suseno, Y. Astuti, Synthesis of zeolite from bagasse and rice husk ashes as surfactant builder on detergency process: variation of NaOH concentration for silica isolation, *J. Kim. Sains dan Apl.*, 21 (2018) 139–143.
- P. Tamunaidu, S. Saka, Chemical characterization of various parts of nipa palm (*nypa fruticans*), *Ind. Crops Prod.*, 34 (2011) 1–31.
- A. Chandra, Y.I.P.A. Miryanti, L.B. Widjaja, A. Pramudita, Isolasi dan karakterisasi silika dari sekam padi, *Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat*. (2016) 1–37.
- P. Hanipa, P. Pardoyo, Taslimah, A. Arnelli, Y. Astuti, Pengaruh variasi waktu hidrotermal terhadap sintesis dan karakterisasi nanokristal zeolit A dari abu sekam padi, *J. Kim. Sains dan Apl.*, 20 (2017) 79-83.
- L.U. Widodo, G.A. Soedjono, L.P. Pratiwi, Rasio abu bagasse dengan NaOH terhadap proses pengambilan silika, *J. Tek. Kim.*, 11 (2017) 42–45.
- S. Wahyuni, L. Hakim, F. Hasfita, Pemanfaatan limbah kaleng minuman aluminium sebagai penghasil gas hidrogen menggunakan katalis natrium hidroksida (NaOH), *J. Teknol. Kim. Unimal*, 5 (2016) 92–104.
- I. Pratama, D. Lia, Nurlina, Penurunan kadar timbal (II) menggunakan zeolit-X sintesis dari batu Padas, *J. Kim. Khatulistiwa*, 7 (2018) 53–58.
- V.H. Putranto, E. Kusumastuti, Jumaeri, Pemanfaatan zeolit dari abu sekam padi dengan aktivasi asam untuk penurunan kesadahan air, *J. MIPA*, 38 (2015) 150-159.
- R.F. Febrianti, T.A. Zaharah, Adhitiywarman, Sintesis zeolit A berbahan dasar abu terbang (fly ash) limbah PT. Indonesia Chemical Alumina (ICA) menggunakan metode alkali hidrotermal, *Indones. J. Pure Appl. Chem.*, 5 (2022) 28-39.
- R.Y. Kurniawan, N. Widiastuti, Sintesis zeolit-A dari abu dasar batubara dengan pemisahan Fe dan Ca, *J. Sains dan Seni ITS*, 6 (2017) 17–20.
- A. Setiawan, A.N. Rahmadania, and N.E. Mayangsari, Adsorpsi Cu(II) menggunakan zeolit sintesis kombinasi abu terbang dan abu dasar dengan variasi waktu aging, *J. Ris. Teknol. Ind.*, 15 (2021) 113-124.
- A.E. Ameh, O.O. Fatoba, N.M. Musyoka, L.F. Petrik, Influence of aluminium source on the crystal structure and framework coordination of Al and Si in fly ash-based zeolite NaA, *Powder Technol.*, 306 (2017) 17–25.
- N. Djamel, A. Samira, Mechanism of Cu^{2+} Ions uptake process by synthetic NaA zeolite from aqueous solution: characterization, kinetic, intra-crystalline diffusion and thermodynamic studies, *J. Mol. Liq.*, 323 (2020) 114642.
- Y. Han, E. Lv, L. Ma, J. Lu, K. Chen, J. Ding, Coupling membrane pervaporation with a fixed-bed reactor for enhanced esterification of oleic acid with ethanol, *Energy Convers. Manag.*, 106 (2015) 1379–1386.
- A. Setiawan, J.N. Hanun, and A.E. Afiuddin, Sintesis dan karakterisasi zeolit dari abu bagasse sebagai adsorben logam berat Cu(II), *J. Presipitasi*, 17 (2020) 85–95.
- S. Bohra, D. Kundu, M.K. Naskar, One-pot synthesis of NaA and NaP zeolite powders using agro-waste material and other low cost organic-free precursors, *Ceram. Int.*, 40 (2014) 1229–1234.
- N. Widiastuti, F. Thalib, D. Prasetyoko, H. Fansuri, Ukuran partikel dan konformasi kristal zeolit-A hasil sintesis dengan penambahan tetrapropilammonium hidroksida (TPAOH), *Reaktor*, 15 (2014) 132–138.
- I. Kannagara, Y. Jayawardhana, E. Munasinghe, A. Rajapakse, A. Bandara, R. Weerasooriya, L. Jayarathna, Synthesis and characterization of nano zeolite-A with aid of sodium dodecyl sulfate (SDS) as particle size-controlling agent, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, 589 (2020) 124427.
- I. Saraswati, Zeolite-A synthesis from glass, *J. Sains dan Mat.*, 23 (2015) 112–115.
- N. Sriwahyuni, A. Muttaqin, Astuti, Konduktivitas listrik zeolit sintetis dari bahan abu dasar batubara dengan metode peleburan alkali, *J. Fis. Unand*, 4 (2015) 24–30.
- M. Sadrara, M. Khanmohammadi Khorrami, J. Towfighi Darian, A. Bagheri Garmarudi, Rapid determination and classification of zeolites based on Si/Al ratio using FTIR spectroscopy and chemometrics, *Infrared Physics & Technology*, 116 (2021) 103797.
- Y. Yuan, C. Brady, L. Annamalai, R.F. Lobo, B. Xu, Ga speciation in Ga/H-ZSM-5 by in-situ transmission FTIR spectroscopy, *J. Catal.*, 393 (2021) 60-69.
- P.V. Campos, A.R.L. Albuquerque, R.S. Angélica, S.P.A. Paz, FTIR spectral signatures of amazon inorganic phosphates: Igneous, weathering, and biogenetic origin, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 251 (2021) 119476.
- Q. Liu, Z. Chen, Y. Yang, Model of the charged mosaic surface of the cement particle based on the adsorption behavior of surfactants using ATR-FTIR spectroscopy, *Composites Part B: Engineering*, 215 (2021) 108802.
- G. Lan, J. Li, G. Zhang, J. Ruan, Z. Lu, S. Jin, D. Cao, J. Wang, Thermal decomposition mechanism study of 3-nitro-1,2,4-triazol-5-one (NTO): Combined TG-FTIR-MS techniques and ReaxFF reactive molecular dynamics simulations, *Fuel*, 295 (2021) 120655.
- M.P. Moises, C.T.P. Da Silva, J.G. Meneguim, E.M. Giroto, E. Radovanovic, Synthesis of zeolite NaA from sugarcane bagasse ash, *Mater. Lett.*, 108 (2013) 243–246.
- F. Wardani, Khamidinal, E. Sedyadi, D. Krisdiyanto, Pengaruh waktu refluks terhadap hasil sintesis zeolit dari bahan abu dasar batubara

- dengan metode hidrotermal, Indones. J. Mater. Chem., 3 (2020) 9-14.
- [40] M. Dienullah, H.S. Tira, and Y.A. Padang, Pemurnian biogas dengan sistem berlapis menggunakan Fe₂O₃, zeolit sintetik dan zeolit alam, J. Poros, 15 (2017) 1-8.