

## Karakteristik Sintesis Zeolit Dari Pemanfaatan Limbah Daun Nipah dan Alumunium Foil Bekas

Rena Jayana, Ilma Fadlilah\*, Oto Prasadi

Program Studi D-IV Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap  
Jl. Dr. Soetomo Nomor 1, Sidakaya, Cilacap Selatan, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah, 53212, Indonesia  
Email: ilma.fadlilah@pnc.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik zeolit sintesis dari pemanfaatan limbah daun nipah (*Nypa frutycans wurmb*) dan alumunium foil bekas. Berdasarkan hasil uji FTIR menunjukkan Zeolit Sintesis Rasio 1 (ZSR-1) dan Zeolit Sintesis Rasio 2 (ZSR-2) telah memenuhi semua spektra pada daerah serapan indikator terbentuknya zeolit sintesis. Karakteristik zeolit sintesis berdasarkan SEM menunjukkan ZSR-1 masuk kategori zeolit NaX sedangkan ZSR-2 merupakan zeolit NaY. Hasil uji EDX menunjukkan ZSR-1 dan ZSR-2 merupakan jenis zeolit kaya akan alumunium dengan nilai rasio Si/Al 0,07 % untuk ZSR-1 serta 0,25 % untuk ZSR-2. Karakteristik ZSR-2 lebih optimum jika dibandingkan ZSR-1. Hasil uji FTIR menunjukkan bahwa panjang gelombang ZSR-2 pada vibrasi ulur simetri internal O-Si-O/O-Al-O lebih tinggi yaitu  $725,23\text{ cm}^{-1}$  jika dibandingkan ZSR-1 yang hanya  $663,51\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini menunjukkan indikasi bahwa ZSR-2 memiliki rasio Si/Al lebih tinggi jika dibandingkan ZSR-1. Hal ini dikonfirmasi oleh hasil EDX yang menunjukkan hasil rasio Si/Al untuk ZSR-2 lebih besar yaitu 0,25 % jika dibandingkan rasio Si/Al dari ZSR-1 yang hanya 0,07 %. Hasil uji SEM menunjukkan Zeolit NaY (ZSR-2 berbentuk kubus) memiliki pori lebih besar dibandingkan zeolit NaX (ZSR-1 berbentuk tidak beraturan) serta pada temperatur tinggi zeolit NaY lebih stabil dan lebih aktif dibandingkan zeolit NaX.

**Kata kunci :** Karakteristik, Zeolit Sintesis, Limbah, Daun Nipah, Alumunium Foil

### Abstract

#### **Characterization of Synthesis of Zeolite from Utilization of Nipah Leaf Waste and Used Aluminum Foil**

The purpose of this study was to determine the characteristics of synthetic zeolite from the utilization of nipah leaf waste (*Nypa frutycans wurmb*) and used aluminum foil. Based on the results of the FTIR test, it was shown that the Synthetic Zeolite Ratio 1 (ZSR-1) and the Synthetic Zeolite Ratio 2 (ZSR-2) fulfilled all the spectra in the indicator absorption area for the formation of synthetic zeolite. The characteristics of synthetic zeolite based on SEM showed that ZSR-1 was categorized as NaX zeolite, while ZSR-2 was NaY zeolite. The results of the EDX test showed that ZSR-1 and ZSR-2 were types of zeolite rich in aluminum with a Si/Al ratio of 0.07% for ZSR-1 and 0.25% for ZSR-2. The characteristics of ZSR-2 are more optimum when compared to ZSR-1. The FTIR test results showed that the wavelength of ZSR-2 in the stretching vibration of internal symmetry O-Si-O/O-Al-O was higher, namely  $725,23\text{ cm}^{-1}$  compared to ZSR-1 which was only  $663,51\text{ cm}^{-1}$ . This indicates that ZSR-2 has a higher Si/Al ratio than ZSR-1. This was confirmed by the EDX results which showed that the Si/Al ratio for ZSR-2 was greater, namely 0.25%, compared to the Si/Al ratio for ZSR-1 which was only 0.07%. SEM test results showed that NaY Zeolite (cuboid ZSR-2) has larger pores than NaX zeolite (ZSR-1 irregular shape) and at high temperatures NaY zeolite is more stable and more active than NaX zeolite.

**Keywords:** Characteristics, Synthesis Zeolite, Waste, Palm Leaves, Aluminum Foil

## PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan menurut undang-undang No 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup merupakan adanya kegiatan manusia manusia yang meliputi masuknya atau dimasukkannya energi ke dalam lingkungan sehingga melampaui baku mutu (Siregar and Nasution, 2020). . Sumber pencemaran lingkungan dapat berasal dari tanah, udara dan air. Pencemaran air dapat bersumber dari limbah laboratorium, industri, rumah tangga dan pertanian. Satu dari beberapa metode yang dapat diterapkan dalam pengolahan limbah cair yang teridentifikasi memiliki kandungan logam berat yaitu metode adsorpsi. Definisi adsorpsi yaitu suatu proses penyerapan dimana molekul cairan menyentuh permukaan adsorben. Keunggulan dari metode adsorpsi ini yaitu sederhana dalam tahapan pengolahannya, memiliki tingkat efisiensi dan efektifitas yang tinggi, serta dapat memperbaiki kualitas lingkungan (Delaroza, 2018).

Suatu kelompok mineral aluminosilikat yang anggotanya memiliki beberapa jenis mineral merupakan definisi dari zeolit (Selvina *et al.*, 2021). Penerapan zeolit dapat digunakan sebagai adsorben atau penghilangan logam berat, degradasi fotokatalitik dari senyawa *benzofen*, *metronidazole*, *Eriochrome*, *blackT*, dan *p-nitrophenol* (Fitriyah and Krisnandi, 2023). Aplikasi zeolit dalam pengolahan air limbah terbukti dapat digunakan untuk menghilangkan logam berat Fe (Kurniawidi *et al.*, 2021). Zeolit memiliki dua jenis berdasarkan sumbernya yaitu jenis zeolit alam dan zeolit sintetis. Beberapa ion yang terdapat dalam zeolit alam seperti  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  dan  $Na^+$ , sedangkan zeolit sintesis hanya mengandung ion  $Na^+$  atau  $K^+$ . Keunggulan zeolit sintetis jika dibandingkan dengan zeolit alam yaitu tingkat kemurnian tinggi, ukuran kristal dan porinya yang merupakan karakteristik zeolit sintesis dapat direkayasa melalui bahan kimia saat sintesis (Hartati, 2019).

Terdapat dua sumber silika dalam zeolit yaitu sumber silika sintetis dan sumber silika alami.  $Na_2SiO_3$  atau LUDOX dan *Tetra Ethyl Ortho Silicate* (TEOS) merupakan sumber silika yang umum digunakan untuk sintesis zeolit. Dua sumber silika tersebut memiliki kekurangan yaitu harga relative mahal dan sedikit jumlahnya (Fitriana, 2018).

Adanya kekurangan pada ketiga sumber silika komersial tersebut maka solusi dari permasalahan ini yaitu dapat digunakan sumber silika alam yang harganya relatif lebih murah sebagai salah satu upaya pengganti sumber silika komersial. Adapun contoh sumber silika alami yaitu dari sekam padi (Putra, Elvia and Amir, 2022). dan ampas tebu (Muis *et al.*, 2021).

Satu dari beberapa sumber daya alam Di Kabupaten Cilacap Provinsi Jawa Tengah yang memiliki potensi yaitu jumlah tanaman nipah yang melimpah. Tanaman nipah (*Nypa fruticans* Wurmb) yang merupakan tanaman kategori suku *Palmae*, tanaman ini dapat hidup di sekitar sungai yang dapat terpengaruh oleh pasang surut air laut (Utami *et al.*, 2022). Bioetanol dapat dihasilkan dari tanaman nipah karena memiliki komposisi fruktosa 1,6%, sukrosa 11,1% dan glukosa 5,9%. (Rahmah *et al.*, 2015). Pelepa nipah dimanfaatkan sebagai atap rumah dipedesaan, batang tanaman nipah dapat dimanfaatkan sebagai sapu lidi. Silika yang terkandung dalam kulit buah nipah lebih tinggi jika dibandingkan dengan arang alaban (Novrizal dan Ulfah, 2018). Saat ini pemanfaatan daun nipah hanya diambil pada bagian buahnya yaitu dijadikan sebagai olahan makanan, sedangkan pemanfaatan daun nipah masih sedikit dan terbatas (Utami *et al.*, 2022). Pemanfaatan daun nipah dapat digunakan sebagai atap dan dinding bangunan (Suparto *et al.*, 2019). Potensi daun nipah di Cilacap dapat dimanfaatkan sebagai sumber silika karena memiliki beberapa keunggulan diantaranya ketersediaannya yang sangat banyak dan mudah diperoleh. Kandungan silika yang terdapat dalam daun nipah lebih tinggi yaitu 0,8 % jika dibandingkan dengan serabut nipah, pelepa nipah dan tempurung nipah dengan nilai silika masing-masing yaitu 0,4 %, 0,5 %, 0,3 %. Sintesis zeolit dari limbah daun nipah akan dilakukan dalam penelitian ini sehingga limbah daun nipah dapat berpotensi dijadikan sebagai alternatif pengganti sumber silika komersial pada sintesis zeolit yang memiliki nilai jual tinggi.

Satu dari beberapa sampah anorganik yang jumlahnya melimpah dilingkungannya serta memiliki kandungan alumunium merupakan definisi dari alumunium (Hamriani, 2021). Sampah alumunium foil dari bekas kemasan *snack*, kopi, kemasan obat-obatan dan kemasan susu bubuk yang berbahan alumunium foil dapat mencemari

lingkungan jika tidak adanya pengolahan pada sampah tersebut (Hamriani, 2021). Sebanyak 1 gram foil mengandung alumunium sebesar 88,3% dan memiliki kandungan alum murni sebesar 99%, hal ini bergantung pada lama waktu pemanasan (Nugroho *et al.*, 2015). Alumunium foil bekas hasil praktikum mahasiswa Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan di Laboratorium Kimia, Laboratorium Instrumentasi dan Laboratorium Rekayasa Politeknik Negeri Cilacap belum ada pemanfaatan atau upaya *recycle*. Dalam penelitian ini akan dilakukan upaya pemanfaatan alumunium foil bekas sebagai sumber alumina dan limbah daun nipah sebagai sumber Si dalam pembuatan zeolit sintesis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik zeolit sintesis dari pemanfaatan limbah daun nipah (*Nypa frutycans wurmb*) dan alumunium foil bekas.

## METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Proses Program Studi D-IV Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan Politeknik Negeri Cilacap dalam kurun waktu September 2022 sampai dengan Juli 2023.

Alat yang digunakan yaitu Bahan yang dibutuhkan dalam proses pembuatan zeolit sintesis diantaranya: limbah daun nipah, alumunium foil bekas, NaOH 2 M, Aquades, HCl 2 M, kertas saring, aquademin dan pH *stick*. Peralatan yang digunakan dalam proses pembuatan zeolit sintesis diantaranya: *furnace*, cawan porselen, ayakan 200 *mesh*, mortar dan alu, baskom *hotplate* dan *magnetic stirrer*, gelas kimia 100 mL dan 1 L, timbangan analitik, kaca arloji, spatula, gelas ukur, *erlenmeyer* 250 mL, corong kaca, pipet ukur, *pump pipet*, pipet tetes, batang pengaduk, oven, botol teflon  $\pm$  200 mL, *X-Ray Fluorescence* (XRF), *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

Penelitian ini akan melalui beberapa tahapan yaitu preparasi abu limbah daun nipah kemudian dilakukan uji karakteristik abu daun nipah menggunakan instrumen *X-Ray Fluorescence* (XRF). Preparasi alumunium foil bekas yang dilanjutkan dengan uji karakteristik menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Zeolit sintesis dari limbah daun nipah dan alumunium foil bekas kemudian

dilakukan uji karakteristik menggunakan *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR).

Preparasi alumunium foil bekas meliputi tahap pengecilan ukuran alumunium foil bekas hingga 0,5 cm (Oktaviany *et al.*, 2021). Selanjutnya alumunium foil bekas yang ukurannya telah kecil diuji karakteristiknya menggunakan XRF. Preparasi limbah daun nipah meliputi tahapan pengecilan ukuran daun hingga 3 cm selanjutnya dijemur dibawah sinar matahari hingga kering (selama 1 minggu). Potongan limbah daun nipah yang telah dijemur selanjutnya dimasukkan ke dalam *furnace* pada suhu 750 °C selama 3 jam sehingga berubah menjadi abu.

Ekstraksi Silika dari abu daun nipah mengacu pada penelitian (Hamriani, 2021). Sebanyak 40 gram abu limbah daun nipah disiapkan, kemudian larutan NaOH dengan komposisi 250 mL aquades dan 12,5 gr NaOH padat dimasukkan dalam campuran bahan tersebut lalu di stirrer selama 3 jam pada suhu 80 °C. Selanjutnya campuran dipisahkan dengan menggunakan metode penyaringan. Filtrat hasil penyaringan tersebut kemudian ditetesi HCl hingga pH nya mencapai 7 dan terbentuk silika. Dilanjutkan proses pengeringan silika pada suhu 110 °C selama 8 jam. Setelah itu digerus dengan memakai mortal dan ditimbang menggunakan neraca analitik.

Metode sintesis zeolit dalam penelitian ini mengacu dari penelitian Masoudian *et al.*, (2013) dengan komposisi molar yaitu  $4,5\text{Na}_2\text{O} : x\text{Al}_2\text{O}_3 : 3\text{SiO}_2 : 315\text{H}_2\text{O}$ , nilai  $x = 1$  dan 2. Berikut merupakan tabel 1 terkait komposisi variasi rasio molar Si/Al dari zeolit sintesis.

Komposisi tersebut kemudian dikonversi ke dalam satuan massa komponen reaktan zeolit sintesis yang disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 1.** Komposisi Variasi Rasio Molar Zeolit Sintesis

Rasio	Komposisi Molar Zeolit Sintesis
1	$4,5\text{Na}_2\text{O} : 1\text{Al}_2\text{O}_3 : 3\text{SiO}_2 : 315\text{H}_2\text{O}$
2	$4,5\text{Na}_2\text{O} : 2\text{Al}_2\text{O}_3 : 3\text{SiO}_2 : 315\text{H}_2\text{O}$

**Tabel 2.** Massa komponen reaktan zeolit sintesis

Reaktan	Zeolit Sintesis Rasio (ZSR)	
	Rasio 1 (ZSR-1)	Rasio 2 (ZSR-2)
NaOH (gr)	7,273	7,273
SiO <sub>2</sub> (gr)	3,61	3,61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (gr)	8,162	4,081
H <sub>2</sub> O (mL)	111,707	111,707

Keterangan : ZSR-1= Zeolit Sintesis Rasio 1; ZSR-2 = Zeolit Sintesis Rasio 2

Komposisi dalam tabel 2 kemudian dicampurkan dalam gelas kimia, lalu diaduk selama 2 jam di suhu ruang menggunakan *magnetic stirrer* hingga homogen setelah itu dieramkan selama 12 jam. Selanjutnya dikristalisasi menggunakan metode hidrotermal selama 8 jam pada suhu 150 °C, dicuci dengan aquademin hingga pH netral, dikeringkan selama 3 jam menggunakan pada suhu 120 °C, Tahap terakhir yaitu produk zeolit sintesis ditimbang. Selanjutnya dilakukan diuji karakteristiknya menggunakan instrumen SEM-EDX dan FTIR.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kandungan Unsur Kimia Limbah Daun Nipah dan Aluminium Foil Bekas

Abu limbah daun nipah dapat diperoleh setelah meliputi tahap pengecilan ukuran limbah daun nipah hingga 3 cm, pengeringan potongan limbah daun nipah dibawah terik matahari selama 1 minggu, selanjutnya potongan limbah daun tersebut dijadikan abu dengan menggunakan alat *furnace* selama 3 jam pada suhu 750 °C. Abu yang diperoleh diayak menggunakan ayakan ukuran 200 mesh sehingga didapatkan ukuran partikel abu

yang seragam. Abu limbah daun nipah yang telah melewati proses *furnace* selama 3 jam pada suhu 750 °C dapat dilihat pada gambar 1.

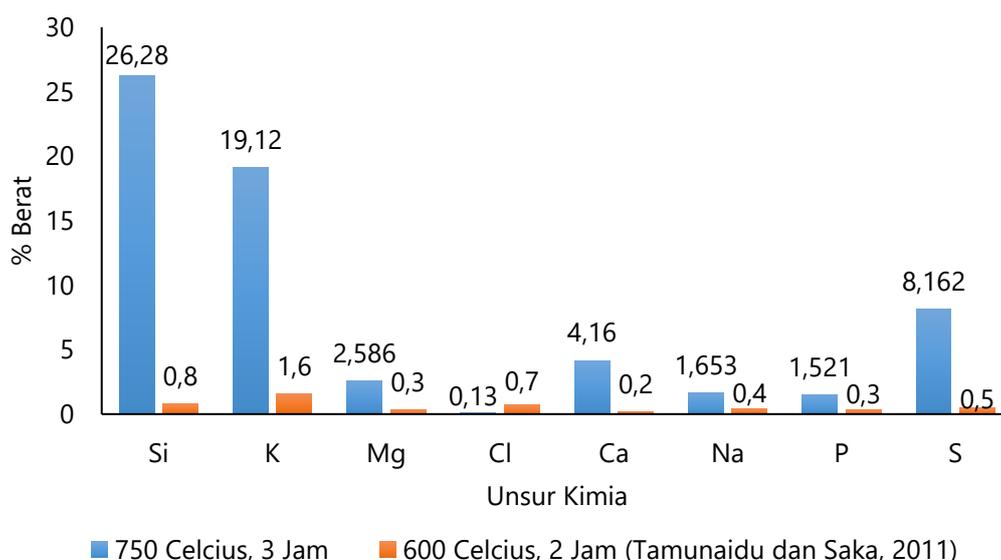
Gambar 1 menunjukkan sifat fisik dari abu limbah daun nipah yang telah di *furnace* (dipijarkan pada suhu 750 °C selama 3 jam) menghasilkan abu sempurna berwarna putih keabuan. Reaksi yang terjadi pada proses pembakaran dengan *furnace* ditunjukkan pada persamaan berikut (Mujiyanti *et al.*, 2021) :



Rendemen abu limbah daun nipah yaitu sebesar 4,4 %. Silika yang berhasil diekstrak dari abu limbah daun nipah menghasilkan rendemen 63,368 %. Kandungan Si dalam abu daun nipah penelitian ini lebih tinggi nilainya yaitu 26,28 % jika dibandingkan dengan kandungan Si dalam abu daun nipah dari penelitian Tamunaidu dan Saka, (2011) yaitu hanya 0,8 %. Adanya perbedaan nilai kandungan Si abu daun nipah ini dipengaruhi oleh suhu dan waktu proses pembakaran. Abu daun nipah dari penelitian Tamunaidu dan Saka, (2011) dihasilkan dari proses pengabuan pada selama 2 jam suhu 600 °C. Sedangkan abu yang dihasilkan dalam penelitian ini diabukan pada suhu 750 °C selama 3 jam. Suhu mempengaruhi hasil kandungan unsur kimia yang terkandung dalam abu yang dihasilkan dari suatu proses pembakaran atau pemanasan. Berikut merupakan gambar 2 yang merupakan perbandingan nilai kandungan unsur kimia yang terkandung dalam abu daun nipah yang dibakar pada suhu 750 °C selama 3 jam dan suhu 600 °C selama 2 jam (Tamunaidu dan Saka, 2011).



**Gambar 1.** Abu Limbah Daun Nipah



**Gambar 2.** Pengaruh suhu terhadap kandungan unsur kimia abu daun nipah

Gambar 2 menunjukkan bahwa suhu dalam proses pembakaran dapat mempengaruhi nilai unsur kimia yang dihasilkan. Abu limbah daun nipah yang telah melewati proses pembakaran menggunakan *furnace* selama 3 jam pada suhu 750 °C. Unsur kimia yang terkandung dalam abu limbah daun nipah sebagai hasil dari pembakaran selama 3 jam pada suhu 750 °C menghasilkan nilai unsur kimia yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan penelitian Tamunaidu dan Saka, (2011). Unsur kimia yang terkandung dalam abu daun nipah setelah proses pembakaran 750 °C selama 3 jam menggunakan *furnace* memiliki kadar Si, K, Mg, Cl, Ca, Na, P, S berturut-turut yaitu 26,28 %, 19,12 %, 2,586 %, 0,1256 %, 4,16 %, 1,653 %, 8,162 % dan 0,1592 %. Kadar unsur kimia tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan kandungan unsur kimia dari penelitian Tamunaidu dan Saka, (2011) dengan suhu pembakaran yaitu 600 °C selama 2 jam menghasilkan kadar Si, K, Mg, Cl, Ca, Na, P, S lebih rendah dengan nilai berturut-turut yaitu 0,8 %, 1,6 %, 0,3 %, 0,7 %, 0,2 %, 0,4 %, 0,3 % dan 0,5 %. Suhu pembakaran dapat mempengaruhi hasil persentase kadar unsur kimia yang terkandung dalam abu. Perbandingan nilai unsur kimia diatas dapat diketahui bahwa pembakaran daun nipah pada 600 °C selama 2 jam pada penelitian Tamunaidu dan Saka, (2011) menghasilkan rendahnya kadar silika dalam abu. Hal ini diduga terjadinya proses oksidasi karbon yang belum sempurna sehingga menghasilkan rendahnya kadar silika dalam abu pada penelitian Mujiyanti *et*

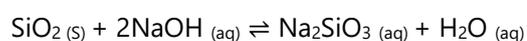
*al.*, (2021). Sedangkan sumber aluminium dalam pembuatan zeolit sintesis dalam penelitian ini berasal dari aluminium foil bekas seperti Gambar 3.

Aluminium foli bekas tersebut diperkecil ukurannya menjadi 1 x 1 cm. Kemudian dianalisis dengan X-Ray Fluorescence (XRF) menghasilkan kandungan unsur kimia berupa Al sebanyak 54 %.

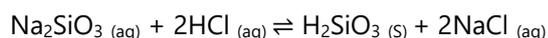
#### Ekstraksi Silika dari Abu Daun Nipah

Silika yang terdapat dalam bahan alam dapat diperoleh dengan cara di ekstrak menggunakan larutan basa sehingga didapatkan silika dengan kemurnian tinggi (Ishmah *et al.*, 2020). Pencampuran abu daun nipah, larutan NaOH dan larutan HCl diperoleh bentuk serbuk silika yang memiliki warna putih, berikut merupakan gambar 4 yaitu silika hasil ekstrak dari abu limbah daun nipah.

Serbuk silika yang berhasil di ekstrak dari abu limbah daun nipah memiliki khas warna putih. Semakin putih warna silika maka semakin tinggi kemurnian dan luas permukaannya menjadi relatif tinggi (Setyowati, Sriyanti and Suhartana, 2022). Abu daun nipah yang merupakan hasil *furnace* selama 3 jam pada suhu 750 °C selanjutnya dilarutkan dengan larutan NaOH. Reaksi yang terjadi saat proses ekstraksi silika dengan menggunakan NaOH dapat dilihat pada persamaan berikut (Andarini *et al.*, 2018):



Reaksi diatas menghasilkan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) berbentuk liquid bersifat basa dan tidak berwarna. Silika diendapkan dengan ditambahkan larutan asam berupa HCl ke dalam larutan ekstrak silika sehingga pH nya berada dalam rentang 6,5 – 7. Adanya pertukaran reaksi antara ion  $\text{Na}^+$  pada  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dengan ion  $\text{H}^+$  pada HCl merupakan akibat dari perlakuan penambahan HCl pada larutan ekstrak silika yang dapat dijelaskan dalam persamaan reaksi berikut (Andarini *et al.*, 2018) :



Reaksi diatas menghasilkan asam silikat ( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ) berwarna putih dan berbentuk partikel padatan gel. NaCl dapat dihilangkan dengan proses penyaringan dan pencucian pada gel yang dihasilkan menggunakan aquademin. Selanjutnya

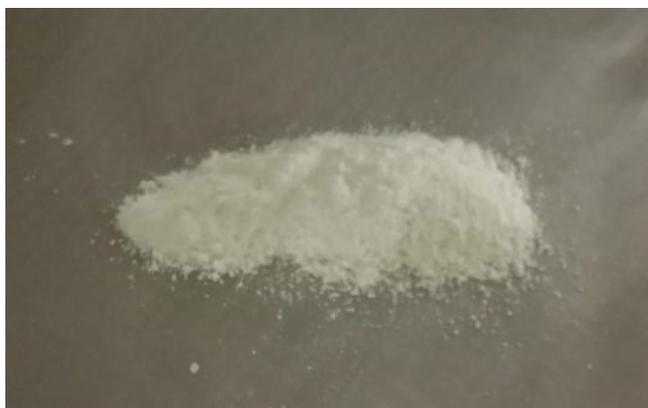
silika gel yang telah dicuci dikeringkan menggunakan oven selama 8 jam pada suhu 110 °C. Pengeringan silika gel di dalam oven dapat menyebabkan terjadinya reaksi yang disajikan sebagai berikut (Andarini *et al.*, 2018):



Gel yang merupakan asam silikat ( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ) dikeringkan dalam oven sehingga menghasilkan silika berbentuk serbuk dan gas  $\text{H}_2\text{O}$  yang menguap karena adanya proses pengeringan dalam oven. Kelembapan produk dapat dipengaruhi oleh kadar  $\text{H}_2\text{O}$ . Hal ini dapat diatasi dengan proses pengeringan menggunakan oven kemudian di desikator (Renni, Mahatmanti and Widiarti, 2018). Hasil Rendemen silika dalam penelitian ini yaitu 63,4 %.



**Gambar 3.** Alumunium foil bekas Sumber (dokumen pribadi)



**Gambar 4.** Silika dari abu limbah daun nipah

### Sintesis Zeolit

Sintesis zeolit dalam penelitian ini menggunakan metode sol-gel hidrotermal. Sol-gel merupakan metode yang bekerja pada temperatur rendah dan melibatkan reaksi kimia yang merubah larutan homogen dari sol (prekursor reaktan molekul) menjadi gel (polimer tiga dimensi) (Rahman, 2019). Metode hidrotermal dalam proses sintesis zeolit merupakan suatu proses kristalisasi dalam sistem tertutup dengan perlakuan suhu > 100°C dan tekanan > 1 atm (Eviva *et al.*, 2023).

Terdapat dua rasio dalam pembuatan zeolit sintesis yaitu rasio 1 dan rasio 2 (komposisi massa bahan-bahan untuk proses sintesis zeolit disajikan dalam tabel 2 (bagian metodologi penelitian). Zeolit sintesis merupakan senyawa kimia yang dibuat persis menyerupai zeolit alam baik dari sifat fisik maupun kimianya. Tahapan dalam pembuatan zeolit sintesis meliputi pencampuran atau homogenisasi bahan, pemeraman, proses kristalisasi (hidrotermal), pencucian zeolit sintesis dan pengeringan zeolit sintesis.

Proses sintesis zeolit dilakukan dengan dicampurnya silika (hasil ekstraksi abu limbah daun nipah), alumunium foil bekas, NaOH dan aquades. Campuran tersebut kemudian diaduk dengan *stirrer* selama 2 jam dengan kecepatan 520 rpm pada suhu ruang. Berikut merupakan reaksi yang terjadi selama proses pencampuran bahan-bahan tersebut berlangsung (pada tahap hidrolisis) (Bahri, 2015) :



Reaksi diatas terjadi proses hidrolisis yaitu terpecahnya  $\text{SiO}_2$  dari abu limbah daun nipah dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dari alumunium foil bekas sebagai prekursor dengan ditambahkannya air pada kondisi basa menghasilkan sol (larutannya mengandung koloid yang memiliki padatan tersuspensi) (Eviva, Shofiyani and Sayekti, 2023).

Ditambahkannya pada kondisi basa menyebabkan dihasilkannya sol (larutannya mengandung koloid yang memiliki padatan tersuspensi) menyebabkan reaksi berupa terhidrolisisnya bahan prekursor, kemudian dilanjutkan proses polikondensasi atau transisi sol

menjadi gel (Bahri, 2015). Proses sintesis melibatkan NaOH yang memiliki peran sebagai *metalizer* (materi pendukung) dan sebagai *mineralizer* selama proses pencampuran dan peleburan bahan-bahan reaktan sehingga garam aluminat dan garam silikat yang larut dalam air dapat terbentuk (Deviani *et al.*, 2018).

Tahapan pembentukan inti dan pertumbuhan kristal dalam sintesis zeolit yaitu pemeraman sehingga reaktan dapat terhomogenisasi (Arifah, 2018). Pemeraman dilakukan selama kurang lebih 12 jam. Matangnya gel tersebut dapat terjadi karena adanya reaksi berupa terbentuknya gel yang memiliki jaringan yang kuat dan kaku serta menyusut dalam larutan (Zahro *et al.*, 2015).

Gel yang terbentuk selanjutnya di lakukan proses hidrotermal pada 150 °C selama 8 jam sehingga keseragaman susunan kristal zeolit dapat terbentuk dan terjadi peningkatan kristalinitas. Proses hidrotermal menyebabkan terbentuknya kerangka kristal zeolit sintesis karena adanya kesetimbangan cairan dan uap di dalam reaktor sehingga terjadi reaksi kondensasi dan polimerisasi yaitu terbentuknya ikatan Si-O-Al (Ghozali *et al.*, 2021). Selanjutnya larutan lewat jenuh, embrio inti kristal, gel amorf sisa akan terjadi kesetimbangan dalam keadaan metastabil. Embrio inti yang merupakan sumber terbentuknya kristal akan tumbuh hingga gel amorf sisa habis sehingga terjadinya keadaan stabil pada kristal dapat terbentuk apabila terjadi gel amorf sisa yang larut kembali (Zahro *et al.*, 2015).

Kristal yang dihasilkan dari proses hidrotermal tersebut selanjutnya dikeringkan menggunakan oven selama 3 jam pada suhu 120 °C sehingga air atau kelembapan dari zeolit sintesis dapat hilang, hal ini akan menyebabkan permukaan zeolit sintesis menjadi lebih luas.

Sintesis zeolit dalam penelitian ini menghasilkan zeolit sintesis berwarna putih untuk Zeolit Sintesis Rasio 1 (ZSR-1) dan berwarna putih tulang (krem) untuk Zeolit Sintesis Rasio 2 (ZSR-2), kedua zeolit sintesis tersebut memiliki bentuk yang sama yaitu partikel serbuk atau *powder*. Berikut merupakan gambar 5 yaitu produk ZSR 1 dan ZSR 2 yang berhasil di sintesis.

Sintesis zeolit dalam penelitian ini menghasilkan Rendemen Zeolit Sintesis Rasio-1 (ZSR-1) dan Zeolit Sintesis Rasio-2 (ZSR-2) secara

berturut-turut yaitu 93,99 % dan 34,78 %. Perbedaan nilai rendemen dari kedua zeolit sintesis tersebut dipengaruhi oleh massa alumunium foil bekas yang merupakan salah satu bahan prekursor dalam pembuatan zeolit sintesis. Massa alumunium foil bekas ZSR-1 lebih banyak yaitu 8,162 gram jika dibandingkan dengan massa alumunium foil bekas ZSR-2 yang hanya 4,081 gram. Sehingga hal ini dapat mempengaruhi nilai rendemen dari zeolit sintesis yang dihasilkan.

**Analisis Gugus Fungsi Zeolit Sintesis**

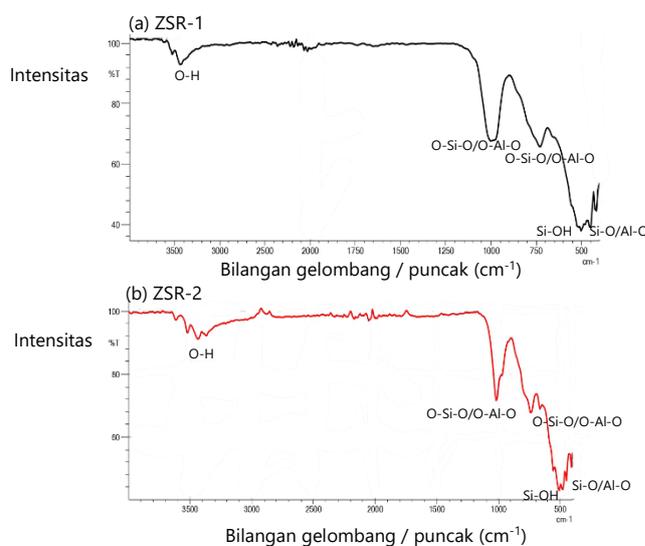
Gugus fungsi zeolit sintesis dianalisis menggunakan spektrofotometer FTIR sehingga dapat diketahui karakterisasi serapan bilangan

gelombang oleh zeolit sintetik (Kafillah and Alimuddin, 2018). Berikut merupakan hasil karakteristik Zeolit Sintesis Rasio 1 (ZSR 1) dan Zeolit Sintesis Rasio 2 (ZSR 2) menggunakan spektrofotometer FTIR.

Berdasarkan gambar 6, dapat diketahui bahwa ZSR 1 dan ZSR 2 telah terbentuk kerangka zeolit berupa aluminasilikat. Hal ini dibuktikan munculnya bilangan gelombang pada daerah 1100-1000  $cm^{-1}$  yaitu bilangan gelombang ZSR 1 sebesar 1018,4  $cm^{-1}$  dan bilangan gelombang ZSR 2 sebesar 1002,9  $cm^{-1}$ . Menurut Sudiyono, (2016) menyatakan bahwa terbentuknya kerangka zeolit berupa aluminasilikat ditandai dengan adanya



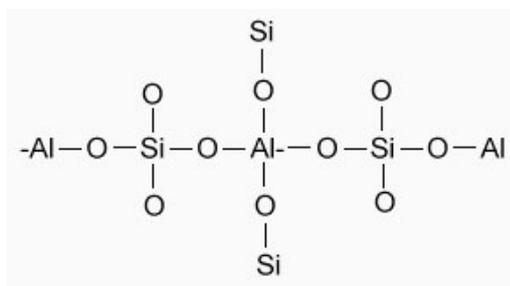
**Gambar 5.** Produk ZSR 1 dan ZSR 2



**Gambar 6.** Spektra FTIR dari ZSR-1 dan ZSR-2

bilangan gelombang pada daerah spektra FTIR yaitu sekitar  $1100-1000\text{ cm}^{-1}$ . Menurut daerah serapan  $1015,83$  merupakan vibrasi ulur dari gugus fungsi Si-O-Si yang mengindikasikan adanya kerangka alumina silikat dalam zeolit (Haq, 2021). Pernyataan tersebut diperkuat penelitian Zahro *et al.*, (2015) yang menyatakan bahwa bilangan gelombang  $1200-300\text{ cm}^{-1}$  merupakan daerah serapan infra merah khas atau pertanda terbentuknya zeolit karena memuat kerangka zeolit yaitu vibrasi dasar kerangka tetrahedral ( $\text{SiO}_4/\text{AlO}_4$ ) yang disajikan pada Gambar 7.

Karakter aluminosilikat yang merupakan struktur zeolit memiliki jaringan internal dan eksternal zeolit. Daerah serapan  $540-440\text{ cm}^{-1}$ ,  $650-720\text{ cm}^{-1}$  dan  $1100-1000\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan jaringan internal zeolit. Daerah serapan  $540-440\text{ cm}^{-1}$  mewakili vibrasi tekuk Si-O/Al-O pada kerangka aluminosilikat. Daerah serapan yang mewakili getaran ulur simetri internal O-Si-O/O-Al-O muncul pada sekitar bilangan gelombang  $720-650\text{ cm}^{-1}$  sedangkan yang mewakili vibrasi ulur asimetri internal O-Si-O/O-Al-O muncul pada sekitar bilangan gelombang  $1100-1000\text{ cm}^{-1}$ . Sedangkan yang termasuk jaringan eksternal zeolit yaitu daerah serapan  $650-500\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan karakter spesifik cincin ganda. Menurut Zahro *et al.*, (2015) lapisan antara zeolit satu dengan yang lainnya yang merupakan kerangka zeolit pada jaringan eksternal merupakan karakter spesifik dari cincin ganda. Zeolit Sintesis Rasio 1 (ZSR-1) dan Zeolit Sintesis Rasio 2 (ZSR-2) dalam penelitian ini telah memenuhi semua spektra pada daerah serapan indikator terbentuknya zeolit sintesis yang telah dijelaskan diatas. Hal ini diperkuat dengan Tabel 6 yang merupakan interpretasi spektra IR Zeolit Sintesis Rasio 1 (ZSR-1) dan Zeolit Sintesis Rasio 2 (ZSR-2).



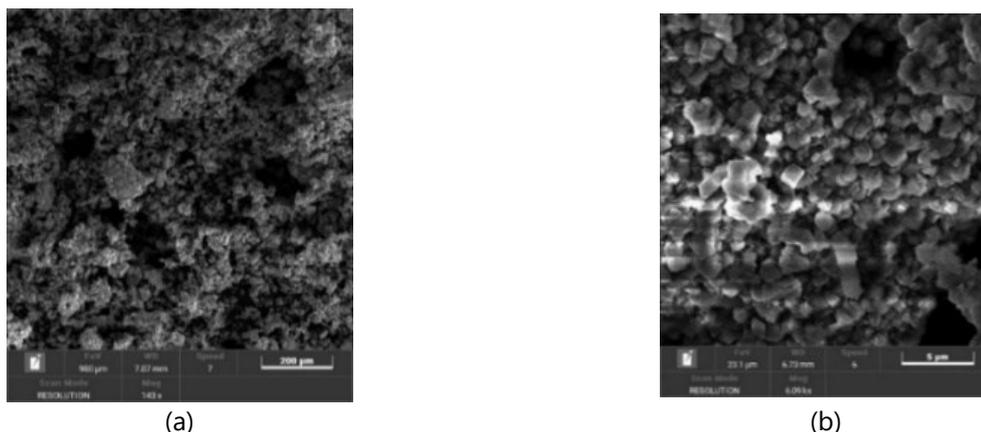
**Gambar 7.** Struktur kerangka zeolit  
Sumber : Rota Mining Corporation, (2022)

Berdasarkan tabel 6 yang memuat data spektra zeolit sintesis hasil analisis FTIR maka dapat diketahui pengaruh variasi molar Si/Al terhadap intensitas panjang gelombang yang dihasilkan. Menurut Widiawati dalam penelitian Zahro *et al.*, (2015) menyatakan bahwa daerah absorpsi  $650-800\text{ cm}^{-1}$  (getaran ulur simetri internal O-Si-O/O-Al-O) merupakan panjang gelombang yang dapat memberikan keterangan terkait pengaruh variasi rasio Si/Al dari zeolit sintesis. Apabila suatu zeolit memiliki frekuensi vibrasi atau getaran di daerah serapan  $650-800\text{ cm}^{-1}$  yang lebih besar maka zeolit tersebut mengandung rasio Si/Al yang tinggi pula. Hal ini dikarenakan adanya pergeseran spektra zeolit yang disebabkan oleh berkurangnya jumlah Al jika dibandingkan dengan Si sehingga intensitas Al-O menjadi berkurang yang berakibat terjadinya pergeseran puncak ke frekuensi vibrasi yang lebih tinggi yaitu daerah frekuensi getaran Si-O. Berdasarkan tabel 6 dapat diketahui bahwa Panjang gelombang ZSR-2 pada getaran ulur simetri internal O-Si-O/O-Al-O lebih tinggi yaitu  $725,23\text{ cm}^{-1}$  jika dibandingkan dengan ZSR-1 yaitu  $663,51\text{ cm}^{-1}$ . Hal ini menunjukkan indikasi bahwa ZSR-2 memiliki rasio Si/Al lebih tinggi jika dibandingkan dengan ZSR-1. Menurut Sudiyono, (2016) menyatakan bahwa Semakin tinggi atau tajam intensitas suatu daerah absorpsi menunjukkan semakin banyak getaran dari gugus fungsi yang terbentuk akibatnya zeolit yang terbentuk semakin banyak. Hasil analisis FTIR ini menunjukkan bahwa ZSR-2 lebih optimum jika dibandingkan dengan ZSR-1.

### Analisis Morfologi Permukaan dan Komposisi Unsur Kimia Zeolit Sintesis

Zeolit Sintesis Rasio 1 (ZSR-1) dan Zeolit Sintesis Rasio 2 (ZSR-2) telah di analisis menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) menghasilkan data morfologi permukaan dan komposisi unsur kimia dari zeolit sintesis rasio 1 dan 2. Berikut merupakan Gambar 8 yaitu morfologi permukaan dari zeolit sintesis rasio 1.

Zeolit Sintesis Rasio 1 pada gambar 8 memiliki bentuk yang tidak beraturan dengan rata-rata diameter partikel zeolit sintesis sebesar  $58,754\text{ }\mu\text{m}$ . Sedangkan bentuk zeolit sintesis rasio 2 merupakan kubus dengan rata-rata diameter partikel zeolit yaitu  $1.438,2\text{ }\mu\text{m}$ . Berikut merupakan tabel komposisi unsur kimia dari zeolit sintesis rasio 1 dan rasio 2 berdasarkan hasil analisis EDX.



**Gambar 8.** (a) Hasil uji SEM ZSR-1, (b) Hasil uji SEM ZSR-2

**Tabel 3.** Interpretasi spektra zeolit sintesis

No	Bil. Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )		Bil. Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ) *Referensi (Sudiyono, 2016)	Keterangan
	Zeolit Sintesis Rasio (ZSR)			
	1	2		
1	3433,3	3433,3	3600 – 3100	O-H uluran
2	1643,4	1627,3	1650 - 1600	Vibrasi molekul air/pita penguraian (Si-OH)
3	1018,4	1002,9	1100-1000	Vibrasi ulur asimetri internal O-Si-O/O-Al-O
4	663,51	725,23	720-650	Vibrasi ulur simetri internal O-Si-O/O-Al-O
5	509,21	516,92	650-500	Cincin ganda
6	478,35	501,49	540-440	Vibrasi tekuk Si-O/Al-O
7	663,51	725,23	620-900	Si-OH

(Gunawan *et al.*, 2019)

Berdasarkan Tabel 7 dapat diketahui bahwa ZSR-1 dan ZSR-2 merupakan jenis zeolit yang kaya akan alumunium. Hasil analisis EDX menunjukkan persentase berat Al lebih tinggi jika dibandingkan persentase Si baik untuk ZSR-1 maupun ZSR-2 dengan nilai Al secara berturut-turut yaitu 31,72 % dan 26,97 %. Hal ini dikarenakan saat proses sintesis zeolit, bahan prekursor Al lebih besar massanya jika dibandingkan dengan massa prekursor Si.

Rasio Si/Al dari Zeolit Sintesis Rasio 2 (ZSR-2) lebih tinggi yaitu 0,25 % jika dibandingkan dengan rasio Si/Al dari Zeolit Sintesis Rasio 1 (ZSR-1) yang hanya yaitu 0,07 %. Rendahnya rasio Si/Al dari kedua zeolit tersebut diakibatkan karena persentase jumlah Al dalam kerangka zeolit sintesis lebih dominan jika dibandingkan dengan

persentase jumlah Si sehingga menyebabkan terbentuknya zeolit sintesis dengan kandungan alumunium yang tinggi. Berdasarkan penelitian dari Lutz, (2014) menyatakan bahwa zeolit NaX dan NaY merupakan jenis zeolit sintesis yang kaya akan kandungan alumunium, memiliki pori yang besar sehingga berpotensi dijadikan sebagai adsorben. Hal ini diperkuat dengan hasil SEM zeolit ZSR-1 yang memiliki bentuk tidak beraturan menyerupai zeolit NaX. Menurut Hasanah, (2018) zeolit NaX memiliki morfologi yang tidak beraturan. Sedangkan bentuk zeolit sintesis rasio 2 yaitu kubus, zeolit yang memiliki bentuk ini merupakan jenis zeolit NaY (Conato *et al.*, 2015). Zeolit NaY memiliki pori yang besar sehingga berpotensi dijadikan sebagai adsorben, katalis dan penukar ion (Sudiyono, 2016). ZSR-1 dan ZSR-2 berpotensi

**Tabel 4.** Komposisi unsur kimia ZSR-1 dan ZSR-2

No	Zeolit Sintesis Rasio (ZSR)	Unsur Kimia (% berat)			
		Si	Al	Na	O
1	ZSR-1	2,37	31,72	3,13	62,78
2	ZSR-2	6,81	26,97	7,29	58,93

Data : Hasil analisis EDX di Laboratorium Fisika Politeknik Negeri Cilacap

dijadikan sebagai adsorben untuk menyerap logam berat. Hal ini dibuktikan dengan data EDX yang menghasilkan rasio Si/Al 0,25 % untuk ZSR-2 dan rasio 0,07 % untuk ZSR-1, kedua zeolit tersebut masuk dalam kategori zeolit sintesis dengan kadar Si rendah (memiliki kandungan alumunium tinggi). Zeolit sintesis dengan kadar Si rendah mengandung Al yang tinggi, berpori sehingga berpotensi dijadikan sebagai adsorben. (Mahaddilla dan Putra, 2013).

Zeolit sintesis rasio 2 lebih potensial dan optimal jika dibandingkan dengan zeolit sintesis rasio 1. Keunggulan ZSR-2 jika dibandingkan dengan ZSR-1 telah terbukti dengan hasil uji FTIR dan SEM-EDX. Jenis zeolit sintesis rasio 2 dengan bentuk kubus merupakan zeolit NaY dan jenis zeolit sintesis rasio 1 dengan bentuk tidak beraturan merupakan zeolit NaX. Zeolit NaY memiliki ukuran pori lebih besar jika dibandingkan dengan zeolit NaX sehingga zeolit NaY berpotensi dijadikan sebagai adsorben, katalis dan penukar ion (Sudiyono, 2016). Hal ini diperkuat dengan hasil uji EDX, rasio Si/Al ZSR-2 lebih tinggi yaitu 0,25 % jika dibandingkan dengan ZSR-1 yang hanya 0,07 %. Pernyataan ini didukung Kiti, (2012) yang menyatakan rasio molar Si/Al zeolit NaY lebih besar jika dibandingkan dengan zeolit NaX sehingga pada temperatur tinggi zeolit NaY lebih stabil dan lebih aktif jika dibandingkan dengan zeolit NaX.

## KESIMPULAN

Karakteristik zeolit sintesis berbahan baku limbah daun nipah dan alumunium foil bekas berdasarkan hasil uji FTIR menyatakan bahwa Zeolit Sintesis Rasio 1 (ZSR-1) dan Zeolit Sintesis Rasio 2 (ZSR-2) memenuhi semua spektra pada daerah serapan indikator terbentuknya zeolit sintesis. Karakteristik zeolit sintesis berdasarkan hasil uji SEM menunjukkan ZSR-1 termasuk kategori zeolit NaX sedangkan ZSR-2 termasuk kategori zeolit NaY. Karakteristik zeolit sintesis berdasarkan hasil

uji EDX menunjukkan bahwa ZSR-1 dan ZSR-2 termasuk kategori zeolit yang memiliki kandungan alumunium tinggi dengan nilai rasio Si/Al 0,07 % untuk ZSR-1 serta 0,25 % merupakan nilai rasio Si/Al dari ZSR-2. Karakteristik ZSR-2 lebih baik dan optimum dibandingkan ZSR-1. Hasil uji FTIR menunjukkan panjang gelombang ZSR-2 pada getaran ulur simetri internal O-Si-O/O-Al-O lebih tinggi yaitu  $725,23 \text{ cm}^{-1}$  jika dibandingkan ZSR-1 yang hanya  $663,51 \text{ cm}^{-1}$ . Hasil EDX menunjukkan hasil rasio Si/Al untuk ZSR-2 lebih besar yaitu 0,25 % jika dibandingkan rasio Si/Al dari ZSR-1 yang hanya 0,07 %. Sedangkan berdasarkan hasil uji morfologi menggunakan SEM menunjukkan Zeolit NaY (ZSR-2 yang berbentuk kubus) memiliki pori yang lebih besar jika dibandingkan zeolit NaX (ZSR-1 yang memiliki bentuk tidak beraturan).

## DAFTAR PUSTAKA

- Andarini, N., Haryati, T. & Yulianti, R. 2018. Pemurnian Silikon (Si) Hasil Reduksi Silika dari Fly Ash Batubara, *Berkala Sainstek*, 6(1): 49–54.
- Arifah, A. 2018. Sintesis Zeolit NaX dari Kaolin Blitar dengan Alkali Fusi Menggunakan Metode Hidrotermal dan Sonikasi Variasi Waktu Kristalisasi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Bahri, S. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit X dari Abu Vulkanik Gunung Kelud dengan Variasi Rasio Molar Si/Al menggunakan Metode Sol-Gel. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, pp. 22–24.
- Conato, M.T., Oleksiak, M.D., McGrail, P., Motkuri, R. K., & Rimer, J.D. 2015. Framework Stabilization of Si-rich LTA Zeolite Prepared in Organic-Free Media. *Chem*, 51: 269-272.
- Delarozza, R. 2018. Adsorpsi logam berat menggunakan adsorben alami pada air limbah industri. Universitas Trisakti Jakarta Indonesia.
- Deviani, S.S., Mahatmanti, F.W. & Widiarti, N. 2018. Sintesis Dan Karakterisasi Zeolit Dari Abu

- Sekam Padi Menggunakan Metode Hidrotermal, *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(1): 86–93.
- Eviva, N., Shofiyani, A. & Sayekti, E. 2023. Sintesis Zeolit NaP Berbahan Dasar Red Mud Bauksit Menggunakan Metode Hidrotermal pada Variasi Rasio Mol SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Positron*, 13(1): 77–85. <https://doi.org/10.26418/positron.v13i1.60099>.
- Fitriana, L. 2018. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit NaX dari Kaolin Blitar dengan Pre-Treatment Alkali Fusi Menggunakan Metode Hidrotermal Variasi Suhu Kristalisasi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Fitriyah & Krisnandi, Y.K. 2023. Review: Sintesis Zeolit dari Bahan Alam dan Limbah Buangan. *Serambi Engineering*, 8(3): 6200–6207.
- Ghozali, M., Tanaka, G., Misbahussalam, M., & Paramitha, T. 2021. Pengaruh Waktu Hidrotermal terhadap Karakteristik Zeolite Socony Mobile-5 (ZSM-5) Tanpa Template Menggunakan Reaktor Autoclave. *Kovalen: Jurnal Riset Kimia*, 7(3): 208–213.
- Gunawan, G.M. Suhendar, D., Sundari, C.D.W., Ivansyah, A.L., Setiadji, S., & Rohmatulloh, Y. 2019. Sintesis Zeolit Silikalit-1 Menggunakan Limbah Tongkol Jagung sebagai Sumber Silika. *Al-Kimiya*, 4(2): 91–99. <https://doi.org/10.15575/ak.v4i2.5089>.
- Hamriani, S. 2021. Karakterisasi Zeolit Sintetik Dari Ampas Tebu (Baggase) Dan Aluminium Foil Serta Aplikasinya Terhadap Pertumbuhan Sawi (Brassica Juncea L). Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Haq, M. 2021. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit dari Tongkol Jagung (Zea Mays L.) dan Aluminium Foil serta Aplikasinya Terhadap Penurunan Kadar Amoniak pada Feses Ayam. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
- Hartati, H. 2019. Sintesis Zeolit ZSM-5 dari Metakaolin Terdealuminasi Tanpa Cetakan Organik dengan Metode Desilikasi. *Akta Kimia Indonesia*, 4(1): p. 63. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v4i1.5046>.
- Ishmah, S.N. Permana, M.D., Firdaus, M.L., Eddy, D.R. 2020. Extraction of Silica from Bengkulu Beach Sand using Alkali Fusion Method. *PENDIPA: Journal of Science Education*, 4(2): 1–5.
- Kafillah, M. & Alimuddin, A.H. 2018. Sintesis dan karakterisasi zeolit analisim menggunakan prekursor silika dari limbah kaca. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 7(1):73-78.
- Kharisma, W.N. & Munasir. 2023. Sintesis Material Zeolit NaA untuk Komposisi SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Bervariasi dengan Metode Hidrotermal. *Inovasi Fisika Indonesia*, 12(1): 14–23.
- Kiti. 2012. Synthesis of Zeolites and Their Application to the Desalination of Seawater. Kwame Nkrumah University of Science and Technology Kumasi.
- Kurniawidi, D.W., Alaa, S., Mulyani, S., Rahayu, S. 2021. Sintesis Zeolit dari Batu Apung (Pumice) Daerah Ijobalit Lombok Timur sebagai Adsorben Logam Fe. *ORBITA: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 7(2): 313–317.
- Mahaddilla, F.M. & Putra, A. 2013. Pemanfaatan Batu Apung Sebagai Sumber Silika Dalam Pembuatan Zeolit Sintetis. *Fisika Unand*, 2(4): 262–268.
- Masoudian, S.K., Sadighi, S. & Abbasi, A. 2013. Synthesis and characterization of high aluminum zeolite X from technical grade materials. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 8(1): 54–60. <https://doi.org/10.9767/bcrec.8.1.4321.54-60>.
- Mujiyanti, D.R., Ariyani, D. & Paujiah, N. 2021. Kajian Variasi Konsentrasi NaOH dalam Ekstraksi Silika dari Limbah Sekam Padi Banjar Jenis "Pandak". *Sains dan Terapan Kimia*, 15(2): 143–153. <https://doi.org/10.20527/jstk.v15i2.10373>.
- Nugroho, A. & Redjeki, A.S. 2015. Pengaruh Waktu Pemanasan pada Pembuatan Senyawa Alum dari Limbah Foil Blister Untuk Keperluan Industri Farmasi. *Konversi*, 4(2): 1–8.
- Oktavianty, H., Sunardi, S. & Wardani, R.M.A.A.S. 2021. Sintesis Zeolit Dari Ekstrak Sekam Padi Dan Kaleng Bekas Sebagai Adsorben Penurunan Kesadahan Air. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 9(2): 185–192. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v9i2.293>.
- Putra, R., Elvia, R. & Amir, H. 2022. Sintesis silika-kitosan untuk menurunkan kadar ion besi dalam air permukaan. *Alotrop*, 6(1): 1–9.
- Rahman, P.A. 2019. Pengaruh Variasi Konsentrasi Prekursor dan Polyethylene Glycol Terhadap Karakterisasi Nanopartikel Zinc Oxide dengan Metode Sol-Gel. Universitas JEMBER.
- Renni, C.P., Mahatmanti, F.W. & Widiarti, N. 2018. Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi sebagai Adsorben Ion Logam Fe (III) dan Cr (VI).

- Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(1): 65–70.
- Setyowati, D., Sriyanti & Suhartana. 2022. Pengaruh Variasi D-Glukosa sebagai Template terhadap Karakter Silika Hasil Sintesis Abu Sekam Padi untuk Uji Adsorpsi-Desorpsi Urea. *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, 2(2): 18-22.
- Siregar, E.. & Nasution, M. 2020. Dampak Aktivitas Ekonomi Terhadap Pencemaran Lingkungan Hidup (Studi Kasus Di Kota Pejuang, Kotanopan). *Jurnal Education and Development*, 8(4): 589–593.
- Sudiyono, D.A. 2016. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit NaY sebagai Pengemban Senyawa Antikanker Hasil Ekstrak Etanol Akar Rumpun Bambu (*Lophatherum gracile Brongn*). Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Suparto, Oramahi, H. & Sisilia, L. 2019. Pemanfaatan Nipah (*Nypa Frutican Wurmb*) Di Dusun Suka Maju Desa Sungai Sepeti Kecamatan Seponti Kabupaten Kayong Utara. *Hutan Lestari*, 7(1): 229–236.
- Tamunaidu, P. & Saka, S. 2011. Chemical characterization of various parts of nipa palm (*Nypa fruticans*). *Industrial Crops and Products*, 34(3): 1423–1428. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.04.020>.
- Utami, T.F.Y., Setia, D. & Nurfatimah, R. 2022. Evaluasi Sediaan Krim dan Uji Toksisitas Akut Ekstrak Daun Nipah (*Nypa fruticans Wurmb*) Daerah Cilacap Dengan Fase Minyak VCO Sebagai Kandidat Antibakteri. *Indonesian Journal of Pharmacy and Natural Product*, 05(01): 82–90.
- Zahro, A., Amalia, S., Adi, T.K., & Aini, N. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Y dari Abu Ampas Tebu Variasi Rasio Molar SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Metode Sol Gel Hidrotermal. *Alchemy*, 3(2): 108–117. <https://doi.org/10.18860/al.v0i1.2912>.
- Zanin. 2017. Adsorption of heavy metals from wastewater graphic industry using clinoptilolite zeolite as adsorbent. *Process Safety and Environmental Protection*, 105: 194–200.