



KOVALEN: Jurnal Riset Kimia

<https://bestjournal.untad.ac.id/index.php/kovalen>



Sintesis dan Karakterisasi Zeolit X dari *Fly Ash* Batu Bara Menggunakan Metode Sintesis pada Suhu Rendah

[Synthesis and Characterization of Zeolite X From Fly Ash Waste Using Synthesis Method at Low Temperature]

Yuried Diilan Rieswana, Aurela Naura Aisyah, Sani✉, Suprihatin

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Jl. Raya Rungkut Madya No. 1, Gunung Anyar, Surabaya

Abstract. Many industries in Indonesia have switched to using coal fuel. The use of coal at PT PLTU Paiton has reached 250 tons per hour and produces 4% of waste by-products of combustion contained from bottom ash by 25% and fly ash by 75%. Fly ash waste will harm the environment and health. Fly ash contains many components, including SiO₂ 52%, Al₂O₃ 31.86%, Fe₂O₂ 4.89%, CaO 2.68%, and MgO 4.66%. This research aims to synthesize and characterize zeolite X from PT Paiton fly ash using a low-temperature synthesis method. Zeolite X synthesis in this study has 3 steps: The pretreatment process, silica synthesis process, and zeolite synthesis process. The results of silica synthesis obtained SiO₂ 55.54%. The resulting zeolite product has a typical peak at 2θ 28.72. Zeolite x has a wavelength of 430, 570, 695,7, and 965,7, which respectively indicates Si-O-Si and Si-O-Al bonds, double ring bonds, T-O ring symmetric strain (internal), and asymmetric (internal). The results of zeolite X crystal synthesis in this study could not be formed in the variable of adding time of 3-5 hours with a variation of moles of Al₂O₃ 0,5-1,5 moles.

Keywords: Coal, fly ash, zeolite X, PT PLTU Paiton

Abstrak. Banyak industri di Indonesia telah beralih menggunakan bahan bakar batubara. Pemakaian batu bara di PT PLTU Paiton telah mencapai 250 ton per jam dan menghasilkan 4% limbah produk sampingan pembakaran yang terdiri dari *bottom ash* sebesar 25% dan *fly ash* sebesar 75%. Limbah *fly ash* akan merugikan lingkungan dan kesehatan. *Fly ash* mengandung banyak komponen diantaranya SiO₂ 52%, Al₂O₃ 31,86%, Fe₂O₂ 4,89%, CaO 2,68%, dan MgO 4,66%. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi zeolit X dari *fly ash* PT Paiton dengan menggunakan metode sintesis pada suhu rendah. Sintesis zeolit X pada penelitian ini memiliki 3 langkah : Proses persiapan bahan baku, proses sintesis silika, dan proses sintesis zeolit. Hasil sintesis silika diperoleh kadar SiO₂ sebanyak 55,6%. Produk zeolit yang dihasilkan memiliki puncak khas pada 2θ 28,72. Produk zeolit X memiliki panjang gelombang ; 430; 570; 695,7 ; dan 965,7 yang secara berturut mengindikasikan ikatan Si-O-Si dan Si-O-Al , ikatan cincin rangkap, tegangan asimetris cincin T-O (internal), dan asimetris (internal). Hasil sintesis kristal zeolit X pada penelitian ini belum bisa terbentuk pada variabel penambahan waktu 3 – 5 jam dengan variasi mol Al₂O₃ 0,5 – 1,5 mol.

Kata kunci: Batu bara, fly ash, zeolit X, PT PLTU Paiton

Diterima: 25 Februari 2024, Disetujui: 13 Juni 2024

Sitasi: Rieswana, Y. D., Aisyah, A. A., Sani, dan Suprihatin. (2024). Sintesis dan Karakterisasi Zeolit X dari Fly Ash Batu Bara Menggunakan Metode Sintesis pada Suhu Rendah. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 10(2), 104-113.

✉ Corresponding author

E-mail: sani.tk@upnjatim.ac.id

<https://doi.org/10.22487/kovalen.2024.v10.i2.17028>



2477-5398/ © 2024 Rieswana et al.
This is an open-access article under the CC BY-SA license.

LATAR BELAKANG

Banyak industri di Indonesia telah beralih menggunakan bahan bakar batu bara. Hal ini dikarenakan tingginya harga bahan bakar minyak (BBM) yang mencapai 80% lebih mahal jika dibandingkan dengan harga bahan bakar batu bara (Wardhani, 2012). Batubara banyak digunakan dalam industri sebagai bahan bakar pembuatan uap yang dapat digunakan sebagai media pemanas atau pembangkit listrik. Sebagian besar batubara diaplikasikan di industri PLTU, salah satunya di industri PLTU PT Paiton. Pemakaian batu bara di PT PLTU Paiton mencapai 250 ton per jam dan menghasilkan pembakaran 4% limbah produk sampingan pembakaran yang mencakup bottom ash sebesar 25% dan *fly ash* sebesar 75% (Yerizam et al., 2017).

Fly ash adalah limbah padat dari sisa pembakaran batubara yang terbawa oleh gas buang yang kemudian ditangkap oleh perangkat kontrol udara. Penanggulangan *fly ash* selama ini hanya sebatas penimbunan sampah di area pabrik. Jika *fly ash* dibiarkan tanpa pengolahan lebih lanjut, limbah *fly ash* akan berdampak negatif bagi lingkungan dan kesehatan. *Fly ash* mengandung banyak komponen diantaranya SiO₂ 52%, Al₂O₃ 31,86%, Fe₂O₂ 4,89%, CaO 2,68%, dan MgO 4,66% (Khasanah & Budiono, 2022). Kandungan SiO₂ dan Al₂O₃ dalam *fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai komponen pembentukan zeolit.

Zeolit merupakan suatu material mineral berisi aluminosilikat terhidrasi yang mengandung alkali tanah atau alkali dalam kerangka tiga dimensi. Zeolit terbentuk karena proses deformasi yang terjadi di alam dari batuan vulkanik. Zeolit memiliki kandungan yang berbeda di setiap daerah. Di bidang

lingkungan, zeolit mampu menyerap limbah logam berat di perairan seperti Pb, Hg, dan Cd serta dapat mengurangi pencucian unsur nitrogen dalam tanah (Prasanto Bimantio et al., 2018). Dalam dunia industri, zeolit dapat digunakan sebagai katalis untuk alkilasi, isomerisasi, dan proses esterifikasi.

Zeolit X memiliki struktur tipe Faujasite. Zeolit tipe ini memiliki rasio Si/Al sekitar 1,5- 2. Struktur *Faujasite* terdiri dari bangunan *sodalite* yang terkoneksi dengan cincin 6 ganda atau *double 6 rings* (D6Rs) (Boer et al., 2023), yang membentuk *supercage* dengan jendela 12 MR (Boer et al., 2023). Zeolit X sering digunakan untuk adsorpsi CO₂ pada industri dikarenakan zeolit X mempunyai struktur yang spesial. Zeolit X mempunyai struktur *affinity quadrupole* yang cocok untuk molekul CO₂ sebagai adsorben dan pemisahan (Lu et al., 2022). Selain sebagai adsorben, zeolit X juga digunakan untuk proses pemisahan untuk memisahkan N₂ dari O₂ karena memiliki proses yang murah dibandingkan dengan menggunakan konsep *cryogenic distillation* (Pérez-Botella et al., 2022). Oleh karena pentingnya penggunaan zeolit X pada proses Industri, maka proses sintesis zeolit perlu diterapkan di Indonesia. Karena selama ini pabrik zeolit X belum dapat diproduksi di Indonesia.

Beberapa metode dapat digunakan untuk mensintesis zeolit X, metode yang banyak digunakan adalah metode fusi, metode *microwave*, metode ultrasonik, dan metode *hidrotermal*. Metode *hidrotermal* adalah salah satu metode yang umum diaplikasikan untuk proses kristalisasi zeolit. Metode *hidrotermal* adalah teknik kristalisasi yang menggunakan tekanan dan suhu tinggi, sehingga metode *hidrotermal* membutuhkan wadah *stainless steel* yang memiliki harga tinggi dan

membutuhkan banyak energi yang menyebabkan proses sintesis zeolit X tidaklah maksimal. Oleh karena itu, kelemahan dari metode *hidrotermal* harus diatasi salah satunya adalah menggunakan metode sintesis suhu rendah (Kadja et al., 2016).

Beberapa penelitian telah berhasil mensintesis zeolit X menggunakan bahan baku komersil. Pada penelitian Masoudian (2013) telah berhasil mensintesis zeolit X dari bahan baku kimia untuk teknis. Pada penelitiannya berhasil mensintesis zeolit X dengan rasio prekursor $\text{Al}_2\text{O}_3 : 4,5 \text{ Na}_2\text{O} : 3 \text{ SiO}_2 : 315 \text{ H}_2\text{O}$ pada temperatur suhu 75°C selama 4 jam (Masoudian et al., 2013). Pada Penelitian Ansari (2014) juga berhasil mensintesis zeolit NaX dari silika murni dengan rasio prekursor $5,5 \text{ Na}_2\text{O} : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 : 190 \text{ H}_2\text{O}$. menggunakan variasi waktu 0,5 ; 1 ; 2 ; 3 dan 4 jam pada suhu 90°C . Pada hasil penelitiannya menunjukkan zeolit Na-X pada waktu sintesis 4 jam memiliki tingkat kristanilitas 96% (Ansari et al., 2014). Zeolit X juga bisa disintesis menggunakan material alam untuk proses sintesisnya. Pada penelitian Krisnawati (2018) dapat mensintesis zeolit X dari abu sekam padi. Menggunakan metode *hidrotermal* pada suhu tinggi. Variable yang digunakan adalah suhu 100°C dengan 160°C . Hasil dari sintesis menunjukkan karakterisasi zeolit X pada panjang gelombang $466,91 \text{ cm}^{-1}$ (Krisnawati, 2018)

Berdasarkan pernyataan di atas bahwa *fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai zeolit, maka dilakukan sintesis dan karakterisasi zeolit X dari *fly ash* menggunakan suhu rendah. Penelitian ini memilih bahan baku *fly ash* karena selama ini belum dimanfaatkan secara maksimal dan disintesis pada suhu rendah untuk mengurangi beban penggunaan energi.

Strategi pada penelitian ini adalah mengadaptasi prosedur (Masoudian et al., 2013) Dengan memvariasikan rasio $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ (3 : 0,5 ; 3:0,75; 3 :1; 3:1,25; 3:1,5) mol dan dengan variasi waktu (3 : 3,5 : 4 : 4,5 : 5) jam. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis zeolit X dan mengetahui respon variasi penambahan Al_2O_3 dan penambahan waktu terhadap yield dari zeolit.

Diharapkan penelitian ini dapat memberi manfaat untuk mensintesis zeolit yang murah dari bahan baku limbah *fly ash* yang mengandung SiO_2 sebagai prekursor sintesis Zeolit X. Dengan menggunakan *fly ash* sebagai bahan baku zeolit, dapat mengurangi polusi pada lingkungan. Selain itu, penggunaan metode sintesis pada suhu rendah dapat mengurangi penggunaan energi dalam proses sintesis zeolit. Dengan demikian, dapat menggantikan kelemahan proses sintesis zeolit X secara *hidrotermal*. Dengan pemahaman tersebut, harga zeolit X dapat diproduksi dengan murah dan dapat bersaing di pasar dunia.

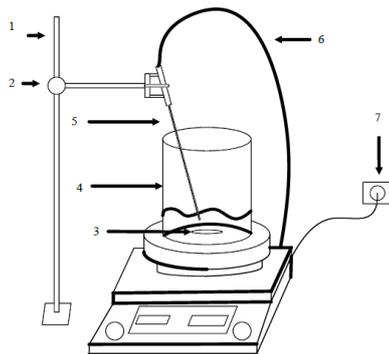
METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Material *fly ash* PT PAITON yang didapatkan di tokoh sortir malang. Bahan kimia seperti NaOH (Merck) , NaAlO_2 terkandung Al_2O_3 63-65% (Merck) , Aquadest yang didapatkan di tokoh kimia daerah Rungkut Surabaya serta HCl 37% untuk analisis.

Peralatan yang digunakan adalah *magnetic stirrer*, *hot plate*, gelas ukur, *beaker glass*, oven, botol polipropilen, dan corong kaca. Serta peralatan karakterisasi yaitu : XRD JOEL JDX-3530 *X-ray Diffractometer*, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Shimadzu

Instrument Spectrum One 8400S, serta *X-ray Fluorescence* (XRF) merk ED-Scientific.



Gambar 1. Rangkaian alat proses sintesis zeolit

Keterangan :

1. Statif
2. Klem
3. Magnetic stirrer
4. Beaker glass
5. Thermocouple
6. Kabel termocouple
7. Power outlet

Prosedur Penelitian

Sintesis Zeolit X pada penelitian ini dilakukan melalui 3 tahap, diantaranya adalah sebagai berikut :

Persiapan bahan baku

1 M larutan HCl 300 ml dimasukkan ke dalam beaker glass yang berisi 50 gram *fly ash*. kemudian, campuran dipanaskan dengan *magnetic stirrer* pada suhu 80°C dengan kecepatan 300 rpm selama 60 menit. Campuran disaring menggunakan kertas saring, selanjutnya *fly ash* yang sudah tersaring dicuci dengan aquadest hingga pH nya menjadi 7.

Sintesis silika

50 gram *fly ash* dari proses pretreatment dituangkan ke dalam beaker glass kemudian dicampur dengan 1 M NaOH sebesar 300 ml. kemudian, campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada 300 Rpm dan dipanaskan 80°C dengan waktu 2 jam. setelah itu, campuran disaring dengan kertas saring, filtrat

hasil penyaringan ditambahkan HCl sedikit demi sedikit hingga pHnya menjadi netral dan terbentuk gel gel silika. Silika gel kemudian disaring dikertas saring dan dicuci dengan aquadest hingga pHnya menjadi netral. Silika hasil pencucian kemudian dioven pada suhu 100°C, kemudian hasil silika dianalisa XRF.

Sintesis zeolit

Sintesis zeolit mengacu pada penelitian Masoudian *et al.*, (2013) .sejumlah 9 mol NaOH dilarutkan dalam 315 mol air hingga terlarut sempurna. Kemudian, melarutkan Al(OH)₃ (0,5 ; 0,75 ; 1 ; 1,25; dan 1,5) mol dan melarutkan SiO₂ *fly ash* 3 mol. Kemudian, memasukkan botol propilen ke oven untuk proses sintesis zeolit pada suhu 75°C selama (3; 3,5; 4; 4,5; dan 5) jam. Hasil sintesis kemudian disaring untuk mendapatkan endapan zeolit. Zeolit yang terbentuk kemudian dikeringkan sampai berat konstan pada suhu 100°C di dalam oven. Setelah kering, endapan zeolit dianalisa XRD, FTIR.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa XRF (*X-ray Fluorescence*) untuk mengetahui kandungan bahan baku awal pada *fly ash*, disajikan pada tabel berikut:

Tabel 1. Kandungan senyawa oksida pada *fly ash*

Kandungan	Kadar (%)
SiO ₂	25,4
Al ₂ O ₃	12
CaO	27,8
Fe ₂ O ₃	27,1
Lain-lain	7,5

Hasil XRF menunjukkan adanya kandungan silika pada bahan baku *fly ash* sebesar 25,4%. Kandungan abu terbang atau *fly ash* dapat digunakan sebagai bahan utama pembuatan zeolit.

Hasil Sintesis Silika

Fly ash kemudian diproses untuk menghilangkan impuritis dan meningkatkan kandungan silikanya. Adapun kandungan silika ditampilkan pada tabel berikut ini :

Tabel 2. Kandungan silika dalam satuan %

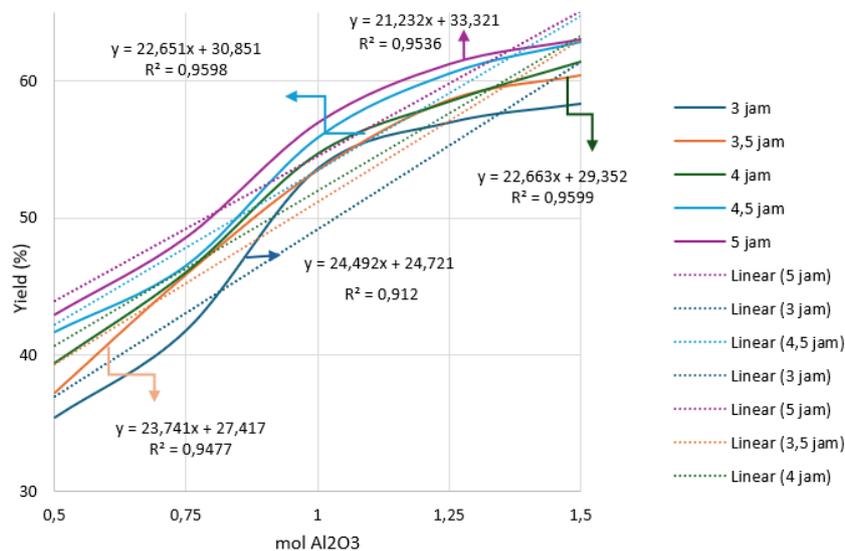
Kandungan	[1]	[2]	[3]
SiO ₂	55,54	69,8	70
Al ₂ O ₃	3,96	16,1	-
CaO	0,44	0,3	-
Fe ₂ O ₃	0,124	0,2	-
Cl	33,89	-	-

Ket : [1] : Penelitian ini ; [2] Penelitian (Hanawindhy, 2023)menggunakan bahan mineral tanah napa; [3] Penelitian (Kadja et al., 2017) menggunakan sekam padi

Hasil analisa menunjukkan kandungan silika dari *fly ash* mempunyai kadar SiO₂ yang tinggi yaitu 55,54% dan kandungan impurities seperti Fe₂O₃ dan CaO yang sudah berkurang. Akan tetapi, hasil dari penelitian ini memiliki kandungan SiO₂ yang paling rendah dibandingkan dengan penelitian (Hanawindhy, 2023) dan Penelitian (Kadja et al., 2017). Hal ini menunjukkan kandungan SiO₂ yang dapat disintesis pada masing-masing bahan sangat beragam dan metode dalam proses sintesis sangat mempengaruhi proses perolehan kandungan SiO₂. Serta dalam penelitian ini masih terkandung unsur Cl⁻ sisa dari pencucian yang masih belum bersih.

Hasil Sintesis Zeolit

Yield zeolit yang didapatkan dan disajikan pada Gambar 2



Gambar 2. Data hasil perhitungan yield zeolit pada berbagai penambahan mol Al₂O₃ dan waktu reaksi

Gambar 2 menjelaskan bahwa pada penambahan Al₂O₃ 0,5 mol – 1 mol Al₂O₃ didapatkan hasil yield yang meningkat tajam, Akan tetapi, pada penambahan Al₂O₃ 1 – 1,25 mol hasil kenaikan berkurang sedangkan pada penambahan Al₂O₃ 1,25– 1,5 mol hasil

kenaikan % yield kurang signifikan dan mendekati konstan. Hal tersebut disebabkan pada penambahan Al₂O₃ ,5 mol – 1 mol alkalinitas berperan penting dalam pembentukan zeolit. Apabila rasio Si dalam zeolit semakin besar maka alkalinitas akan

semakin rendah. Menurut (Yurike Ika Cahyo & Prasetyoko Didik, 2016) Jika alkalinitas semakin rendah, maka kelarutan silika dan alumina akan berkurang dan tingkat polimerisasi anion polisilikat dan aluminat meningkat, sehingga akan memperpanjang masa induksi dan waktu nukleasi mengakibatkan memperlambat tahap kristalisasi. Pada penambahan Al_2O_3 1 – 1,5 mol pembentukan zeolit melambat. Dikarenakan pada penambahan mol tersebut menyebabkan rasio Si/Al mendekati 2 dimana pada rasio tersebut fase zeolit x sudah terbentuk sempurna. Menurut penelitian (Anggoro, 2018) zeolit X memiliki rasio Si/Al = 1-2, Sehingga di rasio tersebut zeolit X akan maksimal terbentuk.

Pada waktu reaksi 3-5 jam dalam proses pembentukan zeolit memiliki kecenderungan bertambah seiring bertambahnya waktu reaksi semakin lama waktu reaksi yang menyebabkan intensitas kristalinitas sampel semakin besar hal itu disebabkan karena periode induksi yang semakin lama dapat memperbanyak ikatan Si dengan Al yang awalnya pada fase liquid menjadi fase kristal. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan (Hamid et al., 2020) waktu pembentukan zeolit terjadi ketika fase larutan ke mengalami transisi menjadi fase gel dan akhirnya menjadi fase padat. Tahap ini berjalan secara berkelanjutan dimulai dengan reaksi kondensasi dan diikuti oleh polimerisasi larutan jenuh untuk membentuk ikatan Si-O-Al, selama proses ini berlangsung akan terjadi keadaan stabil apabila terjadi ekuilibrium antara bibit inti kristal, gel amorf sisa, dan larutan lewat jenuh. Namun apabila gel amorf sisa larutan terlarut kristal akan terus terbentuk dari bibit tersebut hingga gel amorf sisa habis dan tercipta kristal dalam keadaan stabil.

Hasil Analisa Kualitatif XRD

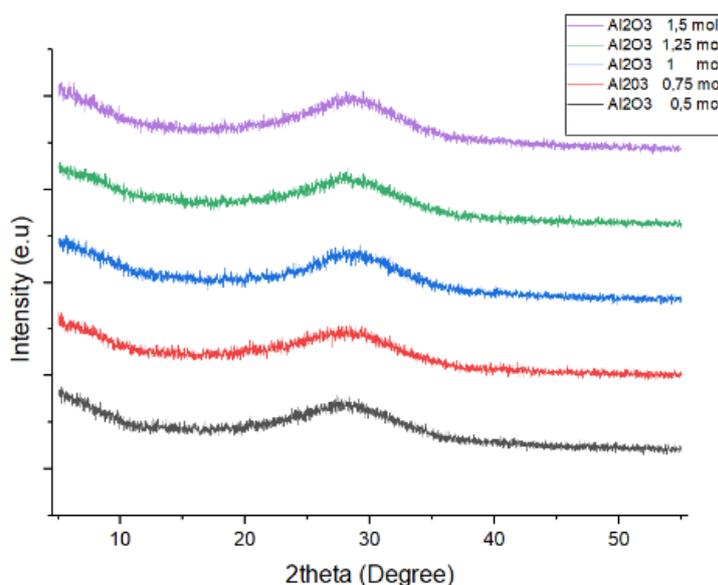
Difraksi sinar-X digunakan untuk karakterisasi dengan tujuan mengidentifikasi fase kristal serta mengukur intensitas hasil sintesis. Pola difraksi ditinjau dalam rentang sudut 2θ antara 5 hingga 55 derajat, menggunakan radiasi Cu $K\alpha$ dengan panjang gelombang 1,5406 Å. Hasil difraktogram sintesis yang didapat dicocokkan dengan titik puncak setiap sudut referensi zeolit standar.

Gambar 3 menunjukkan gambar puncak XRD yang terdapat pada sudut Hasil yang didapatkan kristal yang masih bersifat amorf dan belum sempurna dalam membentuk zeolit. Hal ini ditunjukkan dengan hasil penelitian yang hanya memiliki satu puncak yaitu pada penambahan mol 0,5 ; 0,75; 1 ; 1,25; 1,5 secara berturut-turut memiliki satu puncak pada sudut $27,9^\circ$; $28,161^\circ$; $28,608^\circ$; $28,618^\circ$; $28,715^\circ$. pada pembentukan zeolit x seharusnya memiliki puncak utama di sudut $2\theta = 6,10^\circ$; $15,39^\circ$, $23,24^\circ$, $26,58^\circ$ dan $30,86^\circ$ (Yao et al., 2021). Hal tersebut sesuai pernyataan (Kadja et al., 2016), dimana bila semakin rendah suhu kristalisasi pembentukan zeolit maka waktu yang dibutuhkan untuk membentuk kristal akan semakin lama. Pembentukan kristal zeolit antara rentang waktu 3-5 jam belum cukup untuk membentuk suatu zeolit X yang murni. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi belum maksimalnya pembentukan zeolit di penelitian ini disebabkan oleh suhu yang terlalu rendah dan waktu reaksi yang terlalu singkat sehingga pembentukan nukleasi kristal belum maksimal dan masih pada tahapan yang amorf Tahap pembentukan kristal, yang terjadi pada fase stabil ketika gel amorf mengalami penataan ulang struktural akibat pemanasan agar dapat terbentuk bibit intikristal, hal tersebut dipengaruhi oleh peningkatan periode

hidrotermal. Semakin lama waktu sintesis *hidrotermal*, semakin banyak bibit inti kristal terbentuk sehingga menghasilkan kristal yang lebih banyak. Fenomena ini disebabkan oleh kenaikan waktu *hidrotermal* yang meningkatkan presentase kritallinitas hingga titik tertentu akibatnya dapat mempercepat tingkat nukleasi dan laju pertumbuhan kristal (Kadja et al., 2016).

Tabel 3. Analisa puncak dari zeolit pada waktu reaksi 5 jam

Mol Al ₂ O ₃	Waktu (jam)	Sudut 2 θ
0,5	5	27,9
0,75	5	28,161
1	5	28,608
1,25	5	28,618
1,5	5	28,715



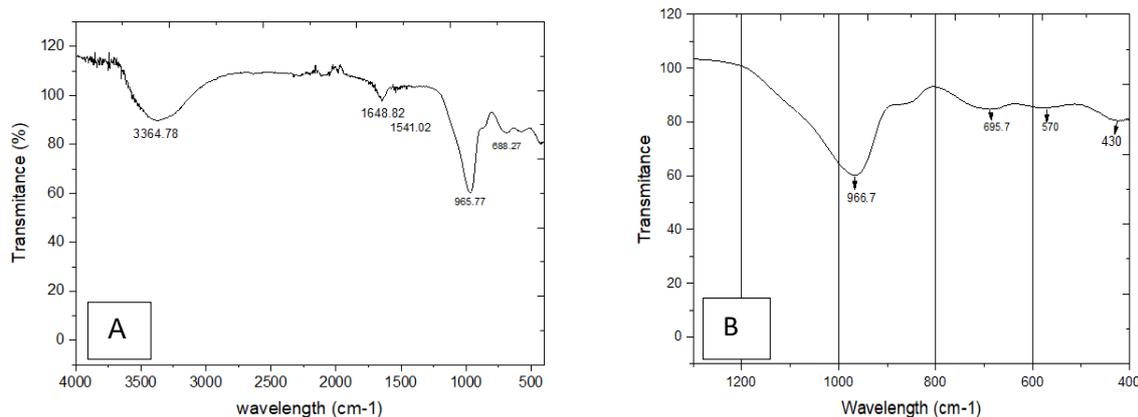
Gambar 3. Hasil analisa XRD zeolit X pada suhu 5 jam dan variasi mol

Spektrum FTIR

Analisis jenis getaran ikatan polar dan gugus fungsi dapat diinterpretasikan dengan menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), yang menampilkan sidik jari getaran dari gugus fungsi dan ikatan polar, serta getaran suatu komponen dalam sampel. Teknik ini dapat digunakan untuk subunit struktural seperti cincin ganda serta struktur tipe zeolit. Daerah sensitif yang menunjukkan struktur kerangka zeolit berkisar antara 200-1300 cm⁻¹ (Zainal Abidin et al., 2017) Gambar 4

menampilkan hasil Spektra IR zeolit x hasil sintesis.

Gugus O-H dari molekul air yang diserap oleh zeolit terletak di kisaran 1650-1600 cm⁻¹ (Van Bekkum et al., 2001). Vibrasi regangan gugus -OH ditampilkan pada angka frekuensi 3700-3400 cm⁻¹. Adanya gugus -OH pada kerangka zeolit menyebabkan terjadinya ikatan hidrogen dengan silika. Pada angka frekuensi 3400 cm⁻¹ terjadi pita serapan yang menunjukkan serapan O-H pada silika (Taffarel & Rubio, 2010).



Gambar 4. Hasil analisa FTIR di variasi 5 jam dan 1,5 mol Al_2O_3 pada bilangan gelombang 4000-500 cm^{-1} (A) dan pada bilangan gelombang 1200-400 cm^{-1} (B).

Tabel 4. Interpretasi hasil bilangan gelombang pada analisa FTIR

Zeolit	Bilangan Gelombang (cm^{-1})					
Zeolit penelitian	430	570	695,7	965,77	1648,82	3364,78
Zeolite X (Zainal Abidin et al., 2017)	460,3	562,84	668,75	978,72	1644,8	3452,8

Analisis FTIR menunjukkan bahwa produk memiliki kemiripan dengan zeolit X. Pada zeolit X, terdapat pita absorpsi pada kisaran 467 cm^{-1} yang menunjukkan adanya getaran internal untuk tekukan Si-O-Si dan Si-O-Al, pada penelitian ini terdapat getaran di 430 cm^{-1} . Namun, intensitas gugus fungsi tersebut relatif rendah. Pada bilangan gelombang $670-725 \text{ cm}^{-1}$, terdapat pita regangan simetri T-O (internal), dan pada kisaran 1000 cm^{-1} , terdapat pita regangan asimetri T-O (internal) dan simetris yang menandakan adanya *framework* zeolit (Naikoo et al., 2016). Hal ini mengindikasikan bahwa produk memiliki ikatan gugus fungsi dan karakteristik yang mirip dengan zeolit X, meskipun proses kristalisasi atau nukleasi belum berjalan dengan sempurna.

KESIMPULAN

Hasil Sintesis silika didapatkan kadar SiO_2 sebanyak 55,54%. penambahan Al_2O_3 dapat meningkatkan yield dari zeolit. Akan tetapi pada analisa secara kualitatif XRD dan FTIR zeolit X belum bisa terbentuk, pada penambahan waktu 3 – 5 jam dengan variasi mol Al_2O_3 0,5 – 1,5 mol.

Penelitian selanjutnya diharapkan memilih variabel waktu reaksi yang lebih panjang agar proses nukleasi kristal dapat maksimal, serta penelitian selanjutnya diharapkan melakukan proses sintesis zeolit menggunakan *microwave* agar mempercepat waktu nukleasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih penulis ucapkan kepada dosen penguji ibu Dr.Ir. Sintha Soraya santi, MT dan Ir. Kindriari Nurma Wahyusi, M.T.

yang selalu memberi masukan untuk penelitian, serta seluruh jajaran Laboratorium Material Maju Teknik Kimia UPN Jawa Timur, sehingga penelitian ini berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansari, M., Aroujalian, A., Raisi, A., Dabir, B., & Fathizadeh, M. (2014). Preparation and characterization of nano-NaX zeolite by microwave assisted hydrothermal method. *Advanced Powder Technology*, 25(2), 722–727. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2013.10.021>
- Boer, D. G., Langerak, J., & Pescarmona, P. P. (2023). Zeolites as Selective Adsorbents for CO₂ Separation. In *ACS Applied Energy Materials* (Vol. 6, Issue 5, pp. 2634–2656). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acsaem.2c03605>
- Flanigen, E. M., Khatami, H., & Szymanski, H. A. (1974). *Infrared Structural Studies of Zeolite Frameworks* (pp. 201–229). <https://doi.org/10.1021/ba-1971-0101.ch016>
- Hamid, A., Prasetyo, D., Esti Purbaningtyas, T., Rohmah, F., & Febriana, I. D. (2020). Pengaruh Tahap Kristalisasi pada Sintesis ZSM-5 Mesopori dari Kaolin Alam. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 3(2), 40–49. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol3.iss2.art1>
- Hanawindhy. (2023). Ekstraksi Silika (SiO₂) dari Mineral Tanah Napa Pesisir Selatan. *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*, 12(1), 31.
- Kadja, G. T. M., Fabiani, V. A., Aziz, M. H., Fajar, A. T. N., Prasetyo, A., Suendo, V., Ng, E. P., & Mukti, R. R. (2017). The effect of structural properties of natural silica precursors in the mesopore-free synthesis of hierarchical ZSM-5 below 100 °C. *Advanced Powder Technology*, 28(2), 443–452. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2016.10.017>
- Kadja, G. T. M., Mukti, R. R., Liu, Z., Rilyanti, M., Ismunandar, Marsih, I. N., Ogura, M., Wakihara, T., & Okubo, T. (2016). Mesopore-free synthesis of hierarchically porous ZSM-5 below 100°C. *Microporous and Mesoporous Materials*, 226, 344–352. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2016.02.007>
- Khasanah, L., & Budiono, A. (2022). Pengaruh Penambahan FABA Terhadap Sifat Fisik dan Derajat Keasaman (pH) Kompos. *Jurnal Teknologi Separasi*, 8(3), 460–468. <http://distilat.polinema.ac.id>
- Krisnawati, J. S. W. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Zeolit X dari Abu Sekam Padi melalui Proses Hidrotermal. In *J. Chem. Sci* (Vol. 7, Issue 1). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Lu, X., Liu, L., Liu, H., Tian, G., Peng, G., Zhuo, L., & Wang, Z. (2022). Zeolite-X synthesized from halloysite nanotubes and its application in CO₂ capture. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2022.104281>
- 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>
- Naikoo, R. A., Bhat, S. U., Mir, M. A., Tomar, R., Khanday, W. A., Dipak, P., & Tiwari, D. C. (2016). Polypyrrole and its composites with various cation exchanged forms of zeolite X and their role in sensitive detection of carbon monoxide. *RSC Advances*, 6(101), 99202–99210. <https://doi.org/10.1039/c6ra19708f>
- Pérez-Botella, E., Valencia, S., & Rey, F. (2022). Zeolites in Adsorption Processes: State of the Art and Future Prospects. In *Chemical Reviews* (Vol. 122, Issue 24, pp. 17647–17695). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00140>

- Prasanto Bimantio, M., Pratama Putra Saragih, D., Teknologi Hasil Pertanian, J., Teknologi Pertanian, F., & Pertanian STIPER, I. (2018). Benefisiasi Prarancangan Proses Pengolahan Pupuk Granul Slow Release Dari Urea Dan Zeolit. In *Institut Pertanian STIPER*.
- Taffarel, S. R., & Rubio, J. (2010). Adsorption of sodium dodecyl benzene sulfonate from aqueous solution using a modified natural zeolite with CTAB. *Minerals Engineering*, 23(10), 771–779. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.05.018>
- Van Bekkum, H., Flanigen, E. M., Jacobs, P. A., Jansen, J. C., & Flanigen, E. M. (2001). *Chapter 2 Zeolites and Molecular Sieves: An Historical Perspective*.
- Wardhani, E. M. S. A. H. D. (2012). Evaluasi Pemanfaatan Abu Terbang (Fly Ash) Batu Bara sebagai Campuran Media Tanam pada Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum*). *Journal Itenas Rekayasa*, XVI.
- Yao, G., Liu, Y., Zheng, S., & Xu, Y. (2021). High removal efficiency of diatomite-based X zeolite for Cu²⁺ and Zn²⁺. *Materials*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/ma14216525>
- Yerizam, M., Purnamasari, I., Hasan, A., & Junaidi, R. (2017). Modifikasi Urea Menjadi Pupuk Lepas Lambat Menggunakan Fly Ash Batubara Dan Naoh Sebagai Binder. In *Jurnal Teknik Kimia* (Vol. 23, Issue 4).
- Yurike Ika Cahyo, & Prasetyoko Didik. (2016). *Pengaruh Rasio Mol SiO₂/Al₂O₃ pada Sintesis Zeolit Y Secara Langsung dari Kaolin Bangka Belitung*.
- Zainal Abidin, A., Abu Bakar, N. H. H., Ng, E. P., & Tan, W. L. (2017). Rapid Degradation of Methyl Orange by Ag Doped Zeolite X in the Presence of Borohydride. *Journal of Taibah University for Science*, 11(6), 1070–1079. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2017.06.004>