



Sintesis Zeolite Y dengan Menggunakan Metode Hidrotermal

Agastya Putri Cahyani, Mohammad Rizki Agusta*, Putri Ayu Amalia

¹Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Malang, Indonesia

*Corresponding author, email: mohammad.rizki.2103326@students.um.ac.id

Paper received: 3-5-2023; accepted: 15-5-2023; published: 31-5-2023

Abstract

Zeolite nanocrystals have been utilized in the manufacture of hierarchical porous materials that have potential applications in the fields of catalysis, adsorption, and the manufacture of low-k dielectric thin films. The aim of this experiment is to synthesize and characterize zeolite Y and know how to synthesize zeolite Y using hydrothermal. The main raw materials used are Al_2O_3 and $NaSiO_3$. The synthesis of Zeolite Y uses the hydrothermal method with a time of 3 hours at a temperature of 120 oC. The product calcination process at a temperature of 100 oC for 2 hours with a yield of 31,715 %. Analysis and characterization of zeolite Y products using the X-Ray Diffraction (XRD) Powder instrument.

Keywords: complex compounds; zeolite Y; synthesis; hydrothermal

Abstrak

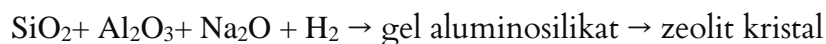
Zeolit nanokristal telah dimanfaatkan dalam pembuatan bahan berpori hierarkis yang memiliki potensi aplikasi di bidang katalisis, adsorpsi, dan pembuatan film tipis dielektrik rendah-k. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mensintesis dan mengkarakterisasi Zeolite Y dan mengetahui cara sintesis zeolite Y menggunakan hidrotermal. Bahan baku utama yang digunakan yaitu Al_2O_3 dan $NaSiO_3$. Sintesis Zeolite Y ini menggunakan metode hidrotermal dengan waktu 3 jam pada suhu 120 °C. Proses kalsinasi produk pada suhu 100 °C selama 2 jam dengan rendemen sebesar 31,715%. Analisis dan karakterisasi produk zeolite Y menggunakan instrument X-Ray Diffraction (XRD) serbuk.

Kata kunci: senyawa kompleks; zeolit Y; sintesis; hidrotermal

1. Introduction

Zeolit nanokristal telah dimanfaatkan dalam pembuatan bahan berpori hierarkis yang memiliki potensi aplikasi di bidang katalisis, adsorpsi, dan pembuatan film tipis dielektrik rendah-k (L. Huang *et al.*, 2000). Hal ini disebabkan oleh zeolit nanokristal memiliki luas permukaan yang tinggi, sifat difusi yang cepat, porositas yang dapat diatur, dan kekuatan mekanis yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan silika berpori amorf (B. Zhang, S *et al.*, 2000). Zeolit merupakan padatan kristalin mikropori yang tersusun atas unit bangun dasar tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 (D. W. Breck, 1973)

Diantara berbagai zeolit yang saat ini digunakan dalam industri, zeolit Y (faujasite, FAU) mendominasi sebagai salah satu bahan yang paling banyak dimanfaatkan (F. Dumitrascu *et al.*, 2009). Zeolit Y merupakan kelompok FAU (faujasite) yang tersusun dari cincin-6 ganda (D6R) yang dihubungkan dengan kerangka sodalit membentuk *supercage* (diameter 13\AA) (H. S. Kim and K. B. Yoon, 2014). Aplikasi utama zeolit Y sintesis terletak pada bidang *fluid catalytic cracking* (FCC) minyak gas vakum dan penyerapan senyawa organik volatil dari aliran gas basah yang dikeluarkan. Pada skala industri, zeolit Y umumnya dipersiapkan dengan tingkat kandungan aluminium yang tinggi ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 < 5$), walaupun dalam kebanyakan situasi, zeolit ini digunakan dalam bentuk yang lebih kaya silikon. Metode utama untuk menyusun zeolit Y adalah melalui sintesis hidrotermal, suatu proses alami yang menghasilkan beberapa jenis mineral alami anorganik, seperti silika kristalin dan zeolit. Sintesis hidrotermal zeolit dapat dijabarkan melalui reaksi kimia berikut (F. Dumitrascu *et al.*, 2009) :



Umumnya, sumber silika dan alumina didapatkan secara komersial berupa natrium aluminat, LUDOX, dan natrium silikat (A. Oyinate *et al.*, 2016). Pada proses sintesis ini terdapat tiga langkah yakni, preparasi aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) dengan cara mereaksikan aluminium trioksida (Al_2O_3) dengan air. Preparasi natrium aluminat (NaAlO_2) dengan mereaksikan NaOH dengan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan air, kemudian yang terakhir adalah sintesis zeolite Y dengan mencampurkan natrium silikat (Na_2SiO_3) dan natrium aluminat (NaAlO_2) dengan perbandingan 1:1.

Zeolite berdasarkan proses pembentukannya dibedakan menjadi dua jenis yaitu zeolite alam dan zeolite sintesis. Zeolit alam memiliki beberapa kekurangan antara lain kristalinitas yang rendah sehingga mengurangi kemampuannya sebagai adsorben dan katalis (Z. Alifatuz, 2012). Zeolit yang banyak dikembangkan saat ini adalah zeolite Y yang disintesis dengan metode hidrotermal. Salah satu faktor yang juga berpengaruh terhadap produk akhir zeolit adalah suhu yang digunakan dalam proses hidrotermal (Ali, *et al.*, 2015). Proses hidrotermal merupakan proses reaksi kristalisasi multifase, yang melibatkan fase cair, fase padat *amorf*, dan kristal. Metode hidrotermal digunakan karena dapat menumbuhkan kristal dengan kualitas yang baik dengan komposisi yang dapat dikontrol (Deviani, *et al.*, 2018). Pada penelitian ini dilakukan sintesis zeolit menggunakan metode hidrotermal pada $120\text{ }^\circ\text{C}$, pada suhu $40\text{ }^\circ\text{C}$ masih berupa amorf, suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$ dan $100\text{ }^\circ\text{C}$ terbentuk zeolite Y (Ali, *et al.*, 2015). Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) serbuk.

2. Method

Alat dan Bahan

Pada percobaan Sintesis Zeolite Y ini menggunakan bahan sebagai berikut; NaOH 99% (Merck), Al₂O₃ (Merck), Natrium Silikat (Merck) dan *aquades*, sedangkan alat yang digunakan adalah neraca analitik, beaker glass 250 mL, gelas ukur 250 mL, spatula stainless steel, indikator pH universal, *magnetic stirrer*, corong, kertas saring dan oven.

Preparasi Larutan Natrium Aluminat

1. Sintesis Al(OH)₃ dari Al₂O₃

Al(OH)₃ dibuat dengan 0,712 g Al₂O₃ yang dilarutkan pada 0,36 g *aquades*.

2. Preparasi NaAlO₂

Pembuatan natrium aluminat (NaAlO₂) dilakukan dengan melarutkan 2,674 g NaOH dalam 12,704 mL *aquades* dan diaduk hingga homogen menggunakan *magnetic stirrer*.

Sintesis Zeolite Y

Kemudian natrium silikat dimasukkan dalam larutan NaAlO₂ dan diaduk kembali menggunakan *magnetic stirrer* dengan suhu 100°C selama 30 menit hingga homogen. Selanjutnya proses hidrotermal, proses ini dilakukan pemanasan sampel dalam oven pada suhu 120°C selama 3 jam. Berikutnya dilakukan penyaringan sampel dengan kertas saring, lalu dioven pada suhu 100°C selama 2 jam dan diuji pH tingkat keasaman menggunakan indikator universal.

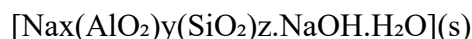
Karakterisasi Zeolite Y

Karakterisasi zeolit dilakukan dengan menggunakan instrument X-Ray Diffraction (XRD) serbuk. Zeolite hasil sintesis dikarakterisasi dengan XRD serbuk (Rigaku Miniflex 600, Cu K α dengan detektor D/teX ultra1-D yang diperasikan pada 40 kV dan 15 mA).

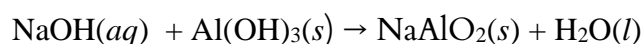
3. Results and Discussion

Sintesis Zeolite Y dengan Menggunakan Metode Hidrotermal

Pada penelitian ini, Sintesis Zeolite Y dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu pembentukan gel, proses hidrotermal dan pencucian yang diikuti pengeringan untuk membentuk kristal zeolite berwarna putih. Sintesis Zeolite Y dilakukan dengan 20 g NaOH yang dilarutkan ke dalam 100 mL *aquades*, selanjutnya ke dalam larutan tersebut dimasukkan sebanyak 8,5 g Al(OH)₃ (Sriatun, *etnal.*, 2017). Adapun persamaan reaksi yang digunakan yaitu sebagai berikut



Namun, pada praktikum ini, digunakan 1/8 resep dari referensi, sehingga jumlah bahan yang digunakan sebagai berikut;



Massa NaOH = 20 gr

Mol NaOH = 20 gr : 40 gr/mol = 0,5 mol

$$\frac{1}{8} \text{ resep NaOH} = 0,5 \text{ mol} : 8 = 0,0625 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{8} \text{ Massa NaOH} &= 0,0625 \text{ mol} \times 40 \text{ gr/mol} \\ &= 2,5 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{Massa H}_2\text{O} = 100 \text{ mL} \approx 100 \text{ gr}$$

$$\text{Mol H}_2\text{O} = 100 \text{ gr} : 18 \text{ gr/mol} = 5,5 \text{ mol}$$

$$\frac{1}{8} \text{ resep H}_2\text{O} = 5,5 \text{ mol} : 8 = 0,687 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{8} \text{ massa H}_2\text{O} &= 0,69 \text{ mol} \times 18 \text{ gr/mol} \\ &= 12,5 \text{ gr} \approx 12,5 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\text{Massa Al(OH)}_3 = 8,5 \text{ gr}$$

$$\text{Mol Al(OH)}_3 = 8,5 \text{ gr} : 78 \text{ gr/mol} = 0,109 \text{ mol}$$

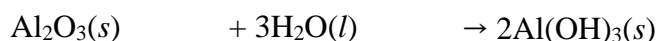
$$\frac{1}{8} \text{ resep Al(OH)}_3 = 0,109 \text{ gr} : 8 = 0,0136 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{8} \text{ massa Al(OH)}_3 &= 0,0136 \text{ mol} \times 78 \text{ gr/mol} \\ &= 1,053 \text{ gr} \end{aligned}$$

Karena pada laboratorium yang tersedia merupakan padatan Al_2O_3 , maka dilakukan reaksi dengan H_2O untuk memperoleh Al(OH)_3 .

$$\text{Massa Al(OH)}_3 = 1,053 \text{ gr}$$

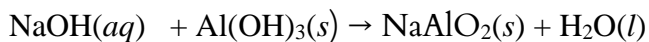
$$\text{Mol Al(OH)}_3 = 1,053 \text{ gr} : 78 \text{ gr/mol} = 0,0136 \text{ mol}$$



$$0,0068 \text{ mol} \quad 0,0204 \text{ mol} \quad 0,0136 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Al}_2\text{O}_3 &= 0,0068 \text{ mol} \times 101,96 \text{ gr/mol} \\ &= 0,693 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa H}_2\text{O} &= 0,0204 \text{ mol} \times 18 \text{ gr/mol} \\ &= 0,36 \text{ gr} \end{aligned}$$



$$0,0625 \text{ mol} \quad 0,0136 \text{ mol}$$

$$0,0136 \text{ mol} \quad 0,0136 \text{ mol} \quad 0,0136 \text{ mol} \quad 0,0136 \text{ mol}$$

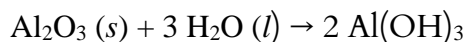
$$\begin{aligned} \text{Massa NaAlO}_2 &= 0,0136 \text{ mol} \times 81,97 \text{ gr/mol} \\ &= 1,115 \text{ gr} \end{aligned}$$

Rasio mol $\text{NaAlO}_2 : \text{Na}_2\text{SiO}_3$ yang digunakan dalam percobaan ini adalah 1 : 1, maka, massa Na_2SiO_3 yang digunakan sebagai berikut;

$$\text{NaAlO}_2 : \text{Na}_2\text{SiO}_3 = 0,0136 \text{ mol} : 0,0136 \text{ mol}$$

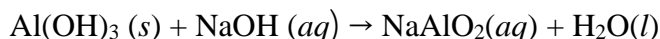
$$\begin{aligned} \text{Massa Na}_2\text{SiO}_3 &= 0,0136 \text{ mol} \times 83,08 \text{ gr/mol} \\ &= 1,129 \text{ gr} \approx 1,13 \text{ gr} \end{aligned}$$

Pada preparasi $\text{Al}(\text{OH})_3$ terjadi reaksi hidrolisis yang menyebabkan molekul alumina mengalami disosiasi. Ion aluminium (Al^{3+}) akan bereaksi dengan molekul air dan membentuk aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Persamaan reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Preparasi Aluminium hidroksida

Aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) hasil preparasi kemudian digunakan untuk preparasi natrium aluminat yang direaksikan dengan NaOH . Pada preparasi natrium aluminat terjadi reaksi netralisasi dimana ion hidroksida (OH^-) bereaksi dengan aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Persamaan reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.

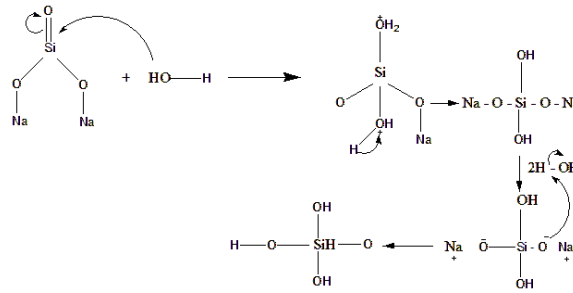


Gambar 2. Preparasi Aluminium hidroksida

Reaksi antara ion hidroksida pada NaOH dengan $\text{Al}(\text{OH})_3$ menghasilkan garam aluminat. Pencampuran ini dilakukan pada *magnetic stirrer* dengan suhu 100°C . Larutan natrium aluminat bereaksi dengan natrium silikat menghasilkan silanol yang merupakan monomer pembentuk zeolit. Pembentukan silanol ditunjukkan dengan perubahan warna larutan menjadi putih (Sriatun, *et al.*, 2017).



Gambar 3. Silanol



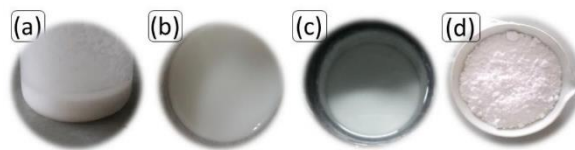
Gambar 4. Reaksi pembentukan silanol [12]

Campuran ini memiliki tingkat keasaman sekitar 11-13 karena adanya Na_2SiO_3 dan NaAlO_2 yang bersifat basa. Senyawa ini saling berinteraksi untuk membuat polimer silika-alumina, yang kemudian mempengaruhi seberapa cepat kristal terbentuk dan tumbuh. Kondisi basa diakibatkan oleh penambahan larutan NaOH pada preparasi aluminat. Kemudian dilakukan proses pemanasan pada suhu $100\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam yang bertujuan menghilangkan kandungan air yang masih tersisa. Pada pH basa, zeolit menghasilkan ion $\text{Si}(\text{OH})_4$. Sedangkan pada pH asam (pH 1 - 4) akan menghasilkan senyawa $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ yang akan menghambat pembentukan kerangka zeolit (Sriatun, *et al.*, 2017). Pembentukan kerangka zeolit ditandai dengan proses polimerisasi yakni terputusnya monomer pada silika menjadi struktur gel ketika proses pendiaman silanol (M. Fadlullah, *et al.*, 2014). Pada proses kristalisasi digunakan metode hidrotermal.



Gambar 5. Zeolite Y pada proses hidrotermal

Pada proses kristalisasi struktur zeolit akan mengalami penataan ulang agar memperoleh struktur kristal yang stabil. Pada percobaan ini digunakan waktu pemanasan selama 3 jam dalam suhu $120\text{ }^\circ\text{C}$. Zeolit Y yang didapatkan berupa serbuk halus berwarna putih.



Gambar 6. (a) *Seed gel*, (b) *Feedstock gel*, (c) *Overall gel* setelah proses hidrotermal dan (d) Zeolit NaY setelah dikeringkan (I. Susanti, *et al.*, 2022).



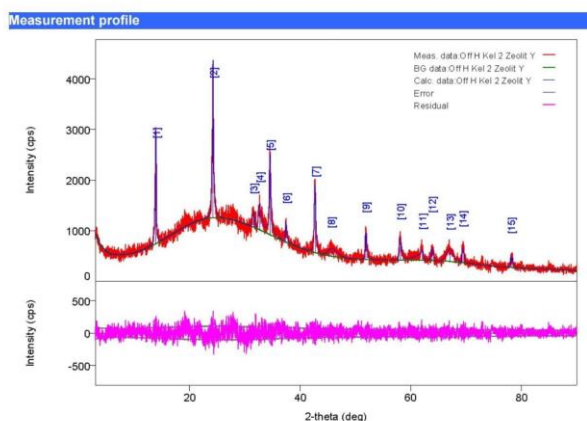
Gambar 7. Hasil sintesis zeolite Y

Rendemen Hasil Sintesis

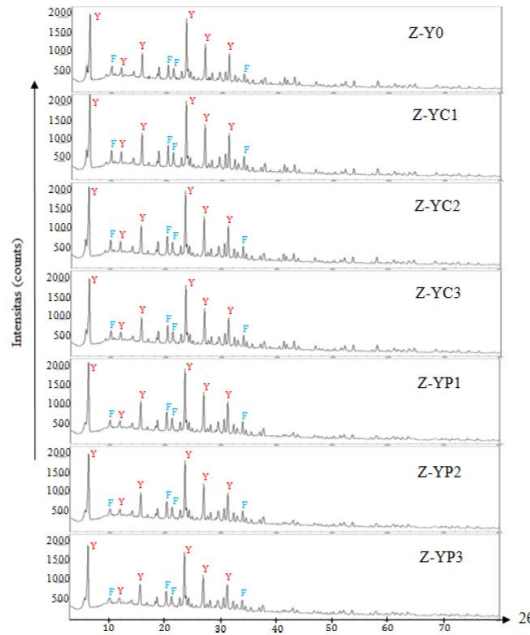
Masa kertas saring = 0,519 gram
 Massa kertas saring + endapan = 1,231 gram
 Masa endapan saring) = ((massa kertas saring + endapan) - Massa kertas saring)
 Massa endapan = 1,231 gram - 0,519 gram
 = 0,712 gram
 Rendemen = Massa Hasil + Massa total bahan awal 100%
 = m Hasilm. NaAlO₂ + m. Na₂SiO₃100%
 = 0,712 gram1,115 gram + 1,13 gram100%

Karakterisasi Zeolite Y dengan X-Ray Diffraction (XRD) Powder

Difraktogram suatu senyawa dapat memberikan gambaran kristalinitasnya. Difraktogram yang memiliki pola pemisahan puncak yang jelas intensitas dan ketajaman puncaknya yang artinya puncak tinggi memiliki kristalinitas yang baik. Berdasarkan hasil analisis yang didapat sebagai berikut:



Gambar 8. Difraktogram serbuk Zeolite hasil sintesis dengan waktu hidrotermal 3 jam



Gambar 9. Difraktogram serbuk zeolit hasil sintesis dengan waktu hidrotermal 72 jam (Z. Alifatuz. *et. al.*, 2012)

Peak List

General information							
Analysis date	2024/03/14 17:17:52			Measurement date	2024/03/14 14:29:34		
Sample name	Off H Kal 2 Zeolit Y ras			Operator	administrator		
File name							
Comment							
Peak list							
No.	2-theta(deg)	d(Å)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. (cps deg)	Int. Widen	Asym. factor
1	13.909(7)	6.362(3)	1628(116)	0.162(11)	462(12)	0.28(3)	0.76(17)
2	24.221(11)	3.6717(17)	2307(139)	0.194(16)	759(16)	0.33(3)	0.7(2)
3	31.57(8)	2.832(7)	203(41)	0.43(6)	92(43)	0.5(3)	1.2(10)
4	32.67(6)	2.739(5)	359(55)	0.49(7)	301(46)	0.8(3)	0.87(15)
5	34.522(9)	2.599(4)	1259(100)	0.25(3)	532(16)	0.44(6)	0.6(3)
6	37.403(16)	2.4024(10)	306(50)	0.23(3)	103(10)	0.34(6)	0.87(15)
7	42.69(2)	2.1164(9)	1037(93)	0.25(3)	388(14)	0.37(5)	1.3(5)
8	45.59(6)	1.988(2)	104(29)	1.76(19)	235(26)	2.2(9)	0.5(3)
9	51.85(3)	1.7818(8)	474(83)	0.22(5)	166(10)	0.35(7)	0.8(5)
10	58.11(4)	1.5861(9)	336(53)	0.33(6)	156(13)	0.47(11)	1.6(6)
11	62.10(3)	1.4935(8)	160(35)	0.79(15)	233(19)	1.6(5)	5(6)
12	63.84(6)	1.4558(12)	197(41)	0.31(6)	82(15)	0.42(16)	0.6(6)
13	67.62(12)	1.395(2)	168(37)	1.38(11)	282(27)	1.7(5)	1.1(4)
14	69.341(12)	1.3541(2)	251(46)	0.30(3)	79(6)	0.31(8)	0.5
15	78.12(3)	1.2224(4)	212(42)	0.21(6)	89(8)	0.42(12)	0.6(5)

Gambar 10. Peak List kristal hasil percobaan

Dari data pada JCPDS No. 38-0240 di mana zeolit Y memiliki puncak difraktogram 2θ sekitar 6,181°, 15,601°, 23,535°, 26,936°, dan 31,274° (Z. Alifatuz, *et. al.*, 2012). Hasil yang berbeda didapatkan pada difraktogram 2θ hasil sintesis. Dimana sintesis pada percobaan ini tidak menghasilkan zeolit Y, tetapi sodalite. Sodalite dan faujasite memiliki struktur yang berbeda. Sodalite merupakan satu dari delapan type framework zeolite. Berdasarkan strukturnya ada delapan jenis framework type of zeolite yakni SOD (Aluminosilicate Sodalite), (LTA) Zeolite A, (FAU) Faujasite, (EMT) EMC-2, (CHA) Chabasite, (GIS) Ghismodine (L. B. McCusker and C. Baerlocher. *et. al.*, 2007).

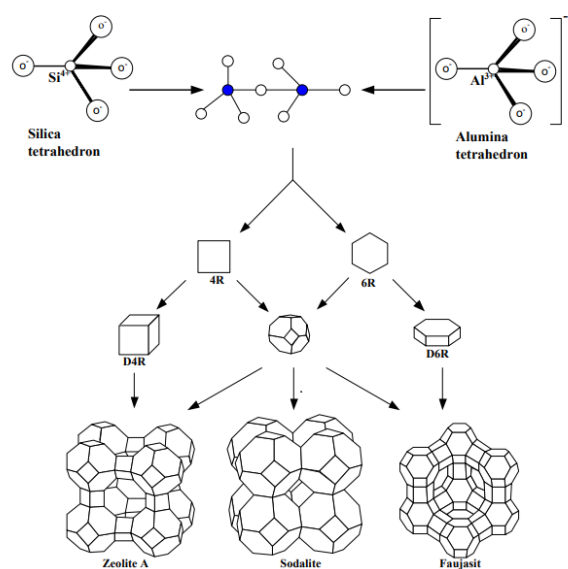
Sodalite sangat berbeda dengan zeolite, hal tersebut dikarenakan sodalite hanya memiliki 6 cincin yang berbentuk jendela. Namun sodalite ini memiliki kepadatan kerangka yang masih berada pada range zeolit yakni 17,2 T-atom per 1000 Å³. Perbedaan struktur dari golongan faujasite, sodalite dan zeolite A telah ditunjukkan pada gambar 11.

Pada percobaan ini dilakukan uji kualitatif terhadap hasil uji XRD untuk mencocokkan hasil dengan referensi. Digunakan program *Match!* untuk mencocokkan hasil

eksperimen dengan data referensi. Program *Match!* akan melakukan analisis kecocokan data sampel grafik XRD dengan database sampel. Data referensi yang digunakan pada software *Match!* berasal dari *Crystallography Open Database (COD)*.

Pada program *Match!* hasil analisis XRD akan dicocokkan dengan referensi terpilih berdasarkan nilai *Figure Of Merit (FoM)*. Jika nilai FoM suatu sampel mendekati 1 maka kecocokan antara data eksperimen dan data referensi Semakin baik (J. Junaidi. *et. al.*, 2023). Hasil yang diperoleh dari karakterisasi XRD berupa difaktrogram atau pola difraksi dengan puncak-puncak intensitas yang bervariasi sepanjang 2-theta. Berdasarkan hasil pencocokan dengan menggunakan program *Match!* diperoleh nilai FoM sebesar 0,7544 dengan rumus kimia AlO_4P dan komposisi P sebesar 25,4%, Al sebesar 22,1%, dan O sebesar 52,5%.

Perbedaan yang terjadi pada percobaan ini dikarenakan proses sintesis yang berbeda dengan jurnal rujukan seperti komposisi bahan, suhu dan tekanan, waktu sintesis dan pemurnian senyawa yang dapat menyebabkan cenderung terbentuk sodalite daripada zeolite Y.



Gambar 11. Unit struktur dari zeolit A, sodalite dan faujasite (S. K. Masoudian. *et. al.*, 2013)

4. Conclusion

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, sintesis zeolit Y dengan rasio mol dari $NaAlO_2 : Na_2SiO_3 = 1 : 1$ dan massa masing masing sebesar 1,115 g dan 1,13 g menggunakan metode hidrotermal dengan waktu 3 jam menghasilkan zeolit berupa serbuk halus berwarna putih dengan rendemen sebesar 31,715 %.

Acknowledgment

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Husni Wahyu Wijaya, Ph. D dan Dinar, M. Sc selaku dosen pengampu Mata Kuliah Praktikum Sintesis Anorganik (Genap 2023/2024) dan Ibu Dr. Yessi Permana dan Siti Hartinah Qurbayni (Yessi Lab. Kimia, ITB) yang memfasilitasi karakterisasi sampel hasil sintesis.

References

- L. Huang. (2000). "Fabrication of Ordered Porous Structures by Self-Assembly of Zeolite Nanocrystals," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 122, no. 14, pp. 3530–3531, Apr. 2000, doi: 10.1021/ja994240u.
- B. Zhang, S. A. Davis, S. Mann, and N. H. Mendelson, (2000). "Bacterial templating of zeolite fibres with hierarchical structure," *Chem. Commun.*, no. 9, pp. 781–782, doi: 10.1039/b001528h.
- D. W. Breck. (1973). *Structure of zeolites*. New York: John Wiley.
- F. Dumitrascu. (2009). "A novel approach for the synthesis of N-arylpyrroles," *Synlett*, no. 20, pp. 3336–3340,, doi: 10.1055/s-0029-1218372.
- H. S. Kim and K. B. Yoon. (2014). "Preparation and characterization of CdS and PbS quantum dots in zeolite Y and their applications for nonlinear optical materials and solar cell," *Coord. Chem. Rev.*, vol. 263–264, pp. 239–256, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.ccr.2013.12.001.
- P. Kabwadza-Corner, E. Johan, and N. Matsue. (2015). "pH Dependence of Lead Adsorption on Zeolites," *J. Environ. Prot. (Irvine, Calif.)*, vol. 06, no. 01, pp. 45–53, 2015, doi: 10.4236/jep.2015.61006.
- A. Oyinade, A. S. Kovo, and P. Hill. (2016). "Synthesis, characterization and ion exchange isotherm of zeolite Y using Box–Behnken design," *Adv. Powder Technol.*, vol. 27, no. 2, pp. 750–755, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.apt.2016.03.002.
- Z. Alifatu. (2012). "Sintesis dan Karakterisasi Zeolite Y dari Abu Ampas Tebu Variasi Rasio Molar SiO₂/Al₂O₃ Dengan Metode Sol Gel Hidrotermal,".
- S. Ali, S. Amalia, and A. G. Fasya. (2015). "Synthesis and Characterization of Zeolite Y From Bagasse Ash with Hydrothermal Temperatures Variations Using The Sol-Gel Method," *Alchemy*, vol. 4, no. 1, pp. 88–92, 2015, doi: 10.18860/al.v4i1.3069.
- S. S. Deviani, F. W. Mahatmanti, and N. Widiarti. (2018). "Sintesis dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Sekam Padi Menggunakan Metode Hidrotermal," *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 7, no. 1, pp. 86–93,.
- S. Sriatun, T. Taslimah, E. N. Cahyo, and F. D. Saputro, (2017), "Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Y," *J. Kim. Sains dan Apl.*, vol. 20, no. 1, pp. 19–24, doi: 10.14710/jksa.20.1.19-24.
- M. Fadlulah, Sriatun, and A. Haris, (2014). "Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Pengaruh Variasi Rasio Si / Al pada Sintesis Zeolit dengan Metode," *J. Kim. Sains dan Apl.*, vol. 17, no. 3, pp. 100–103.
- I. Susanti, S. A. Wulandari, and S. R. Rosdiana, (2022). "Synthesis of Zeolite-NaY for Methane Adsorption," *Berk. Sainstek*, vol. 10, no. 2, p. 77, doi: 10.19184/bst.v10i2.31356.
- L. B. McCusker and C. Baerlocher, (2007). "Zeolite Structures," pp. 13–37. doi: 10.1016/S0167-2991(07)80790-7.
- S. K. Masoudian, S. Sadighi, and A. Abbasi, (2013). "Synthesis and Characterization of High Aluminum Zeolite X from Technical Grade Materials," *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, vol. 8, no. 1, pp. 54–60, Jun. 2013, doi: 10.9767/bcrec.8.1.4321.54-60.
- J. Junaidi, M. Rizki, D. Abdul Malik, D. Asmi, R. Marjunus, and P. Karo Karo, (2023). "Pengaruh Variasi Waktu Pemanasan Sintesis Perak Nitrat (AgNO₃) Menggunakan Metode Reduksi Kimia," *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 11, no. 02, pp. 61–70, doi: 10.23960/2fjtaf.v11i2.12308.