

PENGARUH KONSENTRASI NaOH PADA SINTESIS MOLECULAR SIEVE BERBAHAN DASAR PIROPILIT

Riris Idiawati

Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Prodi IPA, Institut Agama Islam Darussalam Blokagung Banyuwangi

Email : idiawatiriris@gmail.com

Received
September 2023

Revised
September 2023

Published
September 2023

Abstract

Molecular sieve (MS) or known as molecular sieve is one of the products that is of concern to researchers today because it has the ability to filter gas or liquid more selectively. Molecular sieve consists of two large groups, namely natural molecular sieve and synthesized molecular sieve. Synthesized molecular sieve is usually processed from zeolite or kaolin rock because it contains high silica and alumina elements. Pyropillite has similarities with zeolite or kaolin where the alumina and silica content is quite high, so pyropillite rocks have the potential to be used as a basic material for making molecular sieve. In this study, pyropillite rock was taken from Sumbermanjing area, South Malang. MS synthesis was carried out by NaOH leaching method. The results obtained from the XRF test for the Al/Si ratio in MS10, MS15, and MS20 were 2.4, 2.2, and 2.3, respectively. XRD results show the formation of 3 phases in the synthesis of MS10 and MS15, namely sodalite phase with cubic crystal system, quartz phase with hexagonal crystal system, and diaspor phase with orthorhombic crystal system, while in MS20 a pure phase is formed, namely sodalite phase. The pore sizes of the BET test results produced on MS10, MS15, and MS20 are 30 Å (mesopores), 542 Å (macropores), and 550 Å (macropores), respectively, while the resulting surface areas are 0.350 m²/g, 2.869 m²/g, and 1.176 m²/g. The presence of Si-O-Si bending, Si-O-Al, Si-O, Si-O normal to the plane stretching, Inner Surface Al-OH deformation, Si-O-Si siloxine, H-O-H, -OH, C-H stretching, H-O-H bending water groups were determined using FTIR characterization.

Keywords: Pyropillite, molecular sieve, porosity, Al/Si ratio

Abstrak

Molecular sieve (MS) atau dikenal dengan saringan molekul merupakan salah satu produk yang menjadi perhatian para peneliti saat ini karena memiliki kemampuan menyaring gas atau cairan dengan lebih selektif. Molecular sieve terdiri dari dua kelompok besar yaitu molecular sieve alam dan molecular sieve sintesis. Molecular sieve sintesis biasanya diolah dari batuan zeolit atau batuan kaolin karena mengandung unsur silika dan alumina yang tinggi. Piropilit mempunyai kemiripan dengan zeolit ataupun kaolin dimana kandungan alumina dan silika cukup tinggi, sehingga batuan piropilit memiliki potensi untuk dijadikan bahan dasar pembuatan molecular sieve. Pada penelitian ini batuan piropilit diambil dari daerah Sumbermanjing, Malang Selatan. Sintesis MS dilakukan dengan metode leaching NaOH. Hasil yang diperoleh dari uji XRF untuk rasio Al/Si pada MS10, MS15, dan MS20 berturut-turut adalah sebesar 2,4, 2,2, dan 2,3. Hasil XRD menunjukkan terbentuknya 3 fasa pada sintesis MS10 dan MS15 yaitu fasa sodalite dengan sistem kristal kubik, fasa quartz dengan sistem kristal hexagonal, dan fasa diaspor dengan sistem kristal orthorhombik, sedangkan pada MS20 terbentuk fasa murni yaitu fasa sodalite. Ukuran pori hasil uji BET yang dihasilkan pada MS10, MS15, dan MS20 berturut-turut adalah sebesar 30 Å (mesopori), 542 Å (makropori), dan 550 Å (makropori), sedangkan untuk surface area yang dihasilkan adalah 0,350 m²/g, 2,869 m²/g, dan 1,176 m²/g. Keberadaan gugus Si-O-Si bending, Si-O-Al, Si-O, Si-O normal to the plane stretching, Inner Surface Al-OH deformation, Si-O-Si siloxine, H-O-H, -OH, C-H stretching, H-O-H bending water ditentukan menggunakan karakterisasi FTIR.

Kata Kunci: piropilit, saringan molekul, porositas, rasio Al/Si

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang kaya akan mineral. Hampir seluruh pulaunya memiliki batuan-batuan yang mengandung mineral bernilai tinggi baik secara ekonomi maupun fungsinya [1]. Namun

kekayaan alam batuan tersebut banyak yang belum diolah dan dimanfaatkan secara optimal. Selama ini masih banyak pemanfaatan batuan tanpa ada pengolahan sebelumnya, sehingga daya guna dan nilai ekonomis dari batuan tersebut masih rendah. Sesuai dengan peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 07 Tahun 2012, perlu dilakukan pengolahan dan pemurnian mineral untuk meningkatkan nilai tambah mineral [2].

Piopilit merupakan batuan mineral alam yang merupakan paduan dari aluminium silikat hydroxid yang mempunyai rumus kimia $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. termasuk ke dalam klas silikat, sub klas phyllosilikat yang berbentuk kristal. Struktur piopilit secara umum adalah S-G-S (silikat-gibbsite-silikat). Mineral yang termasuk piopilit adalah kianit, andalusit, dan diaspor. Mineral piopilit seperti bentonit, dapat dimanfaatkan sebagai adsorben karena memiliki situs aktif pada permukaan yaitu gugus hidroksil (-OH) terikat pada Al (III) dan -OH pada Si (IV) [3].

Bentuk kristal piopilit adalah monoklinik atau triklinik serta mempunyai sifat fisik dan kimia yang mirip dengan talk. Piopilit terbentuk umumnya berkaitan dengan formasi andesit tua yang memiliki kontrol struktur dan intensitas ubahan hidrotermal yang kuat. Piopilit terbentuk pada zone ubahan argilik lanjut (hipogen), seperti kaolin, namun terbentuk pada temperatur tinggi dan pH asam. Piopilit merupakan material dengan kandungan silika dan alumina yang tinggi, khususnya piopilit daerah Sumbermanjing, Malang Selatan kandungan silikanya mencapai kurang lebih 85 %, dengan ukuran butiran dan volume pori yang cukup kecil [4]. Piopilit memiliki warna putih, kuning pucat, dan/atau coklat kemerahan. Selama ini mineral piopilit ditambang hanya sebagai bahan mentah (*raw material*) kemudian dijual. Piopilit terdapat di beberapa tempat seperti di Pulau Sumatera, Jawa Barat, Jawa Timur, Nusa Tenggara Barat, dan Pulau Sulawesi.

Dalam industri petroleum gas dibutuhkan adsorben gas atau cairan untuk purifikasi aliran gas, biasanya dikenal dengan istilah *molecular Sieve* (penyaring molekular). Ugal, J.R. et all (2010) berhasil melakukan sintesis MS tipe 4A ($(\text{Na}_{12}(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12} \cdot 27\text{H}_2\text{O})$) dari batuan kaolin menggunakan metode refluks dengan suhu 90 °C dan perbandingan 1:5 antara batuan kaolin dengan sodium hidroksida [5]. Penelitian serupa dilakukan oleh Petrov and Michalev (2012) yang memfabrikasi MS tipe A dari batuan zeolit menggunakan metode hidrotermal dengan suhu 100°C. Batuan zeolit maupun kaolin memiliki kandungan unsur Al/Si yang hampir mirip [6].

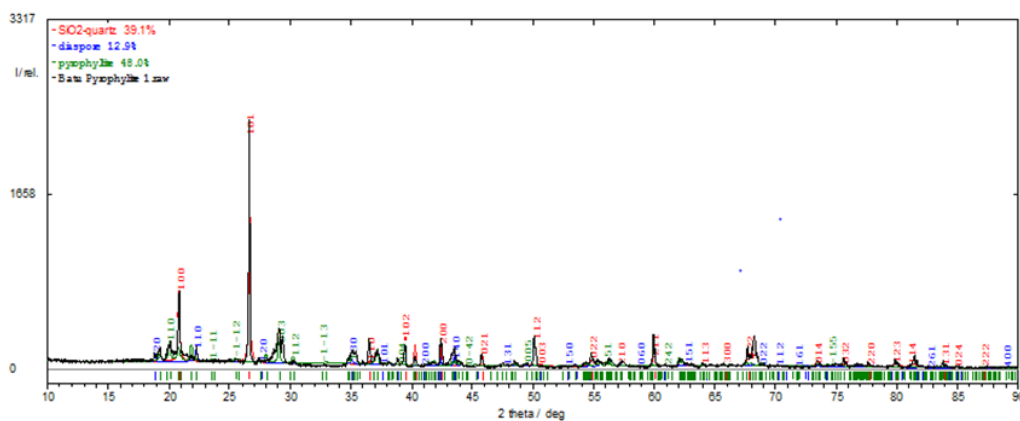
Dalam sintesis MS ada beberapa metode yang biasa dipakai oleh peneliti sebelumnya yaitu menggunakan metode refluks maupun metode hidrotermal. Dari ke dua metode tersebut memiliki keunggulan dan kelemahan. Metode refluks memiliki kelebihan yaitu dapat dibiarkan dalam jangka waktu yang panjang, dapat digunakan untuk mengekstraksi sampel-sampel yang memiliki tekstur kasar, dan tahan pemanasan langsung. Kelemahannya antara lain membutuhkan volume total pelarut yang besar dan sejumlah manipulasi dari operator. Metode hidrotermal memiliki banyak keuntungan seperti persiapannya yang sederhana, suhu reaksi yang relatif rendah, dispersi yang seragam untuk doping ion logam, serta kontrol stoikiometri dan memberikan kehomogenan secara kimia yang baik [7]. Kelemahan dari metode hidrotermal yaitu biaya alat mahal dan susah untuk mengontrol stoikiometri. Berdasarkan latar belakang di atas, maka peneliti ingin memberikan sentuhan variatif terhadap dunia penelitian dalam mengembangkan nilai guna dari batuan piopilit yang dijadikan sebagai bahan dasar (*raw material*) dalam sintesis MS dengan menggunakan metode yang lebih sederhana dan efisien yaitu dengan menggunakan metode *leaching* NaOH.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini sintesis *molecular sieve* dilakukan dengan metode *leaching* NaOH. Sebelumnya dilakukan persiapan *raw material*. Menghaluskan batuan piopilit dengan alat penggiling (*milling*) sampai halus. Mengayak serbuk batuan piopilit dan mengambil batuan dengan ukuran 200 mesh, lalu menguji dan menganalisis serbuk batuan dengan XRD dan XRF. Setelah itu melakukan tahapan sintesis *molecular sieve* yaitu dengan mencampurkan 40 gram powder piopilit dan NaOH 10M ke dalam beakerglass. Mengaduk dan memanaskan campuran tersebut hingga homogen dengan $T = 120^\circ\text{C}$, 350 rpm, $t = 24$ jam. Kemudian melarutkan dengan aquades 1000 ml / 1L. Mendekantasi selama $t = 24$ jam kemudian menyaring dan diambil endapannya untuk diproses lebih lanjut, lalu mengeringkan pada hot plate dengan $T = 250^\circ\text{C}$, $t = 21$ jam. Menghaluskan kemudian menimbang dan setelah itu mengkarakterisasi XRF, XRD, BET, dan FTIR. Prosedur yang sama untuk variasi molaritas NaOH, yaitu NaOH 15M dan NaOH 20M.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji XRD, XRF dan Karakterisasi Tahap Persiapan Raw Material

Gambar 1. Hasil *Refinement* Fasa Batuan Awal dengan XRD

Berdasarkan hasil analisis *refinement* di atas, dapat dijelaskan bahwa batuan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan batuan piropilit. Hal ini ditunjukkan dengan adanya *peak-peak* yang cocok dengan fasa model batuan piropilit. Ada tiga unsur yang terkandung dalam batuan piropilit, yaitu unsur piropilit itu sendiri sebesar 48%, unsur diaspor sebesar 12,9%, dan unsur SiO₂- Quartz sebesar 39,1%. Setelah melakukan uji XRD, selanjutnya melakukan uji XRF. Data hasil karakterisasi menggunakan uji XRF yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji XRF Batuan Piropilit (Sampel Awal)

Unsur	Al	Si	Ca	Ti	Unsur lain
Komposisi	17,6%	77,6%	0,96%	2,08%	1,706%

Dari hasil karakterisasi XRF didapatkan hasil bahwa penyusun terbesar dalam batuan piropilit adalah unsur Si dengan kadar 77,6% dan unsur Al dengan kadar 17,6 %. Hal ini menunjukkan bahwa kedua unsur tersebut merupakan unsur mayor (kadar tinggi) dan sedangkan unsur lain yang termasuk dalam kategori minor adalah Ti, Ca, V, Cr, Fe, Ni, dan Cu. Batuan piropilit merupakan salah satu batuan yang banyak mengandung unsur silika(*Quartz*).

Hasil Uji Komposisi Unsur MS dengan XRF

Tabel 2. Perbandingan Kadar Unsur antara Sampel Awal dan Sampel MS10, MS15, MS20

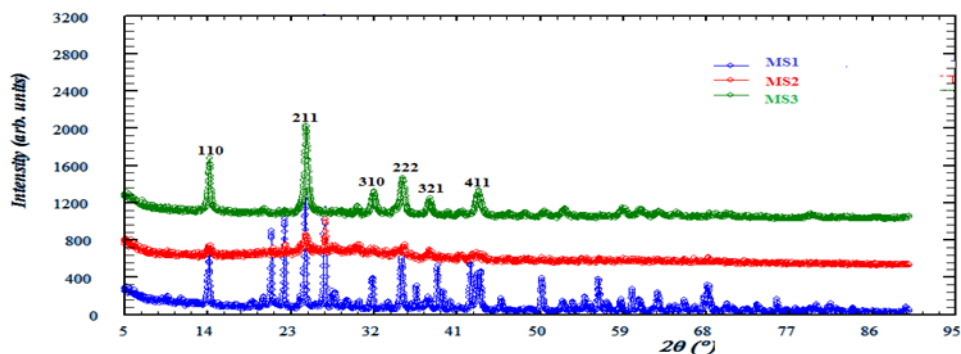
Sampel	Kandungan unsur (%)				
	Al	Si	Ca	Ti	Unsur lain
Batuan piropilit	17,6	77,6	0,96	2,08	1,706
MS10	23,9	56,5	1,8	12,9	4,95
MS15	23	51,2	2,2	17,0	6,42
MS20	21	48,0	2,8	18,4	9,78

Berdasarkan hasil karakterisasi XRF di atas, dapat diketahui bahwa terdapat penurunan kadar silika yang diwakili oleh unsur Si yang cukup signifikan, sehingga kadar alumina (Al) mengalami peningkatan. Dari data tersebut dihasilkan perbandingan rasio yang hampir mirip antara silika dan alumina. Dari hasil perbandingan rasio Al/Si diketahui bahwa rasio Si/Al berkisar antara 1 : 2, jadi tidak ada pengaruh yang signifikan dari konsentrasi molaritas NaOH yang semakin besar. Rasio yang paling besar adalah pada MS1 1: 2,4 dan yang paling kecil adalah pada MS2 yaitu 1 : 2,2.

Rasio Al/Si pada penelitian ini masuk ke dalam jenis material S (Sodalite (SOD)) yaitu jenis mineral yang termasuk dari klasifikasi struktural zeolit karena termasuk mineral aluminasilikat [8]. Hal ini diperkuat dari teori A.Derkowski et al (2006) yang menyebutkan bahwa rasio Si/Al dari mineral sodalite adalah 1: 1,21 [9].

Pola Difraksi Sinar-X Molecular Sieve

Hasil pola difraksi sinar-X MS10, MS15, dan MS20 dengan variasi konsentrasi molaritas NaOH berturut-turut 10M, 15M, dan 20M, ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2: Pola Difraksi Sinar -X MS10, MS15, dan MS20 Untuk Variasi Konsentrasi NaOH 10M, 15M, dan 20M di Laboratorium ITS

Dari hasil analisis *refinement* menggunakan perangkat lunak PCW pada MS10 dan MS15, terdapat 3 fasa yaitu fasa quartz dengan sistem kristal hexagonal, fasa diaspor dengan sistem kristal orthorhombic, dan fasa sodalite dengan sistem kristal kubik, sedangkan pada MS20 terdapat 1 fasa murni yaitu fasa sodalite. Hasil analisis data ditunjukkan pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 3. Hasil Analisis MS10 Menggunakan Perangkat Lunak PCW

Parameter		MS10		
		Sodalite	Quartz	Diaspore
FoM	Rp (%)	18.96		
	Rwp (%)	27.21		
	Rexp (%)	1.75		
Lattice Parameter	a(Å)	8.8967	4.9186	4.4015
	b(Å)	8.8967	4.9186	9.4318
	c(Å)	8.8967	5.4054	2.8471
Lattice Angle	$\alpha(^{\circ})$	90	90	90
	$\beta(^{\circ})$	90	90	90
	$\gamma(^{\circ})$	90	120	90
V (Å ³)		704.1851	130.7490	118.1947
%wt		72.4	26.8	0.8

Tabel 4. Hasil Analisis MS15 Menggunakan Perangkat Lunak PCW

Parameter		MS15		
		Sodalite	Quartz	Diaspore
FoM	Rp (%)	10.11		
	Rwp (%)	13.14		
	Rexp (%)	0.28		
Lattice Parameter	a(Å)	8.8696	4.9063	4.3007
	b(Å)	8.8696	4.9063	9.5253
	c(Å)	8.8696	5.4228	2.8903
Lattice Angle	$\alpha(^{\circ})$	90	90	90
	$\beta(^{\circ})$	90	90	90

	$\gamma(^{\circ})$	90	120	90
V ($\text{\AA}^3$)		697.7696	130.5364	118.4024
%wt		94.7	5.3	0.0

Tabel 5. Hasil Analisis MS20 Menggunakan Perangkat Lunak PCW

Parameter		MS20
		Sodalite
FoM	Rp (%)	11.6
	Rwp (%)	15.21
	Rexp (%)	2.64
Lattice Parameter	a($\text{\AA}$)	8.8653
	b($\text{\AA}$)	8.8653
	c($\text{\AA}$)	8.8653
Lattice Angle	$\alpha(^{\circ})$	90
	$\beta(^{\circ})$	90
	$\gamma(^{\circ})$	90
V ($\text{\AA}^3$)		696.7553
%wt		100

Parameter kisi dari masing – masing MS hampir tidak ada perubahan yang signifikan dengan adanya perbedaan konsentrasi molaritas NaOH, sehingga volume kristal juga hampir tidak ada perubahan yang signifikan seiring bertambahnya konsentrasi molaritas NaOH pada MS dari setiap fasa. Hal ini menunjukkan bahwa NaOH tidak mempengaruhi volume kristal MS.

Hasil Analisis Porositas dan Luas Permukaan (Surface Area) dengan BET

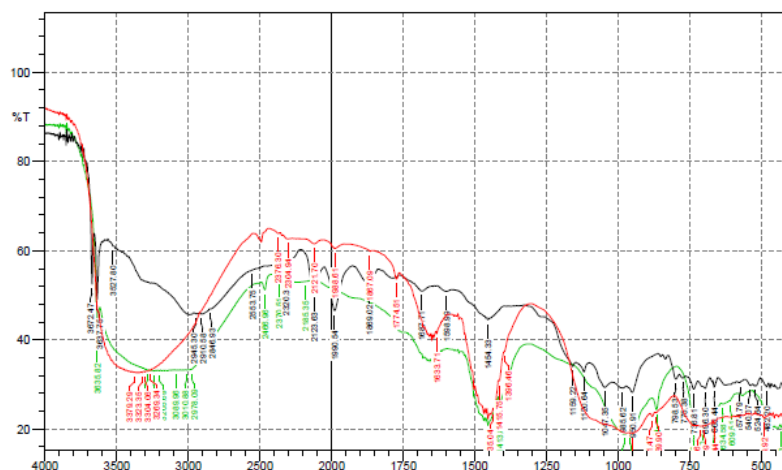
Tabel 6. Hasil Ukuran Rata-rata Diameter Pori dan Luas Permukaan (Surface Area) melalui Uji BET

Jenis Sampel	Ukuran Diameter Pori ($\text{\AA}$)	Surface Area (m^2/g)
MS10	23,9	56,5
MS15	23	51,2
MS20	21	48,0

Sesuai dengan teori, diketahui bahwa pada MS10 dengan diameter pori 30 $\text{\AA}$ termasuk pada jenis material mesopori, sedangkan pada MS15 dan MS20 dengan diameter pori 542 $\text{\AA}$ dan 550 $\text{\AA}$ termasuk jenis material makropori. Semakin tinggi konsentrasi molaritas NaOH, maka ukuran diameter pori semakin besar (semakin porous). Hal ini tidak sesuai jika digunakan sebagai aplikasi MS sebagai penyaring gas maupun cairan [10]. Selain mengetahui ukuran diameter pori, diketahui juga nilai luas permukaan dari ketiga sampel menggunakan metode BET. Pada MS10 didapatkan nilai luas permukaan sebesar 0,350 m^2/g . Pada MS15 didapatkan nilai luas permukaan sebesar 2,869 m^2/g , dan pada MS20 didapatkan nilai luas permukaan sebesar 1,176 m^2/g . Semakin besar luas permukaan suatu adsorben maka semakin besar daya adsorbsinya. Pada penelitian ini luas permukaan yang paling besar didapatkan pada MS15 sebesar 2,869 m^2/g .

Hasil Karakterisasi FTIR

Gugus fungsi yang terbentuk pada MS dengan variasi molaritas NaOH dikarakterisasi menggunakan FTIR. Pada karakterisasi ini diperoleh grafik hubungan antara transmitansi dengan panjang gelombang yang digunakan seperti pada Gambar 3. Kurva berwarna biru menunjukkan hasil karakterisasi sampel MS10. Kurva berwarna merah menunjukkan hasil karakterisasi sampel MS15. Kurva berwarna hijau menunjukkan hasil karakterisasi sampel MS20.



Gambar 3. Hasil Analisis FTIR MS

Beberapa puncak yang teramati baik adalah sebagai berikut.

- MS10

Pada puncak $482,2 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan Si-O-Si bending [11]. Pada puncak $540,07\text{-}665,44 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan Si-O-Al stretching [11]. Pada puncak $696,3\text{-}798,53 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan Si-O quartz [11]. Pada puncak $950,91 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan Inner Surface Al-OH deformation [12]. Pada puncak $985,62 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan Si-O planar stretching [12]. Pada puncak $1047,35\text{-}1120,64 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan Si-O-Si siloxane [13]. Pada puncak $1159,22 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan Si-O normal to the plane stretching [12]. Pada puncak $1454,33 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan H-O-H bending [12]. Pada puncak $1598,99 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan aromatic nitrat [11]. Pada puncak $1687,71 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan H-O-H bending water [11]. Pada ikatan $2846,93\text{-}2945,3 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan C-H stretching [11]. Pada ikatan $3527,8\text{-}3672,47 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan -OH silanol [13].

- MS15

Pada puncak $489,92\text{-}665,44 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan Si-O-Si bending [11]. Pada puncak $702,09\text{-}713,66 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan Si-O quartz [11]. Pada puncak $869,9\text{-}881,47 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan Si-OH silanol [13]. Pada puncak $948,98 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan inner surface Al-OH deformation [12]. Pada puncak $1396,46 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan Al-O as Si cage (TO4) [11]. Pada puncak $1415,75\text{-}1435,04 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan H-O-H bending [12]. Pada puncak $1633,71 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan O-H (water molecule) [13]. Pada puncak $3269,93\text{-}3379,29 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan -OH silanol [13].

- MS20

Pada puncak $430,13\text{-}665,44 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan Si-O-Si bending [11]. Pada puncak $709,8 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan Si-O quartz [11]. Pada puncak $866,04 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan Si-OH silanol [13]. Pada puncak $958,62\text{-}979,84 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan inner surface Al-OH deformation [12]. Pada puncak $1413,82\text{-}1454,33 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan H-O-H bending [12]. Pada puncak $2978,09 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan C-H stretching [11]. Pada puncak $3010,88\text{-}3635,82 \text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan -OH silanol [13].

Dari Gambar 3 yaitu perbandingan frekuensi dari ketiga sampel, terjadi pergeseran panjang gelombang. Hal ini dikarenakan adanya auksokrom, yaitu suatu gugus fungsi dimana ia sendiri tidak mengabsorpsi di daerah ultra violet, namun memiliki kemampuan untuk menggeser puncak-puncak panjang gelombang yang lebih besar dan menambah intensitasnya. Pada MS10 menghasilkan jumlah *peak* yang lebih banyak daripada MS15 dan MS20, hal tersebut menunjukkan bahwa impuritas yg terkandung dalam sampel cukup banyak, seperti yang dijelaskan pada hasil *refinement* pada analisa struktur kristal bahwa pada MS10 terkandung 3 fasa, sehingga dapat dimungkinkan bahwa pada analisa FTIR terdapat gugus fungsi dari impuritas yang ikut terabsorpsi oleh sinar ultraviolet.

KESIMPULAN

1. Rasio Si/Al pada konsentrasi NaOH 10M, 15M, dan 20M berturut-turut adalah sebesar 2,4, 2,2, dan 2,3.
2. Terbentuk 3 fasa hasil sintesis *molecular sieve* pada konsentrasi NaOH 10M dan 15M dari batuan piropilit

dengan metode kopresipitasi, yaitu fasa *sodalite* dengan sistem kristal kubik, fasa *quartz* dengan sistem kristal heksagonal, dan fasa *diaspore* dengan sistem kristal orthorombik, sedangkan untuk konsentrasi NaOH 20M terbentuk 1 fasa murni yaitu fasa *sodalite* dengan sistem kristal kubik. Fasa-fasa yang terbentuk dari hasil analisis memiliki parameter kisi yang tidak jauh berbeda dengan parameter kisi dari *database* ketiga fasa tersebut.

3. Pada konsentrasi NaOH 10M, 15M, dan 20M berturut-turut dihasilkan ukuran pori sebesar 30Å (mesopori), 542Å (makropori), dan 550Å (makropori).

DAFTAR RUJUKAN

- [1] I. Novianto, "Pengaruh Variasi Penggunaan Piropilit Dan Jenis Semen Terhadap Porositas Dan Modulus Elastisitas Beton," 2012.
- [2] K. Energi, "Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral," Retrieved from Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi: <https://ebtke.esdm.go.id>, 2021.
- [3] S. D. C. Tyas and S. Tjahjani, "Pemanfaatan Piropilit Sebelum Dan Sesudah Aktivasi Sebagai Adsorben Pada Proses Penurunan Bilangan Peroksida Dan Kadar Asam Lemak Bebas Minyak Jelantah (the Utilization of Pyrophilite Before and After Activation as an Adsorbent on Decreased Level Process)," *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, vol. 18, no. 3, pp. 184–190, 2011.
- [4] M. Z. Arifin, "Pengaruh Penggunaan Komposisi Batu Pecah dan Piropilit Sebagai Agregat Kasar dengan Variasi Kadar Aspal Terhadap Stabilitas dan Durabilitas Campuran HRS (Hot Rolled Sheet)," *Rekayasa Sipil*, vol. 2, no. 3, pp. 225–239, 2008.
- [5] J. R. Ugal, K. H. Hassan, and I. H. Ali, "Preparation of type 4A zeolite from Iraqi kaolin: Characterization and properties measurements," *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 2–5, 2010.
- [6] I. Petrov and T. Michalev, "Synthesis of zeolite A: a review," *Научни трудове на русенския университет*, vol. 51, pp. 30–35, 2012.
- [7] B. R. Fernandez, "Makalah Sintesis Nanopartikel," *Program Studi Teknik Kimia, Pascasarjana Universitas Andalas, Padang*, 2011.
- [8] J. Smith, "Structural classification of zeolites.," *MSA Spec. Pap.*, vol. 1, pp. 281–290, 1963.
- [9] A. Derkowski, W. Franus, E. Beran, and A. Czimmerová, "Properties and potential applications of zeolitic materials produced from fly ash using simple method of synthesis," *Powder technology*, vol. 166, no. 1, pp. 47–54, 2006.
- [10] R. Szostak, *Molecular sieves*, vol. 234. Springer, 1998.
- [11] B. J. Saikia and G. Parthasarathy, "Fourier transform infrared spectroscopic characterization of kaolinite from Assam and Meghalaya, Northeastern India," *J. Mod. Phys.*, vol. 1, no. 4, pp. 206–210, 2010.
- [12] U. Aroke and U. El-Nafaty, "XRF, XRD and FTIR properties and characterization of HDTMA-Br surface modified organo-kaolinite clay," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 817–825, 2014.
- [13] M. Zainuri, "Synthesis of SiO₂ nanopowders containing quartz and cristobalite phases from silica sands," *Materials Science-Poland*, vol. 33, no. 1, pp. 47–55, 2015.