

Characterization of ion-exchanged zeolites with lithium for Pressure Swing Adsorption (PSA) applications

Nidya Jullanar Salman¹, Dhimas Satria^{2,*}, Damar Abi Ramadani³, Teguh Kurniawan⁴

^{1,3}Department of Mechanical Engineering, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

⁴Department of Chemical Engineering, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

²Biomass Valorization Laboratory, Faculty of Engineering, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

Article Info

Article history:

Received September 30, 2022

Accepted October 17, 2022

Published November 1, 2022

Keywords:

Ion Exchange

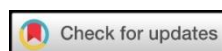
Characterization

Pressure Swing Adsorption

Zeolite

ABSTRACT

The method used for the Ion Exchange process to determine the characteristics of the zeolite is refluxing the zeolite using a 4 M LiCl solution for 36 hours at a temperature of 72°C and calcining at a temperature of 400°C for 10 hours. XRF characterization results showed natural zeolite Lampung had moderate Si/Al levels with 8.97 and 8.79 for those given lithium, while zeolite 13X had low Si/Al levels with 4.31 and 3.77 for those given lithium. The XRD results show that Lampung's natural zeolite is clinoptilolite and 13X zeolite is NaX. The results of the adsorption test using the PSA tool, namely for natural zeolite Lampung, the highest oxygen value was 21.3% and that was given lithium at 21.2% for the single bed and double bed types. For zeolite 13X, the highest oxygen value was 22% and that given lithium was 24% for the single bed type, and for the double bed type the highest oxygen value was 21.8% and that given lithium was 24.9%.



Corresponding Author:

Dhimas Satria,

Department of Mechanical Engineering,

Sultan Ageng Tirtayasa University,

Jendral Soedirman Km. 3 Road, Cilegon 62102, Banten, Indonesia.

Email: dhimas@untirta.ac.id

1. PENGANTAR

Pandemi virus COVID-19 kini telah mencapai angka hampir 10 juta orang dan menewaskan lebih dari hampir setengah juta orang di seluruh dunia dengan peningkatan jumlah kasus sekitar 1 juta kasus per minggu. Kondisi ini telah mendorong permintaan oksigen menjadi 88.000 silinder besar oksigen per hari, atau 620.000 meter kubik oksigen, menurut WHO. Peningkatan jumlah yang terus bertambah dan tidak diduga telah menyebabkan kelangkaan konsentrator oksigen yang dibutuhkan untuk membantu pernapasan pasien COVID-19 yang menderita gangguan oleh karenanya. Bagi banyak pasien yang sakit parah, hipoksia – kadar oksigen dalam darah yang sangat rendah – kondisi ini sangat berbahaya dan dapat menyebabkan kegagalan organ dan berujung kematian. Hanya oksigen murni dalam jumlah besar yang dapat memberikan waktu untuk pulih.

Salah satu cara untuk menghasilkan oksigen murni adalah dengan alat *pressure swing adsorption* (PSA). *Pressure swing adsorption* (PSA) ini dapat berfungsi untuk menghasilkan oksigen dengan cara mengadsorpsi nitrogen, untuk mengadsorpsi nitrogen dibutuhkan zeolit sebagai adsorbennya. Adsorpsi adalah perubahan molekul padatan dari fase fluida yang merupakan fenomena tarik-menarik spontan dengan adsorben. Adsorben adalah zat yang memiliki pori-pori dan memiliki luas permukaan per satuan massa [1]. Zeolit memiliki struktur pori tertentu dengan ukuran dan luas permukaan yang besar sehingga berfungsi sebagai penyerap atau adsorben dengan selektivitas dan kemampuan penyerapan yang cukup tinggi dan menyebabkan molekul-molekul kecil dapat terserap dalam struktur zeolit. Struktur pori pada zeolit mampu digunakan sebagai pemisah gas-gas yang berbeda yang ditinjau melalui ukurannya [2].

Zeolit adalah bahan galian non logam atau mineral industri multi guna dikarenakan memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang unik yaitu sebagai penyerap, penukar ion, penyaring molekul dan sebagai katalisator.

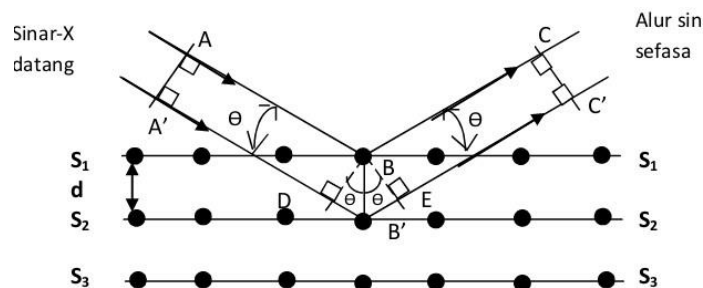
Mineral yang termasuk dalam grup zeolit pada umumnya dijumpai dalam batuan tufa yang terbentuk dari hasil sedimentasi debu vulkanik yang telah mengalami proses alterasi, proses diagenesis, dan proses hidrotermal. Lampung menjadi salah satu daerah yang memiliki potensi zeolit yang cukup tinggi yang tersebar di beberapa daerah seperti desa Ponorogo, Campang Tiga, Bandar Dalam dan Talang Baru dengan jumlah sumber daya sekitar 2.000.000 ton. Terdapat juga di Desa Tengor, Kecamatan Cukuh Balak dengan jumlah sumber daya sekitar 4.600.000 ton. Jenis zeolit yang terdapat di Lampung berjenis mordenit dan klinoptilolit [3].

Sifat zeolit sebagai adsorben dan penyaring molekul, dimungkinkan karena struktur zeolit yang berongga, sehingga zeolit mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Selain itu, kristal zeolit yang telah terdehidrasi merupakan adsorben yang selektif dan mempunyai efektivitas adsorpsi yang tinggi [4]. Zeolit sangat efisien digunakan sebagai adsorben karena memiliki daya serap yang tinggi, ketersediaan zeolit alam Indonesia melimpah, harga zeolit alam yang murah, preparasi yang sangat mudah, dapat diperbarui sehingga dapat digunakan kembali [5].

Proses karakterisasi zeolit ini bertujuan untuk menemukan sifat-sifat yang dimiliki zeolit alam Lampung untuk diaplikasikan pada *Pressure Swing Adsorption* (PSA) agar menghasilkan oksigen murni sebagai bentuk penganggulangan dampak dari pandemi COVID-19. Beberapa metode karakterisasi dapat menunjukkan karakter tersebut, seperti XRD untuk mengetahui struktur fasa, SEM untuk mengetahui morfologi permukaan zeolit, XRF untuk mengetahui komposisi kimia dan BET untuk mengetahui luas permukaannya.

X-Ray Fluoresensi (XRF) adalah metode analisis untuk mengetahui komposisi kimia pada suatu jenis material. Material-material tersebut dapat berupa padatan, cairan, bubuk, filter, dan beads. Metode XRF memiliki keunggulan karena cepat, akurat dan non-destructive (tidak merusak sampel), serta membutuhkan preparasi/persiapan sampel yang mudah. X-Ray Fluoresensi adalah salah satu metode analisis yang digunakan untuk mengetahui unsur dalam suatu material secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif memberikan informasi jenis unsur yang terkandung dalam bahan yang dianalisis. Sedangkan analisis kuantitatif memberikan informasi jumlah unsur yang terkandung dalam bahan [6].

X-Ray Diffraction atau difraksi sinar-X adalah salah satu metode analisis yang didasarkan pada interaksi antara materi dengan radiasi elektromagnetik sinar-X (memiliki $\lambda = 0,5-2,5$ Å dan energi $\pm 10^7$ eV), yaitu pengukuran radiasi sinar-X yang terdifraksi oleh bidang kristal. Penghamburan sinar-X oleh unit-unit padatan kristalin, akan menghasilkan pola-pola difraksi yang digunakan untuk menentukan susunan partikel pada kisi padatan. Difraksi sinar-X digunakan untuk mengidentifikasi fasa produk dan menghitung tingkat kristalinitas berdasarkan intensitas tertinggi. Fasa padatan sintesis diidentifikasi dengan membandingkan langsung dengan referensi yang diambil dari collection of simulated XRD powder patterns for zeolites [7].



Gambar 1. Skema dari Berkas Sinar X yang Memantulkan dari Sinar Kristal Dengan Mengikuti Hukum Bragg [7]

Spektroskopi XRD digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Dasar dari penggunaan XRD untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg seperti ditunjukkan pada persamaan 2.3. W.L Bragg menggambarkan difraksi sinar-X oleh kristal ditunjukkan seperti pada gambar 1.1. Suatu material jika dikenai oleh sinar-X maka intensitas sinar yang di transmisikan akan lebih rendah dari intensitas sinar datang, hal ini dikarenakan adanya penyerapan oleh material dan penghamburan oleh atom-atom pada material tersebut. Berkas sinar-X yang dihamburkan ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasenya yang sama. Berkas sinar-X yang menguatkan (interferensi konstruktif) dari gelombang yang terhambur adalah peristiwa difraksi. Sinar-X yang mengenai bidang kristal akan terhambur ke segala arah, agar terjadi interferensi konstruktif antara sinar yang terhambur dan beda jarak lintasannya maka harus memenuhi pola $n\lambda$ [7].

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya, yaitu karakterisasi zeolit menggunakan limbah daun jagung (*zea mays*) [8], dimana pada penelitian ini karakterisasi zeolit dilakukan dengan menggunakan proses *ion exchange* yaitu zeolit direfluks dengan menggunakan larutan LiCl untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kemurnian oksigen. Penelitian ini juga dilakukan untuk membandingkan

hasil persentase oksigen dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan alat PSA tipe *single bed* dengan media adsorben zeolit 13X [8][9].

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dilakukan tiga tahapan, yaitu proses aktivasi zeolit, karakterisasi zeolit dan pengujian adsorpsi pada PSA. Tahapan yang pertama adalah proses aktivasi zeolit, yaitu proses pembersihan zeolit dari zat-zat pengotor dan pertukaran ion dengan Litium. Aktivasi zeolit dilakukan untuk meningkatkan kemampuan zeolit sesuai dengan tujuan penggunaannya [10]. Adapun proses aktivasi zeolit adalah sebagai berikut :

1. Penggerusan Batuan Zeolit
Zeolit alam dihaluskan kemudian diayak menggunakan ayakan 4-8 mesh. Tujuannya agar luas permukaannya lebih lebar dan memudahkan proses pelarutan dengan zat kimia nantinya.
2. Pencucian dengan Aquades
Mencuci zeolit dengan aquades hingga air cucian jernih, bertujuan untuk menghilangkan pengotor yang terdapat pada permukaan zeolit.
3. *Ion Exchange* dengan Larutan LiCl
Merefluks zeolit dengan larutan LiCl 1 M pada temperatur 90°C selama 36 jam. Tujuannya agar terjadi pertukaran kation dari Litium dengan zeolit sehingga zeolit akan selektif menyerap nitrogen.
4. Kalsinasi
Memanaskan zeolit pada furnace dengan temperatur 400°C selama 10 jam. Bertujuan untuk menghilangkan kandungan air dan Cl dari larutan LiCl.

Tahap selanjutnya adalah karakterisasi zeolit. Karakterisasi bertujuan untuk mengetahui spesifikasi yang dimiliki oleh zeolit. Metode karakterisasi yang digunakan yaitu XRF dan XRD.

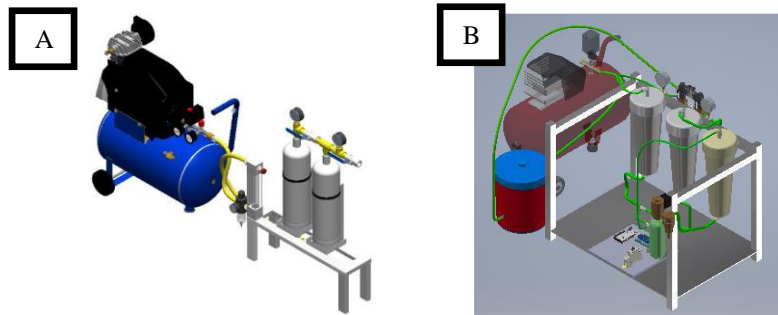
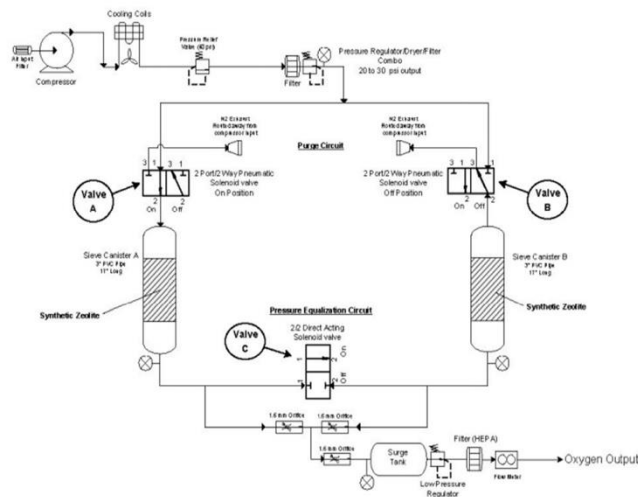
- a. Karakterisasi XRF
X-Ray Fluoresensi (XRF) adalah metode analisis untuk mengetahui komposisi kimia pada suatu jenis material [6]. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui ukuran partikel dan komposisi zeolit. Karakterisasi ini juga dapat mengetahui rasio Al/Si zeolit. Sampel yang akan dikarakterisasi dihaluskan hingga berbentuk serbuk. Kemudian serbuk tersebut dikompres hingga membentuk pellet tipis dan selanjutnya dimasukkan kedalam alat XRF. Alat XRF akan mengirimkan sejumlah data kedalam komputer yang berisi komposisi yang dimiliki sampel. Selanjutnya komputer akan menunjukkan komposisi sampel tersebut.
- b. Karakterisasi XRD
Karakterisasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dari zeolit alam Lampung yang mana akan diketahui struktur kristalnya. Pengujian ini menggunakan alat XRD yang akan menembakkan sinar X pada material uji, lalu dengan bantuan *software* akan didapat informasi tentang struktur kristalnya.

Setelah zeolit jadi, selanjutnya adalah menguji zeolit pada alat PSA. Pengujian dilakukan pada alat PSA dengan tipe *single bed* dan tipe *double bed*. Alat PSA dengan tipe *double bed* merupakan pengembangan dari tipe *single bed* dimana pada tipe *double* menggunakan dua tabung adsorber sehingga proses adsorpsi lebih maksimal. Kemudahan valve yang digunakan pada tipe *single bed* adalah manual sedangkan pada tipe *double bed* adalah semi otomatis dengan *solenoid valve* sehingga distribusi keseragaman tekanan dan aliran fluida dapat lebih konstan/stabil. Spesifikasi dari alat PSA dengan tipe *single bed* sebagai berikut [1] :

1. Tekanan operasi maksimum 7 bar.
2. Kemurnian Oksigen yang dihasilkan $\pm 50\%$.
3. Kapasitas adsorber 1.5 – 2 kg.
4. Dimensi optimal dan ekonomis.

Sedangkan alat PSA dengan tipe *double bed* memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. Kapasitas adsorber 1.5 – 2 kg.
2. Tekanan operasi maksimum 7 bar.
3. Kemurnian Oksigen yang dihasilkan $> 21\%$.
4. Laju alir volume udara sebesar 32 L/min.
5. Tingkat kebisingan alat 80 dB.
6. Daya kompresor yang dibutuhkan 1.1 kW.

Gambar 2. Alat PSA (a) Tipe *Single Bed* dan (b) Tipe *Double Bed*Gambar 3. Sirkuit Alat PSA Tipe *Double Bed*

Adapun prosedur pengujian alat PSA adalah sebagai berikut :

1. Memasukkan zeolit kedalam tabung adsorben sebanyak 900 gram untuk *single bed* dan masing-masing 500 gram untuk *double bed*. Beri penyaring berupa kapas pada bagian atas dan bawah untuk menangkap uap air dan debu agar tidak masuk kedalam tabung produk. Pastikan tutup rapat tabung adsorben hingga tidak ada kebocoran udara.
2. Mengatur tekanan PSA pada 20 Psi dan laju alir keluaran produk 4 LPM. Penentuan tekanan ini karena mengikuti kapasitas kompresor agar tekanannya stabil disetiap waktu. Laju alir keluaran produk juga ditentukan agar laju keluaran produk tetap stabil.
3. Menginput program arduino dengan variasi *switching time* 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 detik.
4. Menyalakan kelistrikan dan kompresor. Kelistrikan berfungsi untuk menggerakkan katup selenoid secara otomatis. Kompresor dinyalakan selama alat PSA berjalan agar pasokan udara stabil.
5. Membuka katup keluar kompresor sehingga proses berjalannya alat PSA dimulai.
6. Mencatat kadar oksigen dengan O_2 Analyzer setelah PSA berjalan selama 1 menit.

3. HASIL DAN ANALISIS

Zeolit adalah kristal berongga yang terbentuk oleh jaringan silika alumina tetrahedral tiga dimensi dan mempunyai struktur yang relatif teratur dengan rongga yang di dalamnya terisi oleh logam alkali atau alkali tanah sebagai penyeimbang muatannya. Rongga-rongga tersebut adalah suatu sistem saluran yang didalamnya terisi oleh molekul air [11]. Zeolit yang digunakan pada penelitian kali ini zeolit alam Lampung dan zeolit 13X. Zeolit alam Lampung memiliki luas permukaan yang luas dan stabilas termal yang bagus serta jumlahnya yang melimpah [12]. Zeolit Lampung mempunyai luas permukaan lebih besar dibandingkan luas permukaan zeolit Tasikmalaya dan zeolit Bayah, dan memiliki kemampuan adsorpsi nitrogen lebih baik [13]. Sedangkan zeolit 13X digunakan karena memiliki luas permukaan yang besar sehingga mampu menyerap lebih banyak gas dibanding zeolit alam maupun zeolit sintesis lainnya [14]. Hasil dari penelitian ini adalah hasil proses aktivasi dan *ion exchange*, hasil karakterisasi, dan hasil pengujian dengan alat PSA.

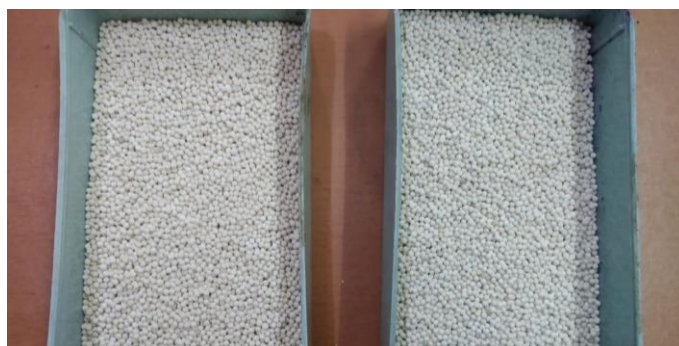
3.1. Hasil Proses Aktivasi dan Ion Exchange

Zeolit alam Lampung perlu melalui proses aktivasi sebelum digunakan, tujuannya adalah untuk membersihkannya dari zat-zat pengotor yang dapat mengganggu kinerjanya saat diaplikasikan. Proses Ion exchange bertujuan agar zeolit dapat lebih selektif menangkap nitrogen sehingga kemurnian oksigen yang didapat bisa lebih besar. Proses aktivasi zeolit alam Lampung adalah dengan cara mencucinya dengan aquades lalu dikeringkan, dan selanjutnya di Ion exchange dengan Litium menggunakan larutan LiCl 0,4 M selama 36 jam dengan temperatur 72°C. Terakhir zeolit dikalsinasi dengan temperatur 400°C selama 10 jam. Perbedaan secara visual terlihat antara zeolit alam Lampung tanpa aktivasi dan dengan diaktivasi. Zeolit yang diaktivasi terlihat lebih gelap warnanya akibat dari proses pemanasan, sedangkan zeolit alam tanpa aktivasi terlihat putih sesuai warna asli zeolit alam Lampung.



Gambar 4. Perbedaan Hasil Proses Aktivasi Zeolit Alam Lampung

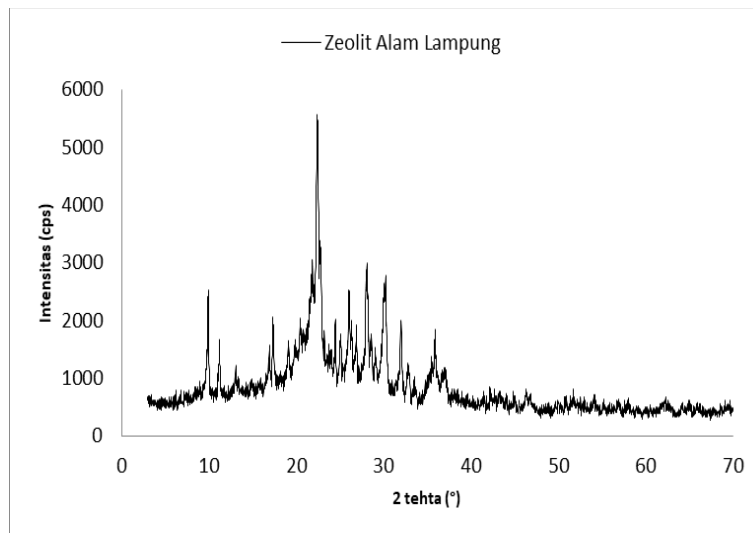
Proses *Ion exchange* zeolit 13X adalah langsung dengan larutan LiCl 0,4 M selama 36 jam dengan temperatur 72°C lalu dikalsinasi dengan temperatur 400°C selama 10 jam. Perbedaan secara visual terlihat antara zeolit alam Lampung tanpa aktivasi dan dengan diaktivasi. Zeolit yang diaktivasi terlihat lebih gelap warnanya akibat dari proses pemanasan.



Gambar 5. Perbedaan Hasil Proses Aktivasi Zeolit Alam Lampung

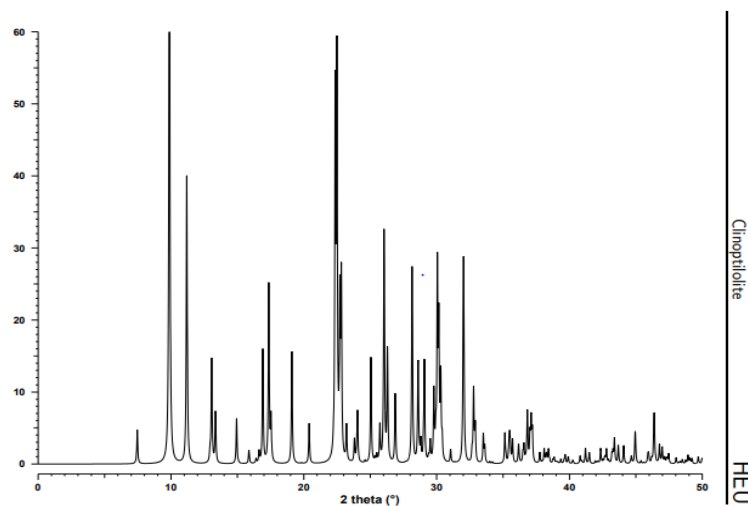
3.2. Hasil Karakterisasi

Karakterisasi bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suatu material. Pada penelitian ini, zeolit diuji karakterisasi dengan menggunakan 2 metode, yaitu XRD dan XRF. XRD bertujuan untuk mengetahui hasil Ion exchange dengan Litium dan jenis kristal yang terdapat pada zeolit, sedangkan XRF bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur yang terdapat didalam zeolit. Grafik XRD berupa dari pola difraksi yang terdiri dari beberapa *peak*. Sumbu y diplot untuk intensitas *peak* dan sumbu x diplot untuk sudut difraksi yang terukur. Posisi *peak* tergantung dari struktur kristalnya.



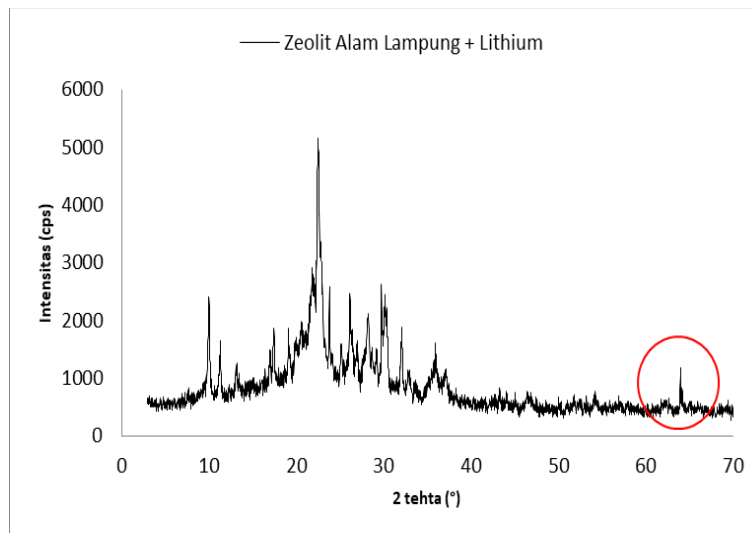
Gambar 6. Grafik XRD Zeolit Alam Lampung

Pada grafik XRD diatas, zeolit alam Lampung ini berjenis klinoptilolit. Hasil ini didapat dari komparasi bentuk kurva hasil XRD dengan bentuk kurva klinoptilolit pada buku Treacy and Higgins, dan hasilnya serupa. Secara detail, puncak-puncak difraksi muncul pada sudut 10° , 11° , 17° , 23° , 26° , 28° , 30° , dan 32° masing-masing pada intensitas (60), (40), (25), (60), (34), (28), (30), dan (29) [15].



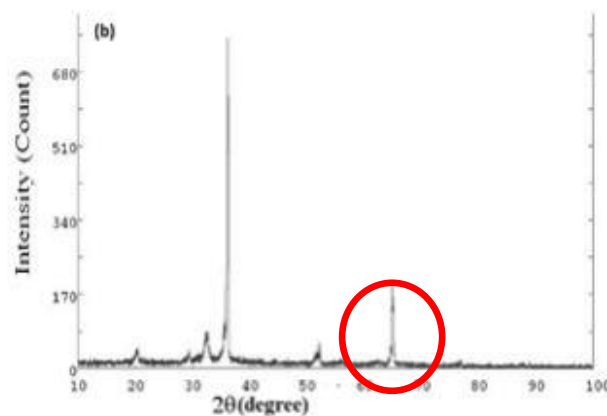
Gambar 7. Grafik XRD Klinoptilolit Treacy and Higgins [15]

Selain itu, hasil karakterisasi XRD zeolit alam Lampung ini juga diuji menggunakan aplikasi Match, dan didapat zeolit ini berjenis klinoptilolit. Pada zeolit alam Lampung yang diberi litium, terdapat perbedaan puncak seperti yang ditandai lingkaran merah yaitu pada sudut 64° dengan intensitas 1000 cps. Puncak tersebut merupakan puncak dari litium, yang sebagai tanda bahwa litium berhasil masuk kedalam zeolit.

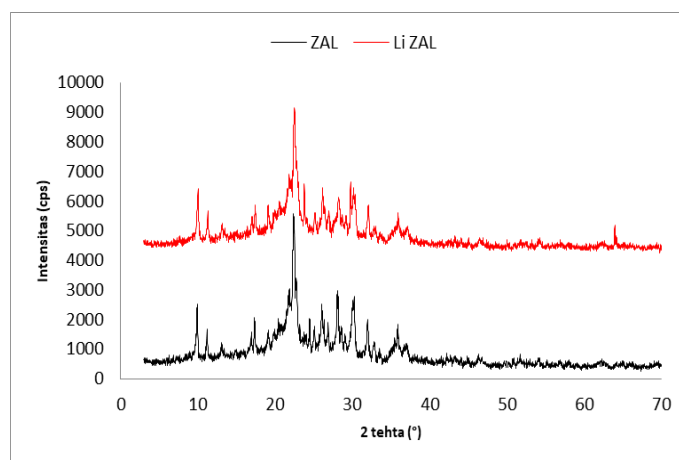


Gambar 8. Grafik XRD Zeolit Alam Lampung + Litium

Pada grafik perbandingan di bawah, terlihat bahwa proses aktivasi dan *Ion exchange* tidak berpengaruh signifikan terhadap struktur asal dari zeolit tersebut. Puncak identik litium terbaca yang artinya proses *ion exchange* berhasil. Pembesaran intensitas sebesar 4000 cps diberikan pada grafik zeolit alam Lampung litium sehingga bisa dibandingkan secara bersusun.

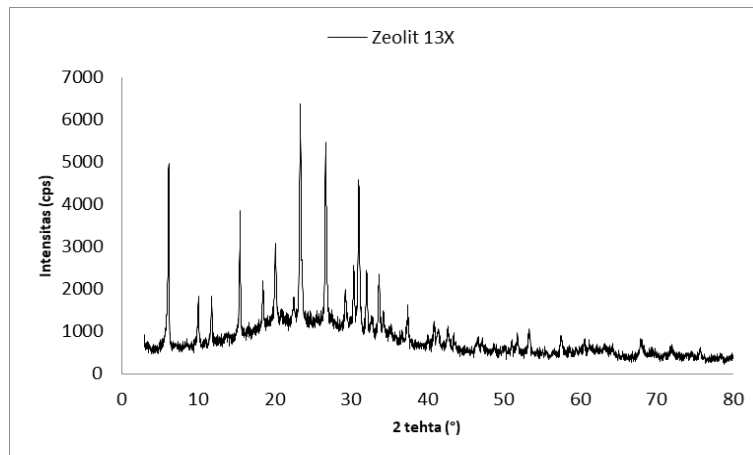


Gambar 9. Grafik XRD Litium



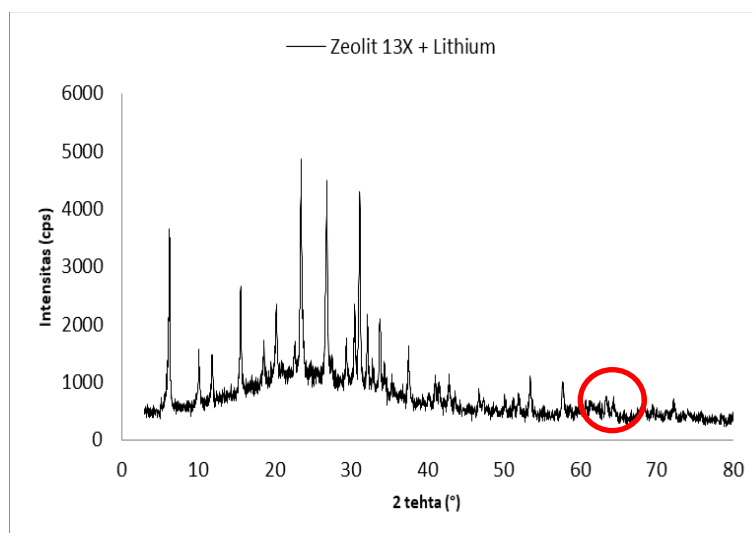
Gambar 10. Perbandingan Grafik XRD Zeolit Alam Lampung

Pada grafik hasil XRD, dengan menggunakan aplikasi Match, zeolit 13X ini berjenis NaX. Secara detail, puncak-puncak difraksi muncul pada sudut 8° , 17° , 23° , 26° , dan 30° masing-masing pada intensitas 5000, 4000, 6500, 5500, dan 4500 cps.



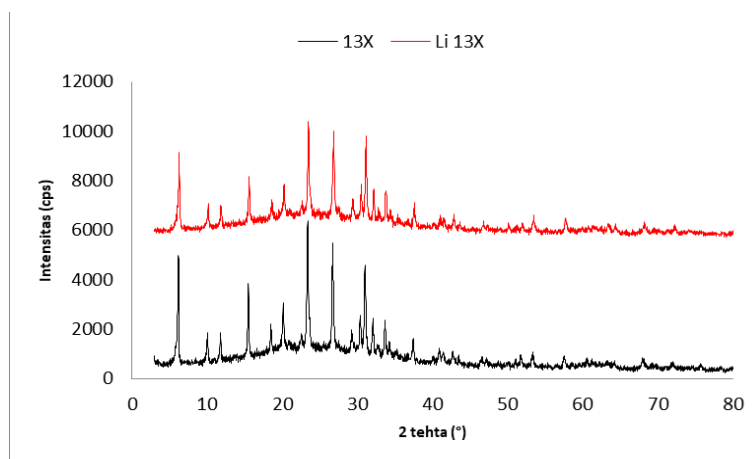
Gambar 11. Grafik XRD Zeolit 13X

Pada zeolit 13X yang diberi litium, terdapat perbedaan puncak seperti yang ditandai lingkaran merah yaitu pada sudut 63° dan 64° dengan intensitas masing-masing 900 cps. Puncak tersebut merupakan puncak dari litium, yang sebagai tanda bahwa litium berhasil masuk kedalam zeolit.



Gambar 12. Grafik XRD Zeolit 13X + Litium

Pada grafik perbandingan di bawah, terlihat bahwa proses aktivasi dan *Ion exchange* tidak berpengaruh signifikan terhadap struktur asal dari zeolit tersebut. Pembesaran intensitas sebesar 4000 cps diberikan pada grafik zeolit alam Lampung litium sehingga bisa dibandingkan secara bersusun.



Gambar 13. Perbandingan Grafik XRD Zeolit 13X

Hasil XRF menunjukkan unsur apa saja yang terkandung dalam material zeolit. Berikut adalah kandungan unsur terbesar yang ada pada masing-masing zeolit.

Tabel 1. Hasil XRF

Unsur	Jumlah (%)			
	ZAL	Li ZAL	13X	Li 13X
Al	8.7	9	17.58	19.52
Ca	4.31	3.17	2.1	2.15
Fe	2.79	2.82	2.27	2.26
K	5.05	4.55		
Si	78.06	79.07	75.83	73.52

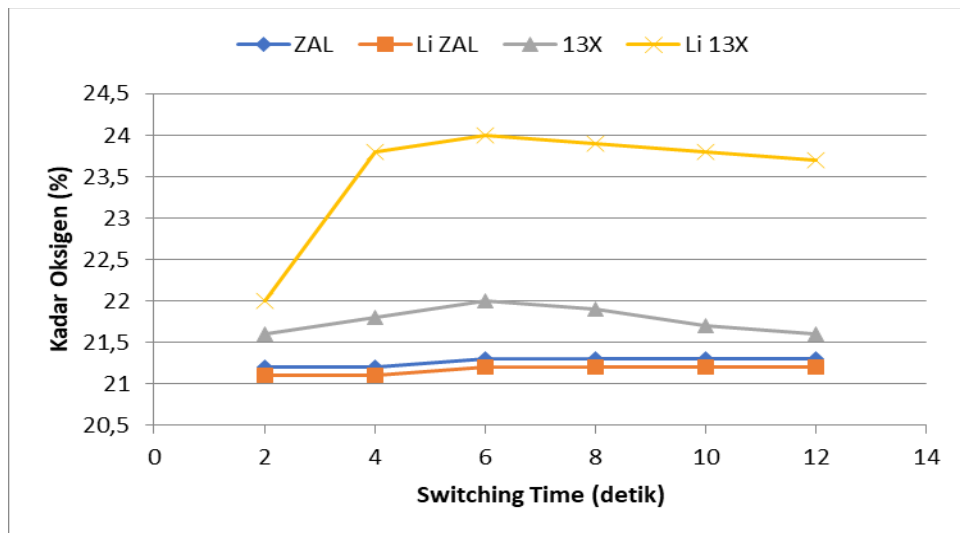
Dari pengujian XRF ini didapat bahwa zeolit alam Lampung termasuk kedalam zeolit yang memiliki rasio Si/Al sedang dengan 8,97 dan setelah melalui proses aktivasi dengan litium turun menjadi 8,78. Untuk kadar Si/Al zeolit 13X sendiri termasuk kategori rendah yaitu 4,31 dan setelah ditambahkan litium turun menjadi 3,77. Hal ini menunjukkan bahwa proses penambahan litium dapat menurunkan rasio Si/Al pada zeolit alam Lampung dan zeolit 13X.

3.3. Hasil Pengujian dengan Alat PSA

Pada pengujian dengan alat PSA, digunakan 4 jenis zeolit, yaitu zeolit alam Lampung, zeolit alam Lampung dengan Litium, zeolit 13X dan zeolit 13X dengan Litium. Tipe bed yang digunakan menggunakan tipe *single* dan *double bed*. Pada pengujian *single bed*, digunakan zeolit sebanyak 900 gram. Tekanan yang digunakan adalah 20 Psi dengan laju alir keluaran sebesar 4 LPM dan variasi *switching time* 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 detik. Nilai persentase dicatat setelah 1 menit PSA berjalan.

Tabel 2. Kadar Oksigen tipe *Single bed*

<i>Switching time</i> (detik)	Kadar oksigen yang dihasilkan (%)			
	ZAL	Li ZAL	13X	Li 13X
2	21.2	21.1	21.6	22
4	21.2	21.1	21.8	23.8
6	21.3	21.2	22	24
8	21.3	21.2	21.9	23.9
10	21.3	21.2	21.7	23.8
12	21.3	21.2	21.6	23.7

Gambar 14. Grafik Perbandingan Kadar Oksigen *Single bed*

Hasil pengujian dengan tipe *single bed* didapatkan hasil kadar oksigen tertinggi untuk varian zeolit alam Lampung yaitu 21,3%, untuk varian zeolit alam Lampung yang ditambah litium 21,2%, untuk varian zeolit 13X 22% dan untuk varian zeolit 13X yang ditambah litium sebesar 24%, dimana *switching time* terbaik ada pada waktu 6 detik. Dari hasil ini, zeolit alam Lampung terlihat sangat kecil sekali pertambahannya, yang mana ini menandakan zeolit alam Lampung kurang baik digunakan untuk adsorpsi nitrogen pada alat PSA. Penurunan persentase zeolit alam Lampung yang diberi litium kemungkinan terjadi karena proses aktivasinya yang kurang maksimal. Pada zeolit 13X, persentase kadar oksigennya lebih baik dari zeolit alam Lampung, dan pemberian litium berpengaruh pula pada kenaikan persentase oksigen yang didapat. Pada tipe *single bed*, didapat waktu terbaik pada 6 detik, ini dikarenakan pada waktu 2-4 detik proses adsorpsi terlalu cepat, sehingga nitrogen yang diserap tidak banyak, sedangkan pada waktu 6-12 detik, waktu adsorpsi terlalu lama sehingga adsorben jenuh, dan banyak udara yang lewat begitu saja tanpa teradsorpsi.

Jika dibandingkan dengan penelitian yang sebelumnya sudah dilakukan dengan alat PSA tipe *single bed* menggunakan media adsorben zeolit 13X dan kombinasi antara zeolit 13X dengan zeolit alam Bayah persentase oksigen yang dihasilkan cukup jauh di bawahnya. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada tabel 3.3. Pengujian ini dilakukan dengan variasi laju alir udaranya yaitu 20, 25, 30, 35, dan 40 L/min dimana setiap 20 detik dilakukan pengukuran persentasenya [8]. Kemurnian oksigen hasil pengujian zeolit 13X sangat berbeda dengan yang dilakukan pada penelitian ini, hal ini dikarenakan perbedaan laju alirnya.

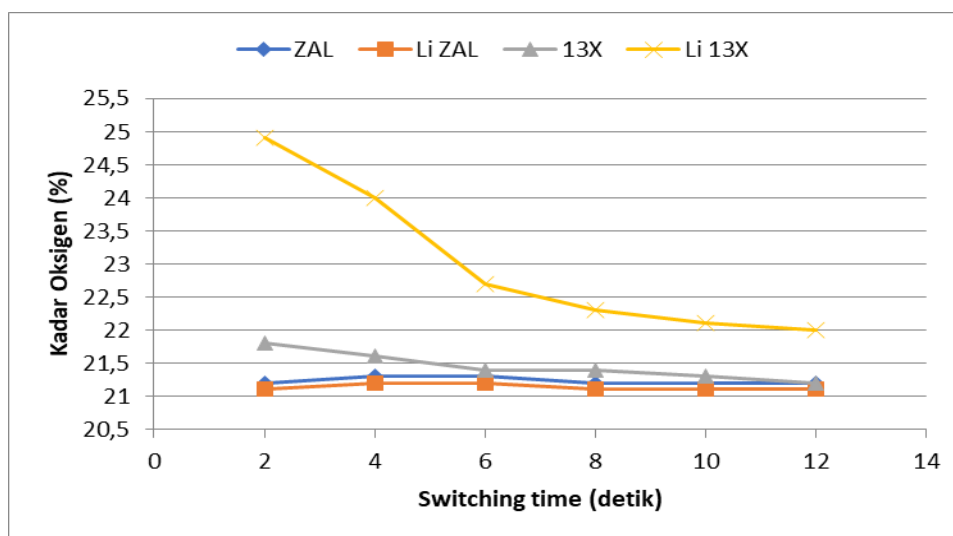
Tabel 3. Kadar Oksigen Penelitian Sebelumnya Tipe *Single Bed* [8]

Times (s)	Flow rate (L/minutes)	Concentration O ₂ (%)	
		13X Zeolite	13X Zeolite +ZAB
20	20	82	73
40		81	72
60		80	71
20	25	80	71
40		78	69
60		76	67
20	30	78	69
40		76	67
60		74	64
20	35	76	65
40		73	62
60		70	59
20	40	72	61
40		69	57
60		65	53

Pada pengujian *double bed*, digunakan zeolit sebanyak 1000 gram dengan masing-masing 500 gram disetiap *bed* nya. Tekanan yang digunakan adalah 20 Psi dengan laju alir keluaran sebesar 4 LPM dengan variasi waktu *switching time* 2, 4, 6, 8, 10 dan 12 detik.

Tabel 4. Kadar Oksigen Tipe *Double bed*

Switching time (detik)	Kadar oksigen yang dihasilkan (%)			
	ZAL	Li ZAL	13X	Li 13X
2	21.2	21.1	21.8	24.9
4	21.3	21.2	21.6	24
6	21.3	21.2	21.4	22.7
8	21.2	21.1	21.4	22.3
10	21.2	21.1	21.3	22.1
12	21.2	21.1	21.2	22

Gambar 15. Grafik Perbandingan Kadar Oksigen *Double bed*

Pada tipe *double bed*, didapat nilai tertinggi kadar oksigen pada zeolit alam Lampung yaitu sebesar 21,3%, untuk varian zeolit alam Lampung yang ditambah litium 21,2%, untuk varian zeolit 13X 21,8% dan untuk varian zeolit 13X yang ditambah litium sebesar 24,9%, dimana *switching time* terbaik untuk zeolit alam Lampung ada pada waktu 4 dan 6 detik, sedangkan untuk zeolite 13X ada pada waktu 2 detik. Pada tipe *double bed*, waktu yang singkat menghasilkan lebih banyak oksigen, hal ini disebabkan karena pada konfigurasi *double bed* menggunakan masing-masing hanya 500 gram zeolit, sehingga waktu yang lama saat proses adsorpsi, membuat adsorben jenuh dan banyak udara yang tidak teradsorpsi.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian XRD, diketahui bahwa zeolit alam Lampung berjenis klinoptilolit dan zeolit 13X adalah berjenis NaX. Proses aktivasi dan *Ion exchange* tidak merubah struktur utama dari zeolit tersebut. Unsur-unsur kimia yang terkandung dalam zeolit alam Lampung yang didapat melalui pengujian XRF antara lain Al 8,7%, Ca 4,32 %, Fe 2,79%, K 5,05%, Si 78,06%, dan untuk zeolit alam Lampung yang diberi litium antara lain Al 9%, Ca 3,17%, 2,82%, 4,55%, Si 79,07%. Untuk zeolit 13X unsur yang terdapat didalamnya antara lain Al 17,58%, Ca, 2,1%, Fe 2,27%, Si 75,8%, dan zeolit 13X yang diberi litium antara lain Al 19,52%, Ca 2,15%, Fe 2,26%, Si 73,52%. Dari pengujian XRF ini didapat bahwa zeolit alam Lampung termasuk kedalam zeolit yang memiliki rasio Si/Al sedang dengan 8,97 dan setelah melalui proses aktivasi dengan litium turun menjadi 8,78. Untuk kadar Si/Al zeolit 13X sendiri termasuk kategori rendah yaitu 4,31 dan setelah ditambahkan litium turun menjadi 3,77. Hal ini menunjukkan bahwa proses penambahan litium dapat menurunkan rasio Si/Al pada zeolit alam Lampung dan zeolit 13X.

Kemampuan zeolit dalam menghasilkan oksigen melalui alat PSA didapat yaitu kadar oksigen tertinggi untuk zeolit alam Lampung sebesar 21,3% untuk tipe *single bed* dan *double bed*. Untuk zeolit alam Lampung yang ditambahkan litium yaitu 21,2% untuk *single bed* dan *double bed*. Untuk zeolit 13X yaitu sebesar 22%

untuk tipe *single bed* dan 21,8 untuk tipe *double bed*. Untuk zeolit 13X yang ditambah litium yaitu sebesar 24% untuk *single bed* dan 24,9% untuk tipe *double bed*. Waktu terbaik untuk *switching time* pada alat PSA didapat untuk zeolit alam Lampung dan zeolit 13X dengan tipe *single bed* yaitu 6 detik. Sedangkan pada tipe *double bed*, *switching time* terbaik untuk zeolit alam Lampung pada 4 dan 6 detik, dan zeolit 13X pada 2 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Satria *et al.*, "Analysis of Pressure Laboratory Scale Swing Adsorption (PSA) Varian Design using Zeolite 13X as Adsorben Medium," *JEMMME (Journal Energy, Mech. Mater. Manuf. Eng.)*, vol. 6, no. 2, pp. 103–110, 2021, doi: 10.22219/jemmme.v6i2.17777.
- [2] D. Sriharsari, "Penggunaan Zeolit Alam Yang Telah Diaktivasi Dengan Larutan HCl Untuk Menyerap Logam-Logam Penyebab Kesadahan Air," *Glob. Shad. Africa Neoliberal World Order*, vol. 44, no. 2, pp. 8–10, 2006.
- [3] Kusdarto, "Potensi Zeolit Di Indonesia," *J. Zeolit Indones.*, vol. 7, no. 1411–6723, p. 2, 2008.
- [4] D. Dwi Anggoro, *Buku Ajar Teori dan Aplikasi Rekayasa Zeolit*, no. 1. 2018.
- [5] H. Hulyadi, "Karakterisasi Zeolit Alam Selong Belanak Lombok Sebagai Adsorben Dalam Pemurnian Alkohol Fermentasi," *Hydrog. J. Kependidikan Kim.*, vol. 5, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.33394/hjkk.v5i1.101.
- [6] N. Fitri, E. Yusibani, and E. Yufita, "Identification of Adhesive Material Substance in Ancient Fortress Located at Aceh Besar using XRF," *J. Aceh Phys. Soc.*, 2016, [Online]. Available: <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/JAcPS/article/view/5455%0Ahttp://www.jurnal.unsyiah.ac.id/JAcPS/article/download/5455/4533>.
- [7] I. Ilahiyah, "Sintesis dan Karakterisasi Nanozeolit Y Dari Abu Sekam Padi Dengan Variasi Waktu Pemeraman," *J. Food Sci.*, vol. 76, no. 8, p. 28, 2011, doi: 10.1111/j.1750-3841.2011.02348.x.
- [8] D. Satria, T. Kurniawan, I. Rosyadi, R. Lusiani, M. P. Pinem, and N. J. Salman, "The Effect of Air Flow Rate on Oxygen Purity Level in Pressure Swing Adsorption Equipment with Zeolite 13x and Natural Zeolite Bayah," *Proc. Conf. Broad Expo. to Sci. Technol. 2021 (BEST 2021)*, vol. 210, no. Best 2021, pp. 396–401, 2022, doi: 10.2991/aer.k.220131.059.
- [9] D. Satria, T. Kurniawan, and N. J. Salman, "the Effect of Variation of Zeolite As Adsorbent Medium and Adsorption Pressure Toward the Quality of Oxygen Produced From Pressure Swing Adsorption (Psa)," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 1, pp. 119–127, 2022, doi: 10.21776/ub.jrm.2022.013.01.13.
- [10] R. Frezer, "Percobaan Adsorpsi Nitrogen dan Metana Didalam Zeolit pada Tekanan Tinggi serta Pemodelannya," Universitas Indonesia, 2008.
- [11] D. K. Rini and F. Anthonius, "Optimasi Aktivasi Zeolit Alam untuk Dehumidifikasi," *Jur. Tek. Kim. Fak. Tek. Semarang Univ. Diponegoro*, no. 024, pp. 1–11, 2010.
- [12] A. G. Dianty, A. R. S. Harahap, C. Harfian, and S. Bismo, "Wet impregnation of silver oxide on Lampung natural zeolite as an adsorbent to produce oxygen-enriched air using PSA technique," *MATEC Web Conf.*, vol. 154, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1051/mateconf/201815401013.
- [13] R. K. Aslina Br Ginting, Dian Anggraini, Sutri Indrayati, "Karakteristik komposisi kimia, luas permukaan pori dan sifat termal dari zeolit Bayah, Tasikmalaya, dan Lampung [Chemical composition characteristics, pore surface area and thermal properties of Bayah, Tasikmalaya, and Lampung zeolites]," *J. Teknol. Bahan Nukl.*, vol. 3, no. 1, pp. 38–48, 2007, [Online]. Available: <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jtbn/article/view/441/815>.
- [14] H. M. Magee and M. N. S. Sullivan, "Nitrogen Gas Adsorption in Zeolites 13X and 5A," *Adsorption*, vol. 24, pp. 2563–5698, 2010.
- [15] M. M. J. Treacy and J. B. Higgins, *Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites*. 2001.