



Pembuatan Adsorben CO₂ Berbahan Dasar Zeolit Alam yang Diimpregnasi Dengan Methyl Diethanol Amine Dan Uji Kapasitas Adsorpsi CO₂ Dengan Sistem Batch

Roza Adriany¹⁾, Devitra Sakarani¹⁾, Abdul Haris¹⁾, Efa Yenti¹⁾, Leni Herlina¹⁾, Nurul Hidayati¹⁾, Morina¹⁾, Herizal¹⁾, Atyanto Daru Atmoko¹⁾, Rudi Suhartono¹⁾ dan Rahmadian Arief²⁾

¹⁾Badan Riset dan Inovasi Nasional, Pusat Riset Teknologi Industri Proses dan Manufaktur Jl. Gatot Subroto Kuningan Barat, Mampang, Jakarta Selatan, 12710, Indonesia.

²⁾Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret Surakarta Jl. Ir. Sutami No.36 A Jebres Surakarta, Jawa Tengah, 57126, Indonesia

ABSTRAK

Artikel Info:

Naskah Diterima:
15 Agustus 2023
Diterima setelah perbaikan:
07 September 2023
Disetujui terbit:
04 Oktober 2023

Telah dilakukan penelitian mengenai pembuatan adsorben CO₂ berbahan dasar zeolit alam dari daerah Bayah dan pengujian kapasitas adsorpsi CO₂ dengan sistem batch. Metodologi pembuatan adsorben adalah zeolit diaktivasi kemudian diimpregnasi dengan MDEA yang mengandung Piperazin 6% yang berfungsi sebagai aktivator reaksi. Konsentrasi MDEA yang diimpregnasikan yaitu 10% dan 15%. Adsorben kemudian dianalisis dengan alat FTIR, XRD, SEM, dan dilakukan uji kapasitas adsorpsi CO₂ pada suhu ruang menggunakan alat uji adsorpsi CO₂ sistem batch. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas adsorpsi CO₂ maksimum diperoleh pada konsentrasi MDEA 15% yaitu 5,152 mg CO₂/g adsorben.

ABSTRACT

Kata Kunci:

zeolit
adsorben CO₂
metil dietanol amina
piperazin

This research purpose to make CO₂ adsorbents based on natural zeolite from Bayah. Zeolite was activated and impregnated with 10% and 15% MDEA that contains 6% Piperazine. The resulting adsorbent then analyzed on FTIR, XRD, and SEM. The capacity of CO₂ adsorption was tested using the batch system at room temperature. The results showed that the maximum capacity of CO₂ adsorption was 5.152 mg CO₂/g adsorbent at 15% MDEA concentration.

© LPMGB - 2023

PENDAHULUAN

Senyawa Metil Dietanol Amina (MDEA) telah banyak digunakan untuk penangkapan gas CO₂, antara lain pada pemurnian gas alam dimana MDEA dilarutkan dalam air dengan konsentrasi 30% hingga 50%. MDEA yang digunakan biasanya ditambah dengan aktivator reaksi seperti Piperazin. (Jiru Ying 2017). Penelitian tentang penangkapan CO₂ dari biogas menggunakan larutan MDEA 20% dan 35,1

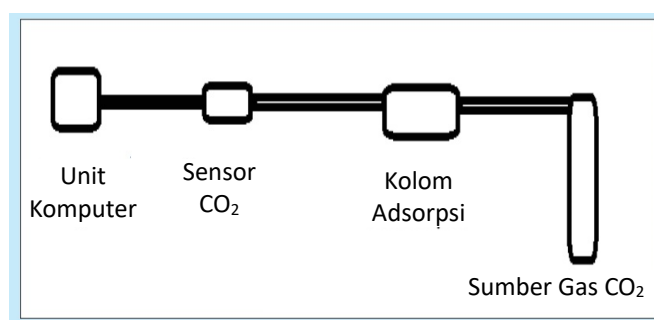
% dengan sistem kontinyu, di dalam kolom absorpsi yang terbuat dari spiral tembaga dengan diameter 6 cm dan panjang 75 cm telah dilakukan oleh Ningrum, 2019. Meskipun demikian, penangkapan CO₂ menggunakan MDEA ini mempunyai kelemahan, antara lain dapat menimbulkan efek korosi pada peralatan yang digunakan, meskipun tidak lebih korosif dibandingkan dengan Methyl Ethanol Amine (MEA). (Junhan Yang 2020). Penelitian mengenai inisiasi korosi dan *stress Corrosion Cracking* (SCC) pada baja tahan karat austenitik tipe 304 dan 316 dalam larutan MDEA membuktikan bahwa

Korespondensi:
E-mail: roza002@brin.go.id (Roza Adriany)

peningkatan konsentrasi larutan MDEA dari 30 menjadi 50% berat mempunyai pengaruh kecil terhadap korosi baja tahan karat 304 dan 316, sementara peningkatan suhu dari 25 menjadi 70°C meningkatkan laju korosi hampir dua kali lipat. (Panahi 2018). Untuk mengurangi efek korosi dan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi CO₂, maka MDEA dapat diimpregnasi ke dalam adsorben padat berpori seperti zeolit alam dimana MDEA melapisi dinding pori zeolit sehingga dapat meningkatkan luas kontak antara gas CO₂ dengan MDEA, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi

gas CO₂. Impregnasi MDEA yang mengandung Piperazin 6% ke dalam pori zeolit alam dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi CO₂ dari 16,17 mg CO₂/g adsorben menjadi 33,6 mg CO₂/g adsorben, pada konsentrasi MDEA 20%. Alat adsorpsi yang digunakan adalah sistem kontinyu dimana gas CO₂ dialirkan melewati adsorben, seperti yang disajikan pada Gambar 1.

Impregnasi MDEA tanpa aktivator Piperazin ke dalam pori zeolit alam dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi CO₂ dari 16,17 mg CO₂/g adsorben menjadi 28,38 mg CO₂/g adsorben, pada konsentrasi MDEA



Gambar 1
Alat uji kapasitas adsorpsi CO₂ sistem kontinyu. (Roza Adriany, April 2016).

15%. Alat adsorpsi yang digunakan juga sistem kontinyu dimana gas CO₂ dialirkan melewati adsorben. (Roza Adriany 2016).

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan adsorben CO₂ berbahan dasar zeolit alam dari daerah Bayah Banten yang diimpregnasi dengan MDEA yang mengandung aktivator Piperazin 6% dimana proses adsorpsi CO₂ menggunakan alat sistem *batch*. Kelebihan sistem *batch* adalah alat lebih sederhana dibandingkan sistem kontinyu.

Maksud dan tujuan penelitian adalah membuat adsorben CO₂ berbahan dasar zeolit alam yang diimpregnasi dengan MDEA yang mengandung aktivator Piperazin 6% dan melakukan uji kapasitas adsorpsi CO₂ menggunakan alat sistem *batch*.

BAHAN DAN METODE

Metode pembuatan adsorben adalah zeolit diaktivasi dengan HCl 5N kemudian diimpregnasi dengan MDEA yang mengandung Piperazin 6%. Konsentrasi MDEA yang diimpregnasikan yaitu 10% dan 15%. Adsorben kemudian dianalisis dengan alat FTIR, XRD, SEM, dan dilakukan uji kapasitas

adsorpsi CO₂ pada suhu ruang menggunakan alat uji adsorpsi CO₂ sistem *batch*.

Alat

Alat utama yang digunakan adalah alat uji adsorpsi CO₂ sistem *batch* yang terbuat dari tabung logam berukuran 1,5 Liter yang dilengkapi dengan lubang untuk memasukkan sampel dan untuk menempatkan alat pengukur tekanan di dalam tabung, seperti yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2
Alat uji adsorpsi CO₂ sistem *batch*

Bahan

Bahan utama adalah zeolit dari Bayah Banten dengan ukuran 70-90 mesh, larutan MDEA mengandung Piperazine 6% dan gas CO₂ murni dengan konsentrasi 99,9 %.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian terdiri dari : aktivasi zeolit, impregnasi MDEA ke dalam zeolit, karakterisasi adsorben menggunakan alat : Fourier Transform Infra Red (FTIR), X Ray Diffraction (XRD) dan Scanning Electron Microscope (SEM) dan pengujian kapasitas adsorpsi CO₂ dari adsorben.

Aktivasi Zeolit Alam

Zeolit berukuran 70-90 mesh dicuci dengan akuades kemudian dikeringkan pada suhu 120 °C. Zeolit yang sudah bersih dilakukan aktivasi dengan HCl 5N dengan cara perendaman di dalam HCl 5N selama 24 jam, kemudian dicuci dengan akuades hingga pH larutan hasil pencucian sama dengan pH akuades, kemudian dipanaskan pada suhu 120 °C selama 8 jam untuk membersihkan pori.

Impregnasi MDEA

160 mL larutan MDEA yang mengandung aktivator Piperazin 6%, dituang sedikit demi sedikit ke dalam 200 g zeolit alam sambil diaduk hingga homogen, kemudian zeolit hasil impregnasi tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C selama sekitar 5 jam.

Uji Adsorpsi CO₂ dari Adsorben

Sebanyak 100 g adsorben dimasukkan ke dalam tabung uji dan ditutup rapat. Gas CO₂ dialirkan ke dalam tabung uji dengan tekanan sebesar 15 psi. Stop watch dihidupkan dan tekanan pada pressure gauge dicatat tiap 10 menit sampai penyerapan maksimal yang ditandai dengan tidak terdapatnya perubahan tekanan yang terjadi selama 4 jam.

Konsentrasi CO₂ yang terserap oleh adsorben ditentukan dengan pendekatan persamaan gas ideal:

$$P V = n R T$$

$$P = \text{Tekanan (atm)}$$

$$V = \text{Volume (L)}$$

$$N = \text{mol gas CO}_2$$

$$T = \text{suhu (K)}$$

$$R = \text{konstanta (L.atm.mol}^{-1}, \text{K}^{-1})$$

HASIL DAN DISKUSI

Karakterisasi

Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR

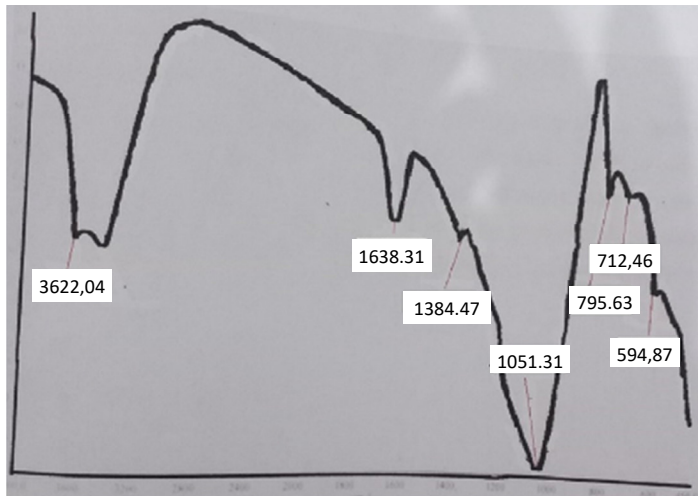
Data hasil analisis gugus fungsi dengan FT IR untuk zeolit alam sebelum aktifasi dan setelah aktifasi, serta adsorben zeolit alam yang diimpregnasi dengan MDEA, disajikan pada Tabel 1. Spektrum FT IR untuk masing-masing sampel disajikan pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5.

Tabel 1
Data spektrum FTIR zeolit alam Bayah

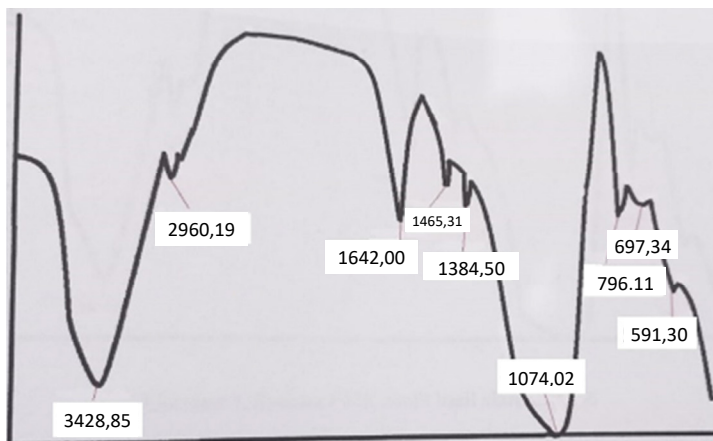
Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		
	Zeolit Alam Sebelum Aktifasi	Zeolit Alam Setelah Aktifasi	Adsorben Zeolit Alam Diimpregnasi dengan MDEA
OH	3622,04	3428,85	3405,66
Si-O	1638,31	1642,00	1638,31
Al-O	1051,31	1074,02	1042,13
K-O	795,63	796,11	796,21
Na-O	594,87	591,30	591,90

Selain gugus fungsi yang disajikan pada Tabel 1, pada adsorben zeolit yang diimpregnasi dengan MDEA, terdapat dua gugus fungsi lain, yaitu gugus

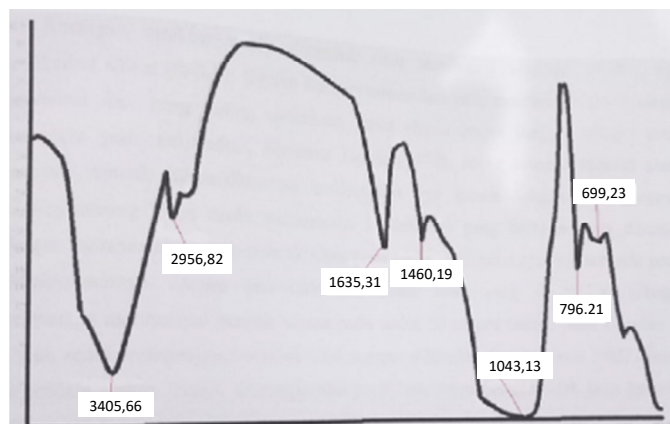
CH_2 pada bilangan gelombang $2956,82 \text{ cm}^{-1}$ dan gugus NH_2 pada bilangan gelombang $1460,19 \text{ cm}^{-1}$.



Gambar 3
Spektrum FTIR Zeolit sebelum aktivasi



Gambar 4
Spektrum FTIR Zeolit setelah aktivasi



Gambar 5
Spektrum FTIR Zeolit diimpregnasi dengan MDEA

Penentuan jenis batuan dengan XRD.

Karakterisasi menggunakan difraksi sinar X (XRD) memberikan informasi tentang mikrostruktur suatu kristal.

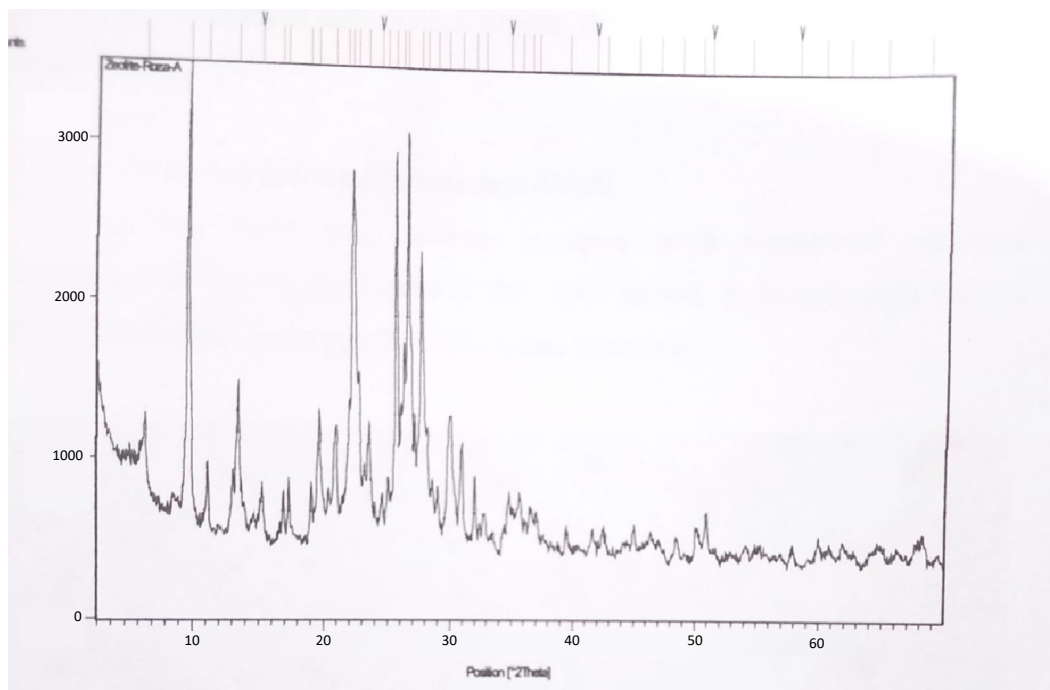
Zeolit alam bayah yang digunakan pada penelitian ini mempunyai puncak utama pada sudut 2θ . Difraktogram zeolite alam bayah disajikan pada Gambar 6, dan data nilai 2θ disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2
Nilai 2θ Zeolit alam bayah

2θ Mordenit pada Sampel Zeolit	2θ Standar Mordenit
22,58	25,58
27,70	27,68
22,31	22,21
2θ Klinoptilolit pada Sampel Zeolit	2θ Standar Klinoptilolit
9,89	9,87
22,36	22,34
22,48	22,46
2θ Kuarsa pada Sampel Zeolit	2θ Standar Kuarsa
26,61	26,64
20,86	20,86
50,15	50,14

Data 2θ hasil pengujian sampel zeolite alam bayah dibandingkan dengan data 2θ dari *Joint Comitte of Powder Diffraction Standard JCPDS* yang dilengkapi dengan *XRD Simulated Pattern*, dengan cara membandingkan jumlah intensitas (I)

pada 3 puncak tertinggi dari difraktogram. Analisis XRD menunjukkan bahwa seluruh zeolit Bayah merupakan zeolit bertipe mordenit, klinoptilolit, dan heulandit dengan fasa pengotor quartz (Muhammad Hakiki, 2021)

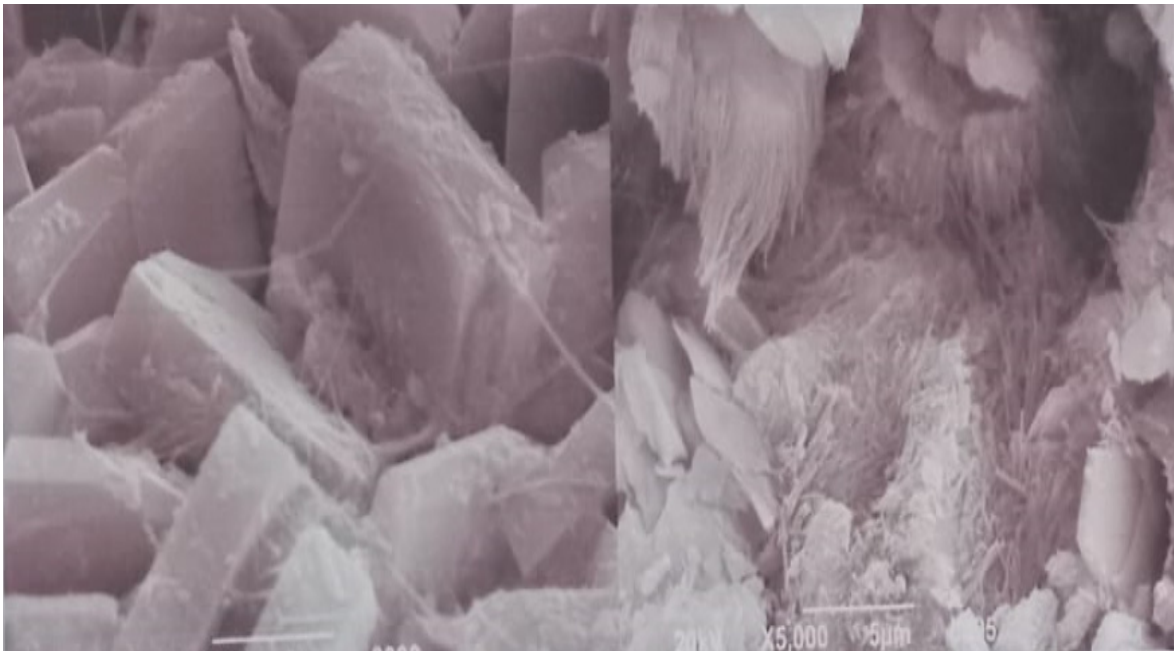


Gambar 6
Difraktogram Zeolit alam

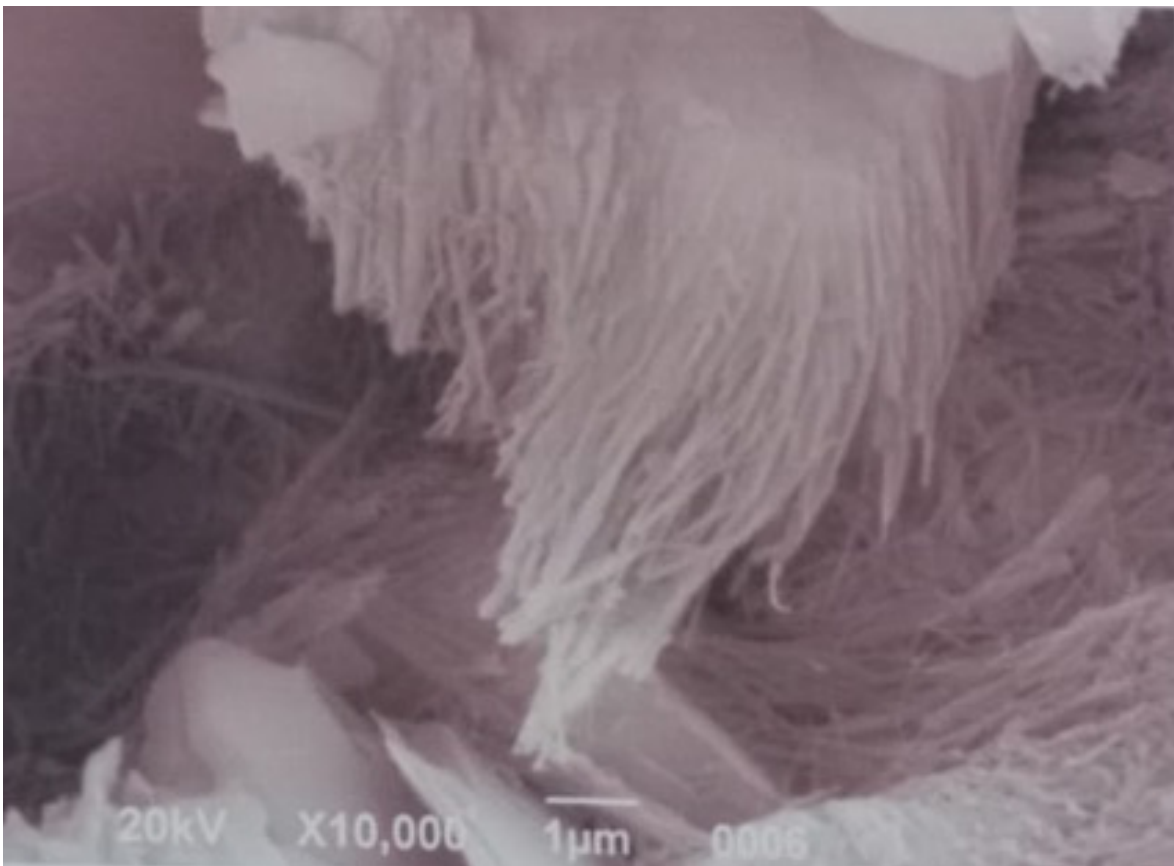
Analisis scanning electron microscope (SEM)

Karakterisasi SEM pada padatan bertujuan untuk

mengetahui morfologi permukaan dan keseragaman partikel. Hasil uji SEM pada sampel zeolit Bayah disajikan pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7
Struktur kristal mordenit Zeolit alam perbesaran 5000 kali.



Gambar 8
Struktur kristal mordenit Zeolit alam perbesaran 10.000 kali.

Dari Gambar 7 dan Gambar 8, terlihat morfologi zeolit alam Bayah ini termasuk jenis mordenit, dimana memiliki penampakan yang menyerupai lembaran dan membentuk menjarum dengan ukuran sebesar 5 mikrometer.

Hasil Uji Adsorpsi CO₂

Hasil uji adsorpsi CO₂ dari adsorben Zeolit yang diimpregnasi dengan MDEA disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3
Hasil Uji Adsorpsi CO₂

Jenis Adsorben	Kapasitas Adsorpsi (mg CO ₂ /g Adsorben)
Zeolit diimpregnasi dengan MDEA 10%	1,978
Zeolit diimpregnasi dengan MDEA 15%	5,152

Kapasitas adsorpsi CO₂ pada adsorben Zeolit yang diimpregnasi dengan MDEA 15% lebih besar dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi CO₂ pada adsorben Zeolit yang diimpregnasi dengan MDEA 10%. Ini menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi MDEA dari 10% menjadi 15% dapat menaikkan kapasitas adsorpsi CO₂

Kapasitas adsorpsi CO₂ dari adsorben dengan sistem *batch* ini lebih rendah bila dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi CO₂ menggunakan alat sistem kontinyu, yang dilakukan Roza Adriany (2016), dimana kapasitas adsorpsi CO₂ dari adsorben zeolit alam Bayah yang diimpregnasi dengan MDEA 15% adalah sebesar 26,93 mg CO₂/g adsorben. Hal ini kemungkinan disebabkan karena adsorben yang diletakkan pada bagian dasar alat uji, tidak semua dapat berkontak dengan gas CO₂, hanya adsorben yang dibagian permukaan tabung uji yang berkontak langsung dengan gas CO₂, sedangkan adsorben yang berada di lapisan bawah kemungkinan tidak bersentuhan dengan gas CO₂ sehingga tidak terjadi penyerapan gas CO₂.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem kontinyu lebih baik digunakan dibandingkan dengan sistem *batch* pada

penangkapan CO₂ oleh adsorben zeolit alam yang diimpregnasi dengan MDEA.

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk tetap menggunakan alat adsorpsi CO₂ sistem kontinyu dan mencoba untuk menggunakan zeolit sintetik yang diimpregnasi dengan MDEA sebagai adsorben, disebabkan karena zeolit sintetik mempunyai ukuran pori yang bisa diatur sedemikian rupa sehingga ukuran pori seragam dan dapat lebih besar dibandingkan ukuran pori zeolit alam. Dengan Demikian diharapkan dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi CO₂.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada personil laboratorium Proses “Lemigas” yang telah membantu preparasi dan pelaksanaan pengujian sampel adsorben.

DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

Simbol	Definisi	Unit
%	Persen	Satuan konsentrasi
mL	mililiter	Satuan volume
mg	miligram	Satuan massa
g	gram	Satuan massa
mg CO ₂ /g	mili gram CO ₂ per satu gram	Satuan konsentrasi CO ₂
°	Teta	Sudut

KEPUSTAKAAN

Panahi, A. Eslami, M.A. Golozar, 2018, “Corrosion and stress corrosion cracking initiation of grade 304 and 316 stainless steels in activated Methyl Diethanol Amine (aMDEA) solution, *Journal of Natural Gas Science and Engineer-*

ing, Volume 55, July 2018, Pages 106-112

Jiru Ying, Stef Raets , Dag Eimer, 2017, “*The Activator Mechanism of Piperazine in Aqueous Methyl-diethanolamine Solutions*”, Elsevier, Energy Procedia, Volume 114, July 2017, Pages 2078-2087

Junhan Yang, 2020, “*Corrosion Behavior of Carbon Steel in Carbonated MDEA-MEA Aqueous Solutions*”, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 446 (2020) 032087

Muhammad Hakiki , Muhammad Makiyi , Nuryoto Nuryoto , Rahmayetty Rahmayetty, 2021, “Pengaruh Lokasi Zeolit Alam Bayah terhadap Adsorpsi Amonium : Studi Kinetika dan Kesetimbangan”, Jurnal Teknologi Lingkungan, Volume 22 , nomor 1, Pusat Teknologi Lingkungan, Deputi Bidang Teknologi Pengembangan Sumber Daya Alam, Badan Kajian dan Penerapan Teknologi.

Ningrum, 2019, Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris pada Absorpsi CO₂ dalam Biogas Menggunakan Kolom Bahan Isian dengan Larutan Metil Dietanol Amina (MDEA), Jurnal Teknologi, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Jayabaya, Volume 7, nomor 1, 2019.

Roza Adriany, 2016, “Peningkatan Kapasitas Adsorpsi CO₂ dari Adsorben Metil Dietanol Amina (MDEA) Berpenyangga Zeolit Alam”, Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi , Volume 50 , nomor 1, April 2016.

Roza Adriany, 2016, “Studi Pendahuluan Pembuatan Adsorben Metil Dietanol Amina (MDEA) Berpenyangga Zeolit Alam” Untuk Penangkapan CO₂, Seminar Nasional Technopreneurship dan Alih Teknologi, Volume 1, Nomor 1, Februari 2016.