

**MODIFIKASI ZEOLIT ALAM MENJADI ZEOLITE SOCONY
MOBIL-5 (ZSM-5) SEBAGAI MEDIA PURIFIKASI BIOGAS**

PENELITIAN

**Diajukan sebagai persyaratan untuk
Menyelesaikan Program Pendidikan S1 Teknik Kimia**



**Oleh :
Esther Mutiara Santallum Ekklesia Tibalia
22160304D**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SETIA BUDI
SURAKARTA
2020**

LEMBAR PENGESAHAN

**MODIFIKASI ZEOLIT ALAM MENJADI ZEOLITE SOCONY MOBIL-5
(ZSM-5) SEBAGAI MEDIA PURIFIKASI BIOGAS**

Oleh :

ESTHER MUTIARA SANTALLUM EKKLESIA TIBALIA

22160304D

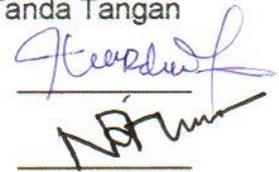
Telah Dipertahankan Oleh Tim Penguji
Pada Tanggal 05 Februari 2020

Nama

Tanda Tangan

Penguji I : Ir. Sumardiyono, M.T.

Penguji II : Narimo, S. T., M. M.



Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Setia Budi



Dr. Suseno, M.Si.
NIS 01199408011044

Kepala Program Studi
S1 Teknik Kimia



Gregorius P. I. Budiarto, S. T., M. Eng.
NIS 01201407261183

LEMBAR PERSETUJUAN

**MODIFIKASI ZEOLIT ALAM MENJADI ZEOLITE SOCONY MOBIL-5
(ZSM-5) SEBAGAI MEDIA PURIFIKASI BIOGAS**

Oleh :

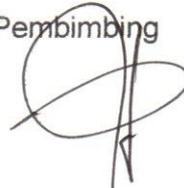
ESTHER MUTIARA SANTALLUM EKKLESIA TIBALIA

22160304D

Telah Disetujui Oleh Pembimbing

Pada Tanggal 05 Februari 2020

Pembimbing

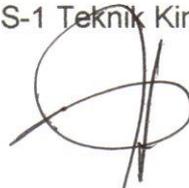


Gregorius Prima Indra Budianto, S. T., M. Eng.
NIS 01201407261183

Mengetahui,

Kepala Program Studi

S-1 Teknik Kimia



Gregorius Prima Indra Budianto, S. T., M. Eng.
NIS 01201407261183

PRAKATA

Segala puji syukur kepada Allah Yang Maha Esa, karena atas hikmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul “**Modifikasi Zeolit Alam Menjadi Zeolite Socony Mobil-5 (ZSM-5) Sebagai Media Purifikasi Biogas**”. Penelitian ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana S1 Teknik Kimia di Universitas Setia Budi Surakarta. Penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak baik secara moril maupun secara materil. Oleh karena itu, penulis sangat berterima kasih khususnya kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat-Nya.
2. Bapak Drs. Suseno, M.Si. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta.
3. Bapak Gregorius Prima Indra B, S.T.,M.Eng., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta serta dosen pembimbing penelitian yang telah memberikan saran dalam seluruh penelitian.
4. Bapak Ir. Sumardiyono, M.T selaku dosen penguji penelitian yang telah memberikan masukan dan saran dalam laporan penelitian.
5. Bapak Narimo, S.T., M.M., selaku dosen penguji penelitian yang telah memberikan masukan dan saran dalam laporan penelitian.
6. Kawan-kawan S1 Teknik Kimia, yang mendukung dan memberi semangat dalam seluruh proses penelitian ini.

Akhir kata penulis berharap semoga penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk penelitian berikutnya.

Surakarta, Januari 2020.

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
INTISARI	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Biogas	3
2.2. Karakteristik Zeolit Alam & ZSM-5	4
2.3. Purifikasi Biogas dengan Zeolit Alam & ZSM-5	6
BAB III METODE PENELITIAN	7
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	7
3.2. Bahan Penelitian	7
3.3. Alat Penelitian	7
3.4. Diagram Alir	8
3.5. Gambar Rangkaian Alat	8
3.6. Cara Penelitian	8
3.7. Analisis Sampel	9
3.8. Analisis Data	9
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	11
4.1. Karakteristik Zeolit Alam dan ZSM-5	11
4.1.1. Karakteristik XRD Zeolit Alam dan ZSM-5	11
4.1.2. Karakteristik SEM Zeolit Alam dan ZSM-5	14
4.2. Adsorpsi Gas <i>Carbon Dioxide</i> (CO ₂) Dengan Persamaan Freundlich & Langmuir	16
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	21
5.1. Kesimpulan	21
5.2. Saran	21
DAFTAR PUSTAKA	P-1

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi Biogas	3
Tabel 2. Kesetaraan Biogas dengan Sumber Energi Lain.....	4
Tabel 3. Faktor Pembanding Zeolit Alam dan ZSM-5.....	5
Tabel 4. Hasil Penelitian	6
Tabel 5. <i>D-spacing</i> dan Ukuran Kisi Kristal.....	11
Tabel 6. Kapasitas Adsorpsi dan Koefisien Determinasi	18

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur Kimia Zeolit	5
Gambar 2. Diagram Alir	7
Gambar 3. Rangkaian Alat	8
Gambar 4. XRD pada (a) Zeolit Alam 5N, (b) Zeolit Alam 1N, (c) ZSM-5 5N, dan (d) ZSM-5 1N	13
Gambar 5. XRD Referensi (a) ZSM-5 dan (b) Zeolit Alam	14
Gambar 6. SEM 10000X pada (a) Zeolit Alam 5N ,(b) Zeolit Alam 1N, (c) ZSM- 5 5N, dan (d) ZSM-5 1N.....	15
Gambar 7. SEM Referensi ZSM-5.....	16
Gambar 8. Grafik optimasi data dengan persamaan Freundlich dan Langmuir pada (a) Zeolite Alam 1N, (b) Zeolit alam 5N, (c) ZSM-5 1N, dan (d) ZSM- 5 5N.....	18

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Karakteristik XRD & SEM Zeolit Alam dan ZSM-5	L-1
Lampiran 2. Perhitungan-perhitungan.....	L-12
Lampiran 2.1 Perhitungan Ukuran Kisi Kristal	L-12
Lampiran 2.2 Perhitungan Freundlich dan Langmuir	L-13
Lampiran 3. Foto Hasil Penelitian.....	L-15

INTISARI

Tibalia, E. M. S. E. 2019. "Modifikasi Zeolit Alam Menjadi *Zeolite Socony Mobil-5* (ZSM-5) Sebagai Media Purifikasi Gas CO₂".

Tugas Penelitian, jurusan S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta. Pembimbing: Gregorius Prima Indra Budianto, S. T., M. Eng.

Zeolit alam merupakan adsorber yang digunakan untuk penjerapan gas CO₂. Zeolit alam dapat dimodifikasi menjadi berbagai jenis zeolit lainnya salah satunya adalah ZSM-5 yang diharapkan memiliki luas permukaan yang lebih besar. Semakin besar ukuran kisi kristal maka kapasitas adsorpsi untuk penjerapan juga semakin besar. ZSM-5 yang telah dimodifikasi akan dibandingkan dengan zeolit alam dengan menguji SEM dan XRD serta CO₂ *gas analyzer*. Variabel penelitian ini adalah zat aktivator yang digunakan yaitu NaOH dengan konsentrasi 1N dan 5N serta waktu penjerapan gas CO₂ dengan rentang waktu per detik secara *batch*.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi pada penurunan konsentrasi CO₂ menggunakan zat aktivator NaOH 5N dan *template* CTAB yaitu modifikasi zeolit alam, ZSM-5. Penentuan efisiensi ini menggunakan persamaan freundlich karena koefisien determinasi paling mendekati satu dan kapasitas adsorpsi maksimal adalah sebesar 27,5086 mg/g.

Kata Kunci : SEM, XRD, Zeolit alam, ZSM-5.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Biogas merupakan produk dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa udara (anaerob). Biogas dihasilkan dari aktivitas bakteri metanogen yang secara alamiah terkandung di dalam limbah yang mengandung bahan organik seperti limbah ternak yaitu kotoran sapi yang merupakan sumber bakteri metanogen dan juga sampah organik (Reniaili, 2014). Menurut Price dkk. (1981) adapun unsur-unsur yang terkandung dalam biogas yaitu gas metana (CH_4), gas karbon dioksida (CO_2), gas oksigen (O_2), gas hidrogen sulfida (H_2S), gas hidrogen (H_2), dan gas karbon monoksida (CO). Dari semua unsur tersebut yang berperan dalam menentukan kualitas biogas yaitu gas karbon dioksida (CO_2) dan gas metana (CH_4). Bila kadar CO_2 tinggi maka akan mengakibatkan nilai kalori biogas tersebut rendah dan korosif sehingga diperlukan pemisahan gas karbon dioksida (CO_2) agar kandungan gas metana (CH_4) meningkat (Hamidi dkk., 2011).

Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk meminimalkan gas karbon dioksida (CO_2) adalah dengan proses adsorpsi. Media adsorpsi yang umum digunakan adalah zeolit karena zeolit merupakan material berpori dan berongga yang mudah didapatkan di alam sehingga harganya relatif lebih murah (Yuanita, 2010; Yulianti, 2017). Namun zeolit alam memiliki kelemahan, yaitu mengandung banyak pengotor seperti Na, K, Ca, Mg, dan Fe sehingga menyebabkan kristalinitasnya kurang baik. Untuk mendapatkan zeolit alam dengan karakteristik yang lebih baik maka dilakukan dengan modifikasi (Yuanita, 2010).

Salah satu modifikasi yang bisa dilakukan adalah mengubah zeolit alam menjadi ZSM-5 (*Zeolite Socony Mobil-5*). Beberapa penelitian telah dilakukan dan diperoleh tingkat efektivitas baik zeolit alam maupun ZSM-5 terhadap penjerapan gas-gas (Hamidi dkk., 2011; Rohayati, 2016). Zeolit ZSM-5 hasil sintesis memiliki diameter pori yang lebih besar dari pada zeolit alam sehingga diharapkan peningkatan efisiensi penjerapan CO_2 lebih besar dibandingkan dengan zeolit alam (Rohayati, 2016). Menurut Ohlin dkk. (2013), metode penelitian pembuatan ZSM-5 dilakukan dengan penambahan silika dan alumina sintetis dan menurut

Ayala dkk. (2014), pembuatan ZSM-5 menggunakan template TPABr namun harganya sangat mahal sehingga pada penelitian ini pembuatan ZSM-5 menggunakan template CTAB (*Cetyltrimethylammonium Bromide*) dengan menggunakan bahan baku zeolit alam. Dari paparan penelitian-penelitian yang telah dilakukan ingin diketahui efektivitas penjerapan gas dari modifikasi zeolit alam menjadi zeolit ZSM-5. ZSM-5 yang telah diubah dari zeolit alam akan dibandingkan tingkat efektivitas penjerapan gas dibanding zeolit alam.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana tingkat penurunan gas CO₂ terbaik dari hasil penjerapan dengan adsorben ZSM-5 dibandingkan dengan zeolit alam

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis tingkat penurunan gas CO₂ terbaik dari hasil penjerapan dengan adsorben ZSM-5 dibandingkan dengan zeolit alam.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Bagi peneliti : Dapat menambah pengetahuan tentang pemurnian biogas baik menggunakan zeolit alam maupun ZSM-5 dan membandingkan efektivitas penjerapannya.
2. Bagi masyarakat : Dapat memaksimalkan penggunaan biogas di masyarakat dengan menurunkan gas CO₂ dan meningkatkan gas CH₄ sekitar.
3. Bagi IPTEK : Dapat menambah wawasan tentang purifikasi biogas menggunakan zeolit alam atau ZSM-5 yang memiliki efektivitas penjerapan paling baik.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik termasuk diantaranya, kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), sampah *biodegradable* atau setiap limbah organik yang *biodegradable* dalam kondisi anaerobik. Berikut adalah tabel yang menunjukkan komposisi biogas.

Tabel 1. Komposisi Biogas (Febriyanita, 2015)

Komponen	Presentase (% Volume)
Metana (CH ₄)	40-70
Karbon dioksida (CO ₂)	30-60
Hidrogen (H ₂)	0-1
Hidrogen sulfida (H ₂ S)	0-3

Serangkaian proses yang terjadi pada pembentukan biogas meliputi hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Pada tahap hidrolisis, kompleks bahan organik didekomposisi menjadi unit yang lebih kecil. Pada proses ini, polimer seperti karbohidrat, lipid, asam nukleat dan protein diubah menjadi glukosa, gliserol, purin dan pirimidin. Selanjutnya pada proses asidogenesis, produk hidrolisis dikonversi oleh bakteri asidogenik menjadi substrat metanogen. Gula sederhana, asam amino, dan asam lemak terdegradasi menjadi asetat, karbondioksida dan hidrogen (70%) serta menjadi *Volatile Fatty Acid* (VFA) dan alkohol (30%). Selanjutnya pada proses asetogenesis, produk dari asidogenesis tidak dapat langsung diubah menjadi metana oleh bakteri metanogen. VFA dan alkohol dioksidasi menjadi substrat metanogen seperti asetat, hidrogen dan karbondioksida. Tahap terakhir adalah metanogenesis, selama proses ini hidrogen diubah menjadi metana. 70% dari metana yang terbentuk berasal dari asetat, sedangkan 30% sisanya dihasilkan dari konversi hidrogen (H) dan karbondioksida (CO₂) (Megawati dkk., 2015).

Sampai saat ini pengembangan produksi biogas yang telah dilakukan adalah produksi biogas dari campuran kotoran sapi dan kotoran ayam, sampah sayuran, kotoran kuda, dan lain-lain. Populasi ternak sapi merupakan sumber

energi yang potensial dalam pengolahan produksi biogas. Kotoran sapi mengandung hemiselulosa sebesar 18,6%, selulosa 25,2%, lignin 20,2%, nitrogen 1,67%, fosfat 1,11%, kalium 0,56%, dan C/N rasio 6,6-25%. Pada tahun 2011 populasi sapi 14.824 ribu ekor dengan potensi 1 kg kotoran sapi menghasilkan minimal 0,023 m³ biogas (Reniaili, 2014). Potensi kesetaraan biogas dengan sumber energi lain adalah seperti Tabel 2.

Tabel 2. Kesetaraan Biogas dengan Sumber Energi Lain (Febriyanita, 2015)

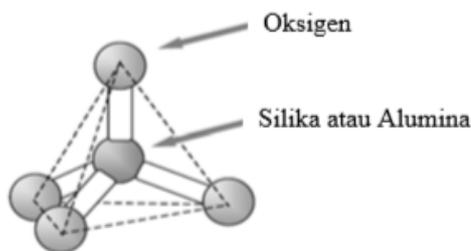
Bahan bakar	Jumlah
Biogas	1 m ³
LPG	0,46 kg
Minyak Tanah	0,62 liter
Minyak Solar	0,52 liter
Bensin	0,08 liter
Kayu Bakar	3,5 kg

Dari komponen biogas yang berperan dalam menentukan kualitas biogas yaitu gas metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂). Bila kadar metana tinggi maka biogas akan memiliki nilai kalor yang tinggi sebaliknya jika karbon dioksida yang tinggi maka akan mengakibatkan nilai kalor biogas tersebut rendah (Ritonga dkk., 2017). Sehingga biogas perlu untuk dimurnikan dari kandungan gas yang merugikan dengan proses adsorpsi. Salah satu adsorben yang digunakan adalah zeolit alam.

2.2 Karakteristik Zeolit Alam & ZSM-5

Zeolit memiliki struktur tiga dimensi dan mempunyai pori-pori atau ruang-ruang yang dapat diisi oleh kation lain ataupun molekul air. Karakter struktur kisi kristal berongga dalam zeolit berfungsi mengikat molekul air dan ion-ion logam yang bebas bergerak dalam kerangka zeolit tanpa mengalami perubahan dalam struktur kristal zeolit. Unit dasar pembentuk zeolit adalah SiO₄ dan AlO₄ yang mempunyai bentuk tetrahedral. Unit-unit tersebut saling berikatan membentuk jaringan anionik dalam tiga dimensi dengan masing-masing atom oksigen terbagi diantara atom Si dan Al. Perbandingan Al:Si dalam suatu zeolit akan menentukan kerapatan muatan di dalam kristal. Jika perbandingan besar maka dalam struktur kerapatan muatan akan tinggi, molekulnya polar dan kemampuan untuk mengikat molekul besar akan bertambah, dengan kata lain kapasitas tukarnya tinggi. Zeolit

mempunyai struktur berongga dan biasanya diisi oleh air dan kation yang dapat dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. (Emelda, 2013).



Gambar 1. Struktur Kimia Zeolit

Saat ini dikenal dua jenis zeolit, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetis. Zeolit alam terbentuk karena adanya proses fisika dan kimia dari batuan-batuan di alam. Zeolit sintetis dibuat dengan rekayasa agar memiliki karakter yang lebih baik dari zeolit alam yang diproduksi dari komponen serta bahan baku yang mengandung silika dan alumina. Sehingga zeolit sintetis memiliki komposisi yang tetap dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Zeolit sintetis terus berkembang, dengan dua fokus utama yaitu bahan baku dan metode. Bahan baku yaitu zeolit alam dapat digunakan untuk dimodifikasi menjadi ZSM-5 karena melihat ZSM-5 saat ini diperoleh dari bahan baku alumina dan silika sintesis.

ZSM-5 merupakan zeolit yang memiliki rasio Si/Al tinggi (Si/Al 5-100) (dengan bentuk framework MFI dan rumus umum $\text{Na}_n(\text{AlO}_2)_n(\text{SiO}_2)_{96-n} \cdot 16\text{H}_2\text{O}$). Zeolit ZSM-5 ini akan dimodifikasi dari zeolit alam dengan mekanisme proses perendaman, pengeringan, pengadukan, pengkristalisasi, penyaringan, pengkalsinasian, dan pengkarakterisasiannya. ZSM-5 kemudian diaplikasikan pada biogas (Petushkov, 2011).

Tabel 3. Faktor Pembeda Zeolit Alam dan ZSM-5

Faktor pembeda	Zeolit alam	ZSM-5
Rasio Si/Al	1-5 (5 adalah sangat stabil) (Yuanita, 2010)	5-100 (Petushkov, 2011)
Pengotor	Na, K, Ca, Mg, dan Fe	-

2.3 Purifikasi Biogas dengan Zeolit Alam & ZSM-5

Agar biogas dapat digunakan dengan maksimal maka dapat ditingkatkan dengan purifikasi dengan menghilangkan gas-gas yang merugikan. Upaya pemurnian biogas dapat dilakukan dengan berbagai macam metode seperti penjerapan gas CO₂ dan H₂S. Diantara berbagai macam metode pemurnian biogas tersebut yang menarik untuk dikaji yaitu dengan menggunakan adsorben. Adsorben adalah zat yang dapat menyerap fluida, baik cair maupun gas sehingga nantinya akan membentuk lapisan tipis pada permukaan zat tersebut. Salah satu jenis adsorben yang dapat digunakan adalah zeolit baik zeolit alam dan zeolit sintesis yang dapat digunakan dalam purifikasi biogas (Hamidi, 2011).

Faktor penting zeolit sebagai adsorben adalah zeolit memiliki bentuk kristal yang sangat teratur dengan rongga yang saling berhubungan ke segala arah menyebabkan luas permukaan zeolit sangat besar yang sangat menguntungkan dalam pemanfaatan zeolit sebagai adsorben dan karena harganya yang murah dan mudah didapatkan (Atikah, 2017). Aktivasi dan modifikasi yang dilakukan terhadap zeolit alam ternyata mampu memperbaiki karakter zeolit alam antara lain dalam peningkatan keasaman, kristalinitas, luas permukaan spesifik dan rasio Si/Al serta hilangnya pengotor-pengotor (Lestari, 2010). ZSM-5 dipilih karena belum adanya produksi hasil modifikasi zeolit alam melainkan dari bahan baku alumina dan silika sintesis. Beberapa penelitian telah menerapkan metode penjerapan CO₂ dengan menggunakan zeolit alam serta ZSM-5 seperti pada tabel di bawah ini:

Tabel 4. Hasil Penelitian

Peneliti	Hasil Penelitian	Jenis
Hamidi dkk. (2011)	Dapat menurunkan CO ₂ dari kadar awal 20% menjadi 17,25%	Zeolit Alam
Ohlin dkk. (2013)	CO ₂ dapat diturunkan sebesar 17,5%	
Rohayati (2016)	ZSM-5 hasil sintesis memiliki pori yang lebih besar dari zeolit alam yaitu 1,12 nm sedangkan zeolit alam 0,89 nm	ZSM-5
Ayala dkk. (2014)	Na-ZSM-5 dapat menyerap sebanyak 67,1%	
Venkatesh (2016)	Nilai penyerapan CO ₂ sebesar 43%	

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di laboratorium Universitas Setia Budi. Penelitian ini akan dilakukan pada bulan Juli 2019 sampai dengan bulan Desember 2019.

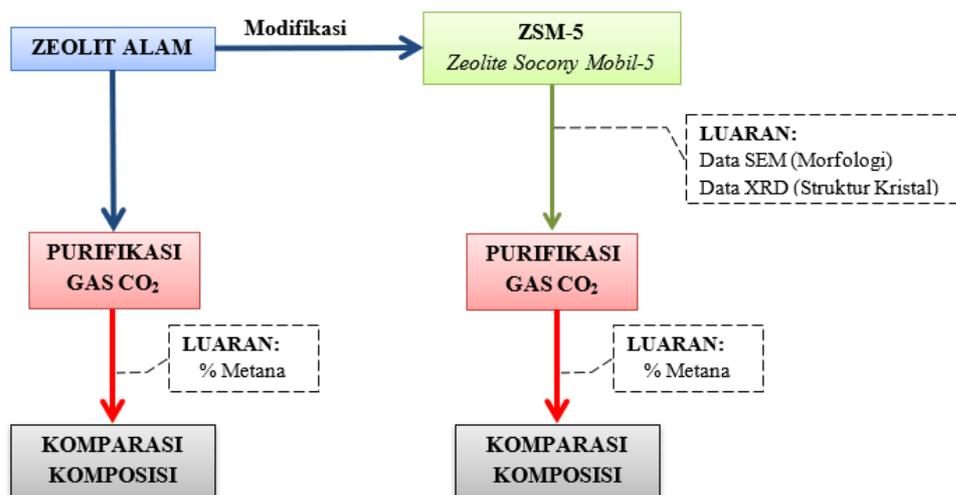
3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah gas simulator CO₂, zeolit alam, NaOH (Merck), dan CTAB (*Cetyltrimethylammonium Bromide*).

3.3 Alat Penelitian

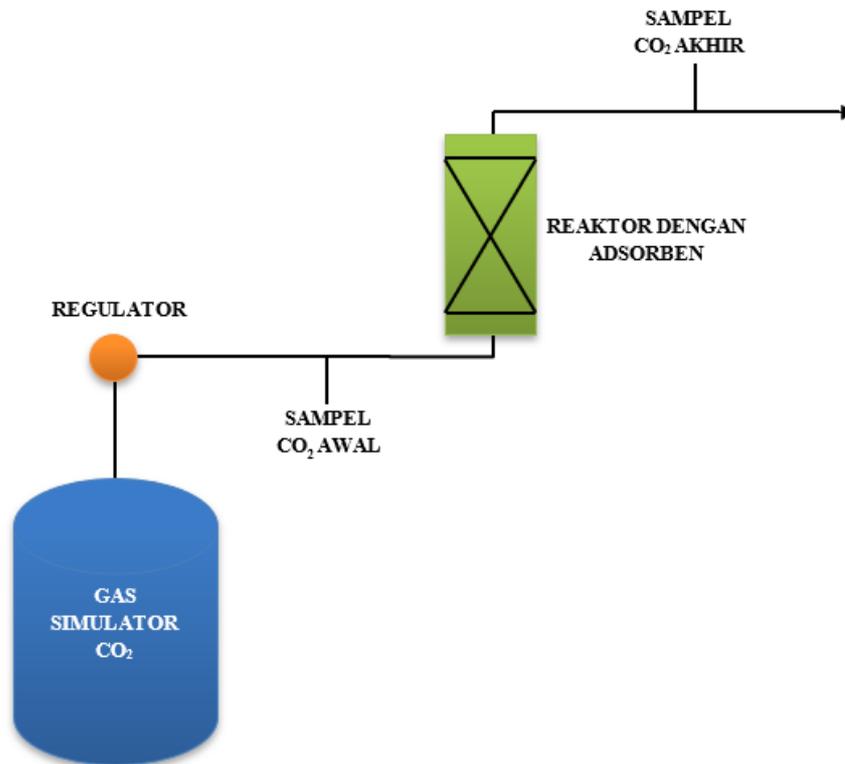
Peralatan yang akan digunakan antara lain: *reflux*, labu leher tiga, *magnetic stirrer*, *hot plate*, kertas saring, sonikator, oven, erlenmeyer, neraca analitik, selang, penjepit, krus porselin, CO₂ *gas analyzer*, pH meter, syringe, desikator, *muffle furnace*, stamper & mortir.

3.4 Diagram Alir



Gambar 2. Diagram alir

3.5 Gambar Rangkaian Alat



Gambar 3. Rangkaian alat

3.6 Cara Penelitian

1. Pembuatan adsorben

Zeolit alam: mengambil 200 gram zeolit alam dari gunung kidul dan mengayak dengan ukuran 100 *mesh* → merendam dalam 250 ml NaOH 1N & 5N (satu hari) → menyaring perendaman hasil residu/zeolitnya → menetralkan dengan akuades sampai pH 6-8 → mengeringkan pada suhu 105-110°C → Menyimpan di desikator sampai keadaan tertutup

Zeolit sintesis (ZSM-5): mengambil 200 gram zeolit alam diambil dari gunung kidul dan mengayak dengan ukuran 100 *mesh* → merefluks dengan NaOH 1N & 5 N dan distirrer pada suhu 110°C selama 3 jam (usahakan pakai kondensor dari es/air dingin. Jika suhu 110°C tidak tercapai tidak masalah, asalkan larutan mendidih. Jangan memakai air kran sebagai pendingin karena tidak cukup dingin. Pakai kondensor fraksional / ulir bukan kondensor lurus) → menyaring pada keadaan hangat, jangan keadaan dingin → mengambil filtratnya → mencampur filtrat

dan CTAB dan stirrer serta sonikasi selama 10 menit dengan perbandingan filtrat:CTAB (25 ml:1 gram) → memasukkan ke alat hidrotermal → memanaskan pada suhu 105°C selama maksimal 8 jam → mengeringkan campuran hingga kering dan kalsinasi pada suhu 550°C selama 6 jam.

2. Menguji SEM dan XRD adsorben zeolit alam dan ZSM-5 yang telah dibuat
3. Menguji kerja zeolit alam & ZSM-5 dalam menyerap CO₂ dalam gas simulator dengan CO₂ dengan laju alir dan waktu yang sama secara *batch*.

3.7 Analisis Sampel

Data yang didapat adalah karakter material zeolit alam dan ZSM-5 berupa SEM (tampang morfologi dan ukuran partikel) dan XRD (struktur kristal) untuk menentukan keberhasilan modifikasi zeolit. Penjerapan gas CO₂ dilakukan dengan mengetahui kadar CO₂ sebelum dan sesudah proses adsorpsi oleh ZSM-5. Selanjutnya data kadar CO₂ sebelum dan sesudah adsorpsi digunakan untuk menguantifikasi efisiensi penjerapan CO₂ baik oleh zeolit alam maupun ZSM-5.

3.8 Analisis Data

Dari hasil analisis sampel dengan menggunakan uji SEM dan XRD dilakukan interpretasi terhadap gambar dan perhitungan kisi kristal menggunakan persamaan (1) di bawah ini:

$$D = \frac{k \times \lambda}{T \cos \theta} \quad (1)$$

Dimana:

D = Crystallite size (satuan: nm)

T = FWHM (*Line broadening at half the maximum intensity*). Nilai yang dipakai adalah nilai FWHM setelah dikurangi oleh “the instrumental line broadening” (satuan: radian)

θ = *Bragg's Angle*

λ = X-Ray *wave length*

k = Konstanta Scherrer

Selanjutnya kadar CO₂ dioptimasi dengan menggunakan persamaan freundlich (2) dan langmuir (3) di bawah ini:

$$\ln \left(\frac{Xm}{m} \right) = \ln K + \frac{1}{n} \ln C \quad (2)$$

$$\frac{m}{Xm} = \frac{K}{qm} \frac{1}{C} + \frac{1}{q} \quad (3)$$

Dimana:

X_m = Berat zat yang diadsorpsi (mg)

m = Berat zat adsorben (zeolit) (gr)

C = Konsentrasi setelah diadsorpsi (ppm)

K = Kapasitas daya adsorpsi (mg/gr)

n = *Heterogeneity factor of sorption* / intensitas adsorpsi

q_m = Tetapan kesetimbangan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Zeolit Alam dan ZSM-5

4.1.1 Karakteristik XRD Zeolit Alam dan ZSM-5

Pengujian pada Difraksi Sinar-X dilakukan pada $\theta - 2\theta$: $5,00^\circ-90^\circ$ menggunakan radiasi Cu. Prinsip dasar XRD adalah hamburan elektron yang mengenai permukaan kristal yang kemudian sebagian sinar terhambur dan sebagian diteruskan kelapisan berikutnya. Hamburan sinar yang berinterferensi (interaksi antar gelombang) inilah yang digunakan untuk analisis (Puspitasari, 2012).

Interpretasi difraktogram mengubah data 2θ menjadi nilai d secara otomatis terhitung di mana sinar X hanya akan terjadi pada sudut (θ) tertentu sehingga suatu material akan mempunyai pola difraksi tertentu. Nilai jarak d / *d-spacing* merupakan jarak dimensi kisi di mana d adalah jarak antar kisi dalam strukturnya. Sehingga dapat ditentukan kerapatan tinggi atau tidaknya material (Puspitasari, 2012). Adapun pola difraktogram difraksi sinar-X ditampillkan pada Gambar 4.

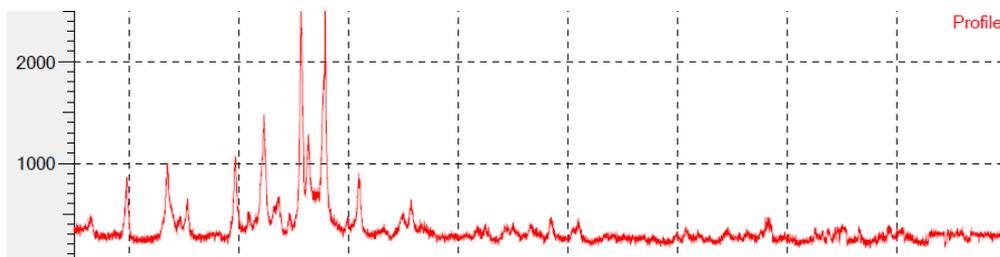
Tabel 5. *D-spacing* dan Ukuran Kisi Kristal

Material	<i>d-spacing</i> (Å)	Ukuran Kisi Kristal (nm)
Zeolit Alam 5N	3,45806	29,095
Zeolit Alam 1N	3,47418	29,298
ZSM-5 5N	3,27532	34,435
ZSM-5 1N	3,78235	44,077

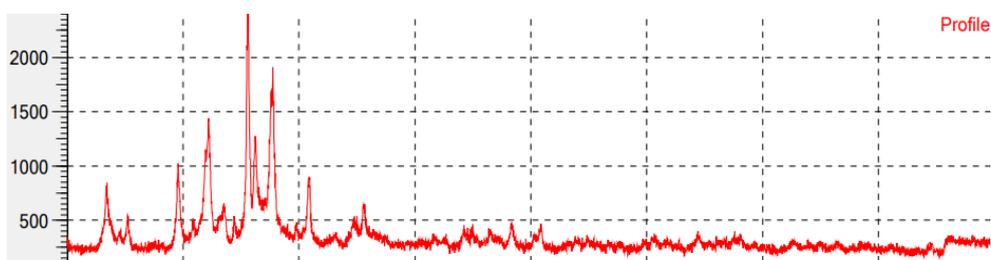
Data di atas memperlihatkan adanya penurunan nilai *d-spacing* untuk zeolit alam dan ZSM-5. Nilai *d-spacing* zeolit alam turun sebanyak 0,01612 Å dan ZSM-5 sebesar 0,50703 Å. Penurunan *d-spacing* terbesar adalah ZSM-5 dikarenakan adanya penambahan CTAB sebagai penata pori dan sumber silika. Terjadinya penurunan nilai *d-spacing* pasca sintesis disebabkan adanya ion Na^+ yang

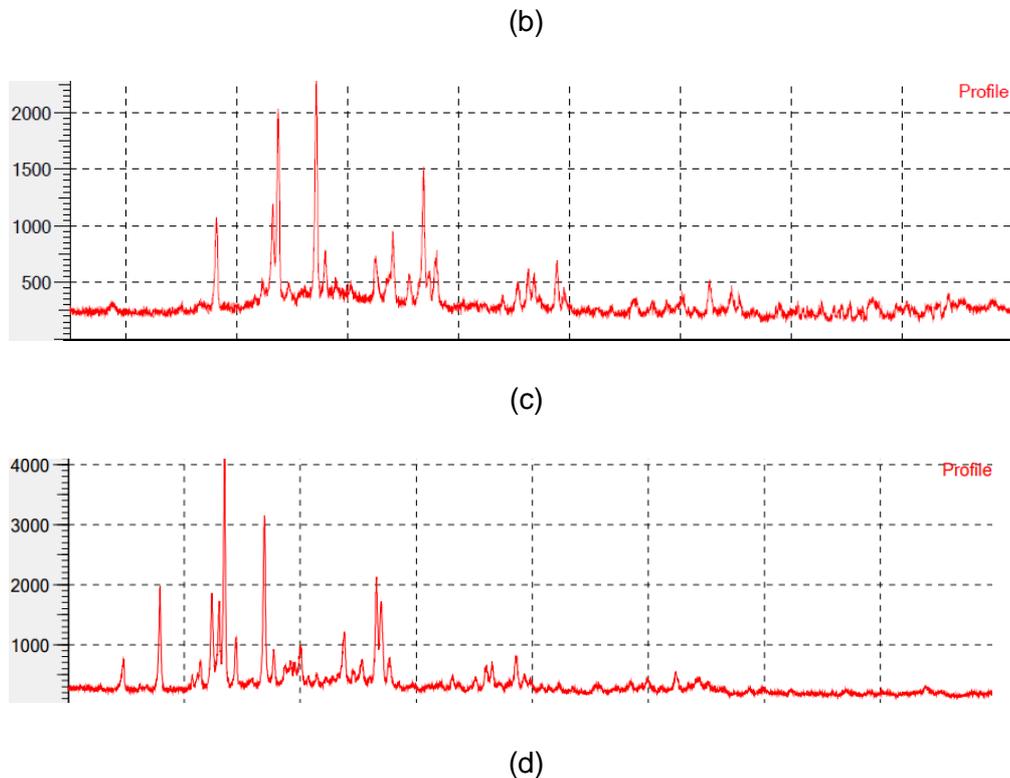
memiliki konsentrasi lebih besar yang akan menyokong ruang antar lapis alumina silikat (Wogo dkk., 2013). Pada tabel *d-spacing* terlihat bahwa ZSM-5 5N memiliki nilai paling rendah yaitu 3,27532 membuktikan bahwa kerapatannya paling tinggi. Semakin besar konsentrasi menyebabkan suatu material memiliki kerapatan yang semakin tinggi. Sehingga kemampuan *swelling* (daya serap) zeolit alam dan ZSM-5 dengan konsentrasi lebih tinggi dalam fluida akan bertambah, akibatnya pori-pori akan terbuka lebih lebar dan luas permukaan semakin besar karena banyaknya pori-pori zeolit yang tersebar (Ainurrafiq, 2014).

Ukuran kristal yang dihitung secara manual menggunakan rumus *Scherrer*, menunjukkan bahwa zeolit alam dan ZSM-5 dengan konsentrasi lebih rendah memiliki ukuran yang lebih besar daripada konsentrasi yang tinggi disebabkan karena masih banyaknya pengotor. NaOH berfungsi untuk membersihkan permukaan pori zeolit dan menata letak lebih homogen serta membentuk kristal di mana semakin besar konsentrasi NaOH maka pengotor yang tidak diinginkan semakin banyak berkurang. Hasil XRD memperlihatkan bahwa zeolit alam maupun ZSM-5 dengan konsentrasi 1N memiliki ukuran kristal lebih besar daripada 5N karena hamburan sinar juga menghitung pengotor yang lebih banyak (Sumarni dkk., 2018). Proses menggunakan variasi konsentrasi memberikan hasil yang maksimal pada ZSM-5 membuktikan bahwa modifikasi zeolit alam menjadi ZSM-5 berhasil terjadi.



(a)



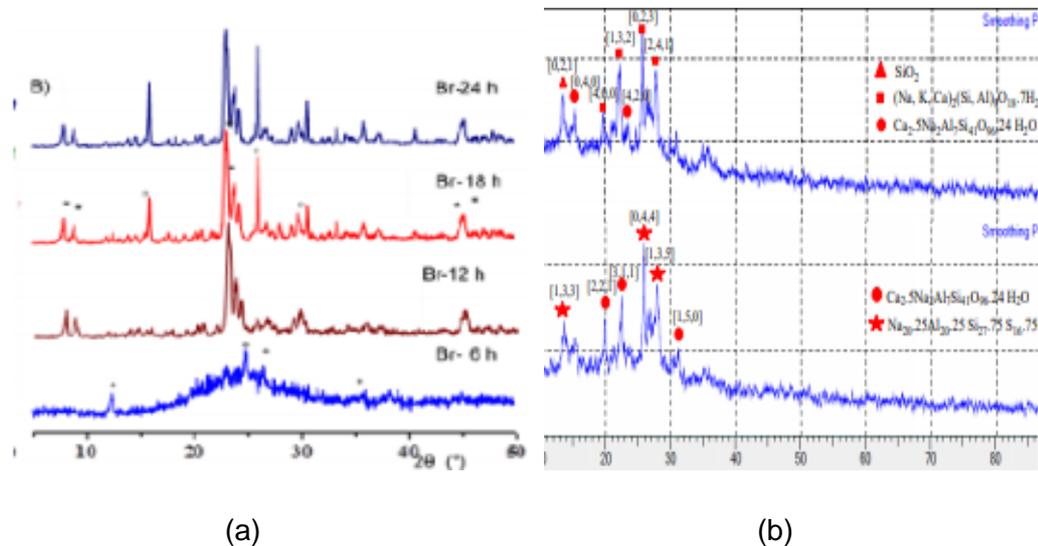


Gambar 4. XRD pada (a) Zeolit Alam 5N, (b) Zeolit Alam 1N, (c) ZSM-5 5N, dan (d) ZSM-5 1N

Dalam penelitian ini digunakan variasi NaOH sebagai kekuatan basa. Dari hasil XRD didapatkan pola difraksi yang memiliki kemiripan dengan pola difraksi standar pada gambar 5 baik zeolit alam maupun ZSM-5, di mana tiga puncak terbaik terdapat pada panjang gelombang 20° - 30° mengindikasikan adanya kandungan silika dan alumina. Namun grafik hasil percobaan memiliki perbedaan dengan grafik standar yaitu tidak menurun melainkan naik turun dikarenakan sumber silika dan alumina yang berbeda dan jenis *template* standar adalah TPABr sedangkan *template* yang digunakan adalah CTAB.

Melihat grafik pada gambar 4 yang ada bahwa grafik ZSM-5 lebih *soft* (halus) dibandingkan zeolit alam yang mengindikasikan bahwa masih banyaknya pengotor pada zeolit alam. Zeolit alam 5N dan 1N memiliki perbedaan yang tidak signifikan terhadap peak-peak yang muncul sedangkan ZSM-5 memiliki perbedaan yang lumayan signifikan karena adanya penambahan CTAB di mana penambahan CTAB bertujuan untuk memperkecil ukuran silika dan memberikan tambahan jumlah silika (Wulandari dkk., 2017). Semakin tinggi konsentrasi NaOH dihasilkan grafik dengan puncak yang lebih jelas teratur dikarenakan fungsi NaOH

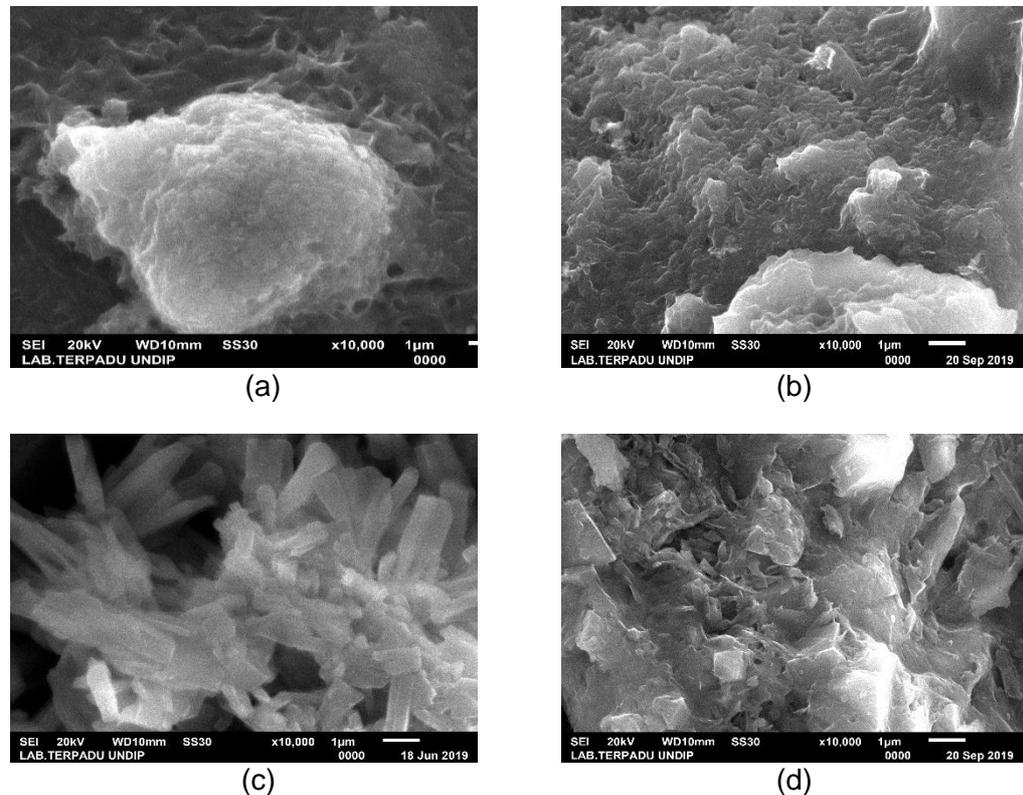
yaitu membersihkan pengotor yang mengganggu, hal ini membuktikan ZSM-5 memiliki kristalinitas yang baik (Octaviani, 2012).



Gambar 5. XRD Referensi (a) ZSM-5 (Sari dkk., 2018) dan (b) Zeolit Alam (Sumarni dkk., 2018)

4.1.2 Karakteristik SEM Zeolit Alam dan ZSM-5

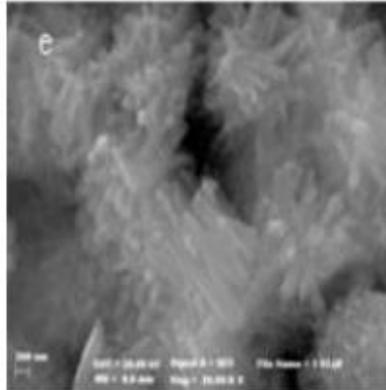
Karakterisasi dengan SEM dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan morfologi dari permukaan kristal zeolit alam dan ZSM-5. Hasil pengukuran untuk zeolit alam dan ZSM-5 dapat dilihat pada gambar 6 dengan variasi NaOH. Morfologi zeolit alam dan ZSM-5 terukur jelas melalui SEM pada konsentrasi 5N berbeda dengan konsentrasi 1N yang tidak dapat terukur dengan jelas, karena terlampaui ruah oleh adanya pengotor. Hal ini dimungkinkan karena ikatan antar atom dan struktur kisi kristal yang kompleks dan banyaknya kandungan silika dan alumina.



Gambar 6. SEM 10000X pada (a) Zeolit Alam 5N ,(b) Zeolit Alam 1N, (c) ZSM-5 5N, dan (d) ZSM-5 1N

Pada gambar terlihat bahwa zeolit alam dan ZSM-5 5N terjadi aglomerasi atau penggumpalan karena NaOH yang digunakan memiliki konsentrasi yang tinggi (pekat) yang menyebabkan tingkat kerapatannya lebih tinggi oleh karena banyaknya kandungan silika dan alumina. Jika di *zoom* pada konsentrasi 5N hanya 1 bagian yang terlihat sedangkan pada konsentrasi 1N yang terlihat sebagian saja membuktikan bahwa ukuran kisi kristalnya lebih besar daripada 5N akibat masih banyaknya pengotor (Octaviani, 2012).

Hasil SEM pada penelitian ini jika dibandingkan dengan SEM standar memiliki kesamaan bentuk morfologi khususnya ZSM-5 5N yaitu kisi kristal yang runcing dengan bentuk persegi panjang. Bentuk morfologinya tetap memiliki perbedaan namun tidak terlalu signifikan karena *template* yang digunakan berbeda. *Template* penelitian ini menggunakan CTAB sedangkan *template* referensi menggunakan TPABr.



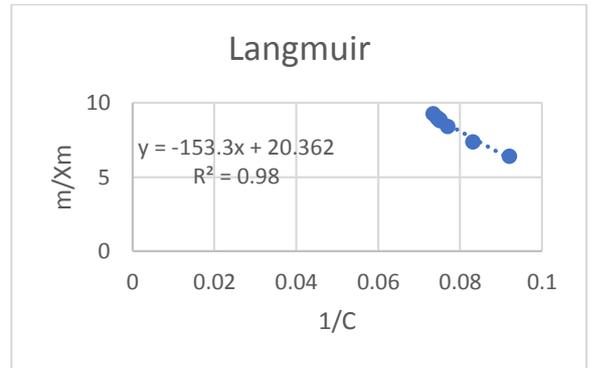
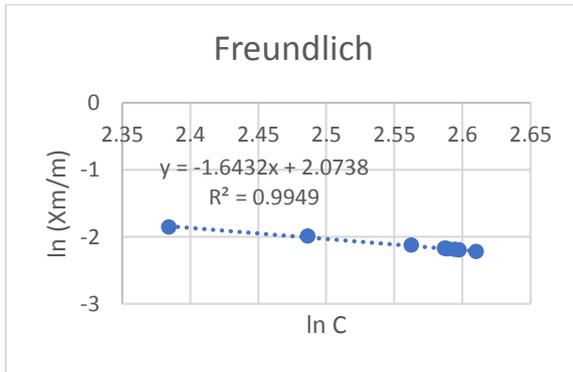
Gambar 7. SEM Referensi ZSM-5 (Sari dkk., 2018)

Terlihat perbedaan yang signifikan pada permukaan antara zeolit alam dan ZSM-5 yaitu kristal ZSM-5 terlihat jelas berbentuk runcing dan persegi panjang membuktikan bahwa modifikasi zeolit alam menjadi ZSM-5 berhasil dilakukan. Modifikasi ini bertujuan untuk menghasilkan ZSM-5 dengan kristalinitas yang baik, ukuran pori dan luas permukaan besar. Morfologi paling bagus yaitu ZSM-5 disebabkan oleh proses refluks yang disertai pemanasan yang merupakan tahap pertumbuhan kristal. Pori / ruang pada ZSM-5 juga paling besar terbentuk karena sumber silika yang banyak berasal dari penambahan CTAB pada proses kalsinasi di mana NaOH yang mengikat silika dan alumina selanjutnya teruapkan bersama dengan pengotor namun silika dan alumina tidak ikut teruapkan. Pencampuran zeolit dengan NaOH dapat dilihat pada reaksi di bawah ini:

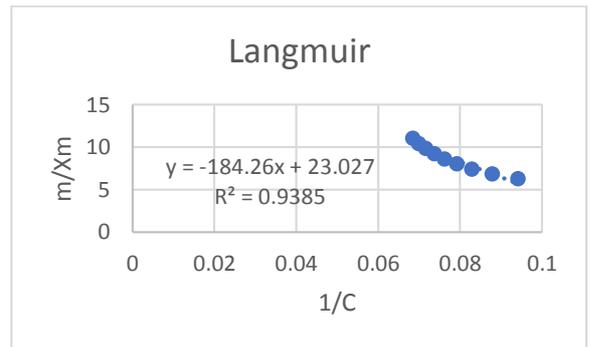
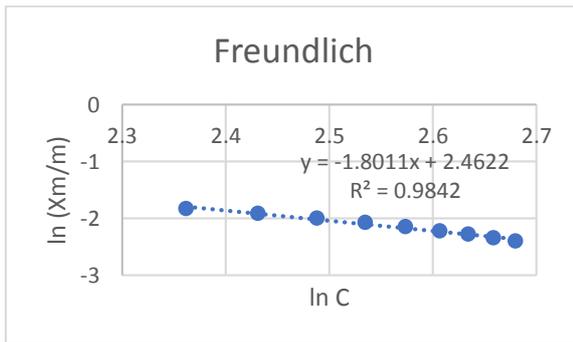
$$\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3$$


4.2 Adsorpsi Gas *Carbon Dioxide* (CO₂) Dengan Persamaan Freundlich & Langmuir

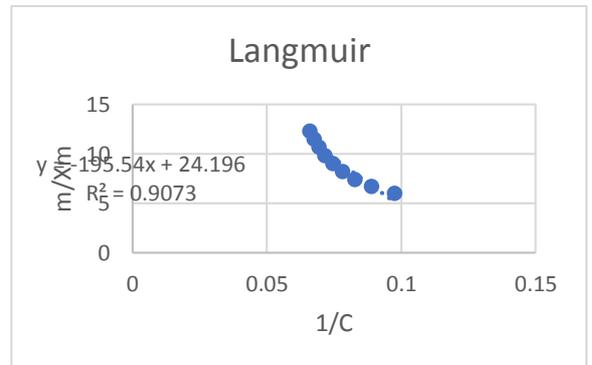
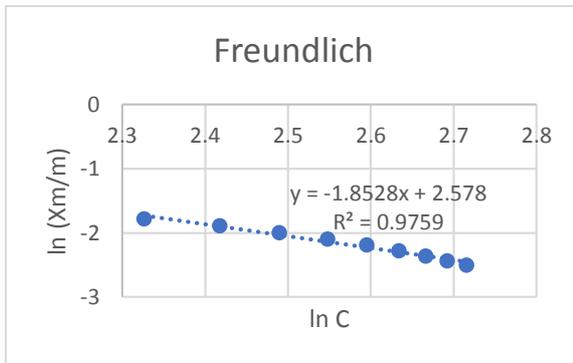
Zeolit alam dan ZSM-5 diuji cobakan untuk menyerap/mengadsorpsi gas CO₂ menggunakan metode *batch* dengan variasi waktu tertentu. Laju alir yang digunakan sebesar 1 L/menit. Berikut data hasil adsorpsi antara zeolit alam 5N dan 1N dengan ZSM-5 5N dan 1N:



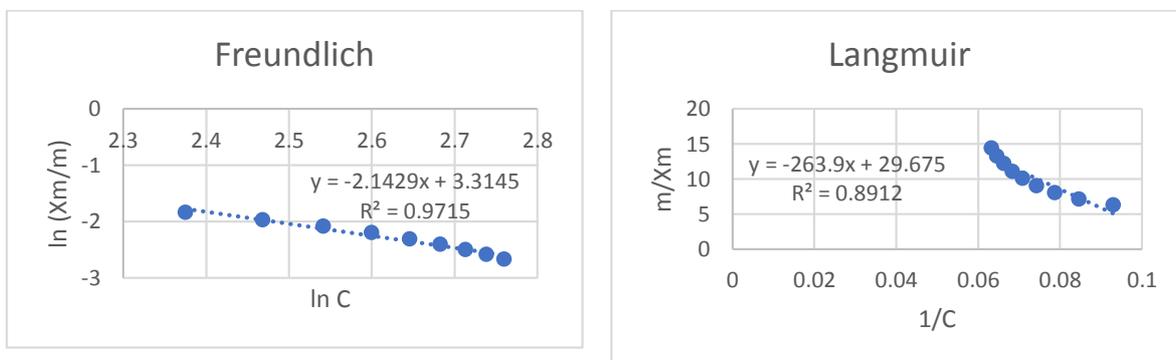
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 8. Grafik optimasi data dengan persamaan Freundlich dan Langmuir pada (a) Zeolite Alam 1N, (b) Zeolit alam 5N, (c) ZSM-5 1N, dan (d) ZSM- 5 5N

Daya adsorpsi yang telah didapatkan selanjutnya diarahkan ke dua persamaan, yaitu persamaan Langmuir dan Freundlich. Berikut hasil pengerjaan dengan persamaan Langmuir dan Freundlich.

Tabel 6. Kapasitas Adsorpsi dan Koefisien Determinasi

	Freundlich				Langmuir			
	ZSM-5 1N	ZSM-5 5N	Zeolit Alam 1N	Zeolit Alam 5N	ZSM-5 1N	ZSM-5 5N	Zeolit Alam 1N	Zeolit Alam 5N
Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	13,1708	27,5086	7,9550	11,7306	8,0798	8,8930	7,5287	8,0019
Koefisien Determinasi (R^2)	0,9759	0,9715	0,9949	0,9842	0,9073	0,8912	0,98	0,9385

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi dalam penelitian ini antara lain konsentrasi zat aktivator (NaOH) serta jenis adsorben (zeolit alam dan ZSM-5). Oleh karena faktor-faktor tersebut maka setiap adsorben dengan variasi konsentrasi NaOH mempunyai pola isoterm adsorpsi yang berbeda. Diketahui terdapat dua jenis persamaan pola isoterm adsorpsi dalam penjerapan gas CO_2 yaitu persamaan adsorpsi Langmuir dan Freundlich.

Kapasitas daya adsorpsi perhitungan Freundlich memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan perhitungan Langmuir, hal ini sangat realistis karena pendekatan pada persamaan Freundlich adalah adsorpsi gas sedangkan pada persamaan Langmuir adalah adsorpsi larutan (Handayani dkk., 2009). Dari kurva juga dapat dilihat bahwa persamaan Freundlich memiliki derajat determinasi yang lebih bagus karena lebih mendekati nilai satu dibandingkan kurva dengan persamaan Langmuir. Sehingga hasil dari perhitungan berdasarkan grafik adalah adsorpsi ini mengikuti persamaan dari Freundlich.

Pada tabel kapasitas adsorpsi menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi NaOH maka semakin besar gas CO₂ yang terjerap. Penjerapan terbesar yaitu ZSM-5 dengan konsentrasi NaOH 5N sebesar 27,5086 mg/g dilanjutkan dengan ZSM-5 1N, zeolit alam 5N, dan adsorpsi paling rendah adalah zeolit alam 1N sebesar 7,9950 mg/g. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin besar konsentrasi NaOH, maka semakin banyak gas CO₂ yang terjerap sehingga tercapai keseimbangan tertentu, di mana laju zat yang diserap sama dengan zat yang dilepas dari adsorben tersebut (Mattel, 1991).

ZSM-5 5N berhasil dimodifikasi dari zeolit alam dan ZSM-5 menghasilkan kapasitas adsorpsi paling besar dibandingkan zeolit alam. Hasil kapasitas adsorpsi ini juga sejalan dengan hasil XRD dan SEM pada penjelasan. Hasil XRD menunjukkan bahwa pori zeolit alam dan ZSM-5 ini telah mencapai mikropori berdasarkan rumus *Scherrer*. ZSM-5 memiliki ukuran kisi kristal yang lebih besar dari zeolit alam maka kapasitas adsorpsi ZSM-5 lebih besar dari zeolit alam. Hasil ini membuktikan bahwa semakin besar ukuran kisi kristal maka semakin kecil ukuran pori dan semakin besar juga *surface area*, kemudian semakin besar luas area maka semakin besar daya penjerapan karena penyebaran pori pori lebih banyak yang akan dibuktikan pada hasil grafik adsorpsi gas CO₂ di bawah (Octaviani, 2012). Akan tetapi, kisi kristal zeolit alam dan ZSM-5 dengan konsentrasi 5N memiliki ukuran yang lebih besar daripada 1N dikarenakan pengotor yang sangat mengganggu proses penjerapan CO₂. Hasil SEM juga menunjukkan bahwa morfologi kristal ZSM-5 yang terbentuk terlihat jelas yang terbentuk dibandingkan zeolit alam yang masih terlihat banyak pengotor yang sangat mengganggu pada proses penjerapan gas CO₂. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar NaOH sebagai media aktivator yang digunakan

maka semakin besar kapasitas adsorbsinya, kemudian semakin besar ukuran kisi kristal maka semakin besar juga gas CO₂ yang terjerap.

BAB IV

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa :

- a. Semakin besar ukuran kisi kristal maka semakin besar penjerapan gas CO₂ yaitu ZSM-5 sebagai modifikasi zeolit alam yang memiliki ukuran kisi kristal lebih besar dari zeolit alam.
- b. Penambahan zat aktivator NaOH dengan konsentrasi 5N menghasilkan penjerapan CO₂ lebih besar dibandingkan NaOH dengan konsentrasi 1N.
- c. Hasil SEM menunjukkan ZSM-5 5N memiliki tampang morfologi paling bagus di mana ukuran kristal homogen dengan bentuk persegi panjang runcing.
- d. Penjerapan CO₂ paling besar adalah ZSM-5 menggunakan persamaan freundlich dengan kapasitas adsorpsi sebesar 27,5086 mg/gr sedangkan penjerapan CO₂ paling kecil adalah zeolit alam 1N dengan kapasitas adsorpsi sebesar 7,9950 mg/gr.

5.2 Saran

- a. Bagi peneliti selanjutnya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan template ZSM-5.
- b. Bagi peneliti selanjutnya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan zat aktivator yang lebih divariasikan konsentrasinya.
- c. Bagi peneliti selanjutnya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan berbagai pengujian karakteristik zeolit seperti XRF (mengetahui persen kandungan silika dan alumina), BET (luas permukaan), dan lainnya.
- d. Bagi peneliti selanjutnya perlu dilakukan penelitian untuk menghilangkan pengotor secara maksimal dengan mengganti zat aktivator seperti KOH.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya K., Melisa P., dan Hadiyanto A. 2012. "Pemurnian Biogas dari Kandungan Hidrogen Sulfida (H_2S) Dengan $NaOH$, $CuSO_4$, $Fe_2(SO_4)_3$ Dalam *Packed Column* Secara Kontinyu". *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, (1):389-395.
- Anawati F., Suseno A., dan Taslimah. 2012. "Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Berbahan Dasar Limbah Padat Industri Kertas (*Dregs*) dengan Penambahan Abu Sekam Padi". *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, (1): 18-23
- Atikah W. S. 2017. "Potensi Zeolit Alam Gunung Kidul Teraktivasi Sebagai Media Adsorben Pewarna Tekstil". *Arena Tekstil*, (1):17-24..
- Ayala F. E., Corella R. C., Pérez A. M., Hernández R. P., and Ramírez-Zamora R. M. 2014. Carbon Dioxide Capture Utilizing Zeolites Synthesized With Paper Sludge And Scrap-Glass. *Waste Management & Research*, (32):12.
- Febriyanita W. 2015. "Pengembangan Biogas dalam Rangka Pemanfaatan Energi Terbarukan di Desa Jetak Kecamatan Getasan Kabupaten Semarang". *Skripsi*. Semarang: Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Semarang.
- Hamidi N., Wardana I., dan Widhiyanuriyawan D. 2011. "Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Pemurnian dengan Zeolit Alam". *Jurnal Rekayasa Mesin*, (2):3.
- Handayani M., dan Sulistiyono E. 2009. "Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich Pada Penyerapan Limbah Chrom (VI) Oleh Zeolit". *PTNBR-BATAN Bandung*.
- Lestari D. Y. 2010. "Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara". *Juridik Kimia UNY 54th 1956-2010*.
- Mattel, C. L. 1991. "Adsorption". *2th Edition, McGraw-Hill Company Inc., New York*.
- Megawati dan Aji K. W. "Pengaruh Penambahan Em4 (*Effective Microorganism-4*) Pada Pembuatan Biogas Dari Eceng Gondok dan Rumen Sapi". *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, (2):42-49.
- Nugraha R. E., Safitri L. E., dan Shalihah R. 2018. "Sintesis ZSM-5 Tanpa *Template* Dengan Metode Hidrotermal". *Research Gate*.
- Octaviani S. 2012. "Sintesis Karakterisasi Zeolit ZSM-5 Mesopori Dengan Metode Desilikasi dan Studi Awal Katalisis Oksidasi Metana". *Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Program Studi Kimia*.

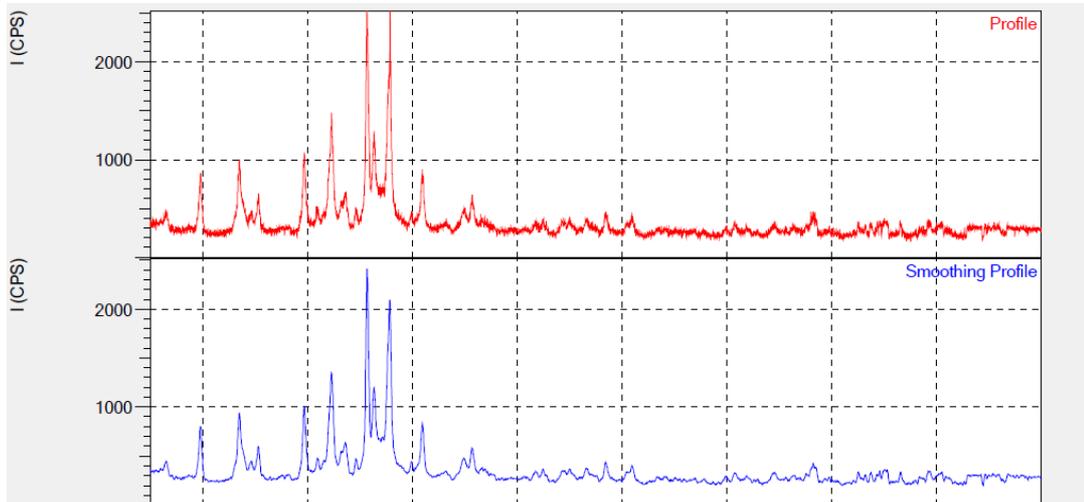
- Ohlin L., Bazin P., Thibault-Starzyk F., Hedlund J., dan Grahn M. 2013. Adsorption Of CO₂, CH₄, and H₂O in Zeolite ZSM-5 Studied Using In Situ ATR-FTIR Spectroscopy. *The Journal Of Physical Chemistry*.
- Petushkov, A., Yoon, S., and Larsen, S.C. 2011. Synthesis of Hierarchical nanocrystalline ZSM-5 with Controlled Particle Size and Mesoporosity. *Micropor, Mesopor, Mater*, (137):92-103.
- Puspitasari W. 2012. "Sintesis dan Karakterisasi Komposit *Zeolite-Glassy Carbon* dan Aplikasinya Sebagai *Zeolite Modified Electrode (ZME)* Untuk Indikator Asam Askorbat". *FMIPA Universitas Indonesia*.
- Ritonga A. M. dan Masrukhil. 2017. "Optimasi Kandungan Metana (CH₄) Biogas Kotoran Sapi Menggunakan Berbagai Jenis Adsorben". *Jurnal Rona Teknik Peternakan*, (10):2.
- Reniaili. 2014. "Enceng Gondok Sebagai Biogas yang Ramah Lingkungan". *Jurnal Ilmiah TEKNO*, (11):1.
- Rohayati, Krisnandi Y. K., and Sihombing R. 2016. Synthesis of ZSM-5 Zeolite Using Bayat Natural Zeolite as Silica and Alumina Source. *International Symposium on Current in Mathematics and Sciences 2016 (ISCPMS 2016)*.
- Sari E. F., dan Agustin A. P. 2018. "Perbandingan Pengaruh Sintesis ZSM-5 Dengan *Template* Organik dan Tanpa *Template* Organik". *Research Gate*.
- Sumarni, Hindryawati N., dan Alimuddin. 2018. "Aktivasi dan Karakterisasi Zeolit Alam Menggunakan NaOH". *Jurnal Atomik*, (3):2.
- Venkatesh V., Jaikumar M., and Rajadurai M. S. 2016. CO₂ Capture by Using Modified ZSM-5 Zeolite In Diesel Powered Vehicle. *IOSR Journal Of Mechanical And Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, (13):102-107.
- Wongo W., and Hubbard C. R. 2013. Standard Reference Materials For X-Ray Diffraction Part II. Calibration Using d-Spacing Standards. *Cambridge University Press*, (2): 4.
- Wulandari A. V., Kusumastuti E., dan Sulistyaningsih T. 2017. "Pengaruh Penambahan Abu Layang Termodifikasi terhadap Karakteristik Membran Elektrolit Berbahan Dasar Kitosan". *Indonesian Journal of Chemical Science*, (6):2.
- Yuanita. 2010. "Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam Dari Berbagai Negara". *Jurdik Kimia UNY*, 1956-2010.

Yulianti I. T. 2017. "Sintesis ZSM-5 (*Zeolite Secony Mobile-5*) dari Silika Ampas Tebu (*Bagasse*) Menggunakan Metode *Steam Assisted Conversion (SAC)*". *Skripsi*. Bandar Lampung: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung,.

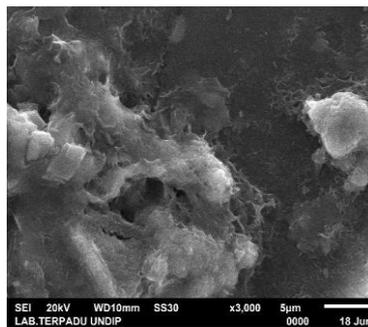
LAMPIRAN

Lampiran 1. Karakterisasi XRD Zeolit Alam dan ZSM-5

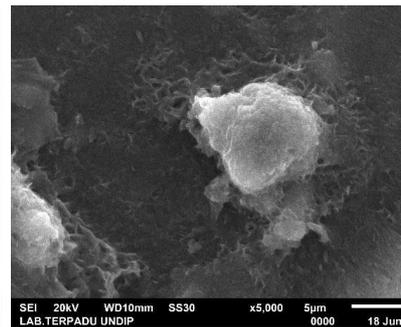
Data XRD Zeolit Alam 5N:



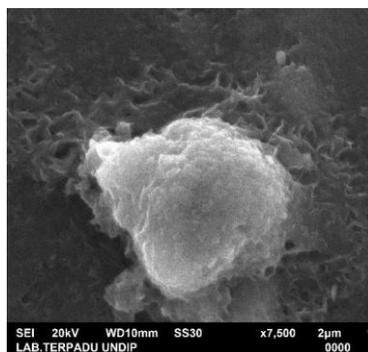
Ket: sumbu x: 0-90/theta-2 theta (deg)



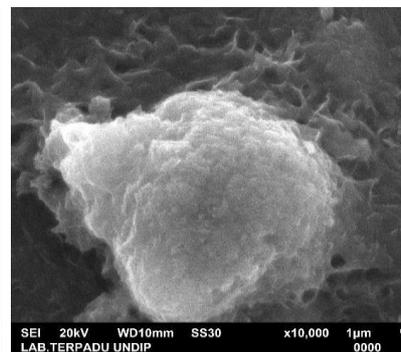
SEM 3000X



SEM 5000X



SEM 7500X



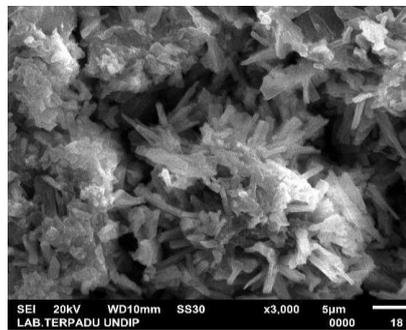
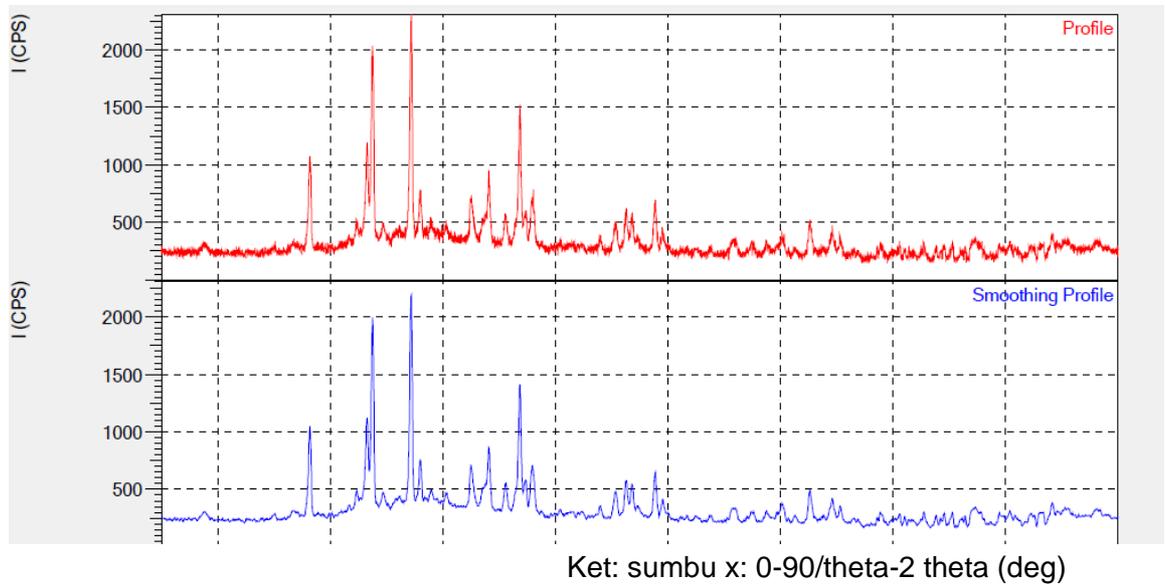
SEM 10000X

# Strongest 3 peaks							
no. peak	2Theta	d	I/I1	FWHM	Intensity	Integrated Int	
	(deg)	(Å)		(deg)	(Counts)	(Counts)	
1	19	25.7418	3.45806	100	0.28980	841	12995
2	23	27.8251	3.20370	84	0.42340	705	16451
3	14	22.3883	3.98192	49	0.47720	409	9964

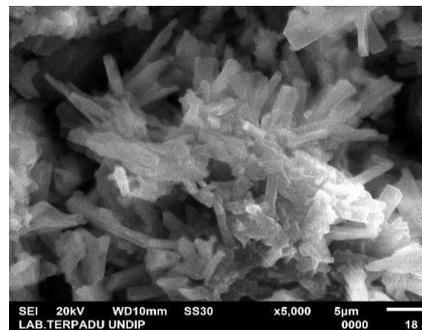
# Peak Data List							
peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)	
1	6.2095	14.22225	3	0.34000	25	581	
2	6.6513	13.27853	7	0.40000	62	1428	
3	9.8830	8.94257	26	0.32860	219	4291	
4	13.0899	6.75805	5	0.19420	46	757	
5	13.5926	6.50922	32	0.40890	267	4938	
6	14.0468	6.29975	10	0.44500	85	2213	
7	14.6831	6.02818	8	0.49200	69	1797	
8	15.3622	5.76316	16	0.34770	132	2444	
9	19.3168	4.59130	3	0.19500	29	491	
10	19.7448	4.49274	35	0.32130	293	4543	
11	20.0361	4.42807	8	0.20000	70	1097	
12	21.0209	4.22279	7	0.28850	60	1123	
13	21.6324	4.10478	6	0.42860	49	1405	
14	22.3883	3.98192	49	0.47720	409	9964	
15	23.2889	3.81643	11	0.40660	90	1967	
16	23.6682	3.75612	15	0.38280	130	2319	
17	24.6740	3.60524	7	0.24870	61	777	
18	25.2255	3.52765	4	0.24000	32	915	
19	25.7418	3.45806	100	0.28980	841	12995	
20	26.3814	3.37565	39	0.42000	328	8321	
21	26.8830	3.31380	14	0.00000	114	0	
22	27.1825	3.27796	14	0.00000	120	0	
23	27.8251	3.20370	84	0.42340	705	16451	
24	28.4209	3.13788	5	0.25000	43	1568	
25	29.9501	2.98106	5	0.23560	46	572	
26	30.5184	2.92883	4	0.81340	30	997	
27	30.9926	2.88312	26	0.33260	217	3837	
28	33.1982	2.69644	4	0.48500	31	1313	
29	34.2947	2.61269	3	0.24000	26	368	
30	34.9580	2.56462	10	0.74100	82	2852	
31	35.7296	2.51099	15	0.38800	130	2645	
32	36.5729	2.45500	4	0.36000	35	920	
33	36.9327	2.43190	5	0.28000	39	475	
34	37.2125	2.41426	4	0.12660	32	403	
35	41.7695	2.16079	4	0.49000	31	881	
36	42.4691	2.12680	6	0.24000	49	819	
37	44.3882	2.04270	5	0.33000	42	709	
38	44.5680	2.03139	5	0.22400	40	414	
39	44.9894	2.01334	6	0.31670	47	708	
40	45.3197	1.99943	3	0.22400	26	335	
41	46.6287	1.94631	6	0.41000	48	1630	
42	48.4623	1.87686	10	0.33220	84	1747	
43	50.4254	1.80830	6	0.22400	47	729	
44	50.9160	1.79202	9	0.48830	76	1838	
45	53.3314	1.71642	3	0.21430	27	574	
46	59.8888	1.54319	4	0.29330	31	622	
47	60.7485	1.52340	5	0.41330	41	996	
48	61.8749	1.49834	4	0.29330	30	851	
49	64.3609	1.44634	4	0.29340	37	586	
50	64.5809	1.44194	4	0.32000	36	548	
51	67.5901	1.38487	4	0.23340	35	482	
52	68.0799	1.37610	7	0.33200	62	766	
53	68.2399	1.37326	9	0.44000	75	866	
54	68.5398	1.36798	6	0.20000	52	503	
55	69.7602	1.34701	3	0.19350	27	481	
56	72.5545	1.30186	8	0.19140	68	737	

peak no.	2theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
57	72.9567	1.29567	3	0.13200	28	190
58	73.2379	1.29138	5	0.16650	38	331
59	73.7247	1.28406	7	0.22170	56	596
60	74.3234	1.27519	5	0.22000	43	470
61	74.6157	1.27092	6	0.13310	47	353
62	75.0313	1.26491	8	0.31300	70	854
63	75.3182	1.26080	5	0.19280	46	416
64	76.3745	1.24321	8	0.19330	67	766
65	78.4191	1.21852	4	0.22850	35	569
66	79.2555	1.20775	8	0.30330	65	1016
67	79.9171	1.19941	3	0.16000	25	711
68	80.3370	1.19419	4	0.00000	33	0
69	80.5169	1.19198	5	0.18500	42	529
70	80.9888	1.18622	4	0.25600	34	564
71	83.0653	1.16176	7	0.31800	59	1110
72	83.4962	1.15686	6	0.32000	50	1359
73	84.2361	1.14857	6	0.14500	47	679
74	84.6787	1.14369	8	0.28550	70	715
75	85.1359	1.13872	4	0.29340	37	517
76	85.4358	1.13548	4	0.40000	32	558
77	85.8257	1.13026	4	0.26000	30	411
78	86.8812	1.12027	3	0.27830	26	500

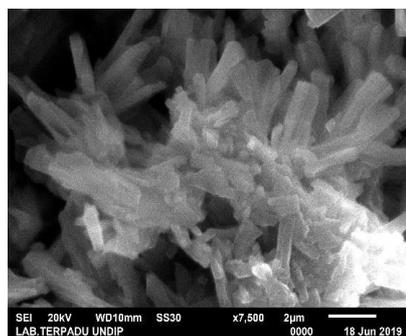
Data XRD ZSM-5 5N:



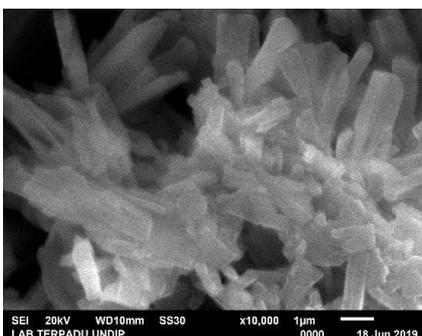
SEM 3000X



SEM 5000X



SEM 7500X



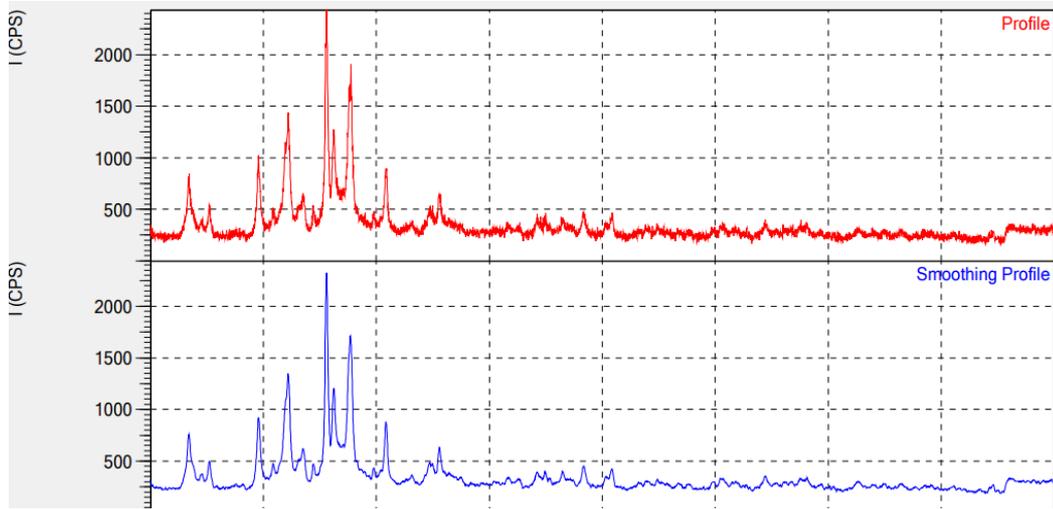
SEM 10000X

# Strongest 3 peaks							
no. peak	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)	
1	13	27.2048	3.27532	100	0.24800	757	10400
2	9	23.7857	3.73783	90	0.25210	685	9268
3	23	36.8564	2.43676	64	0.25110	484	6350

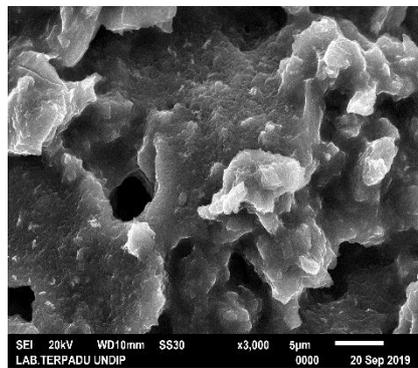
# Peak Data List						
peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	8.9136	9.91282	4	0.40000	28	946
2	15.0661	5.87575	3	0.34800	25	577
3	16.7888	5.27652	3	0.39670	25	824
4	18.2284	4.86292	42	0.26390	320	4826
5	21.7248	4.08753	3	0.19870	23	282
6	22.3940	3.96688	9	0.27330	70	1183
7	22.7101	3.91237	5	0.00000	38	0
8	23.2953	3.81540	42	0.28800	320	5651
9	23.7857	3.73783	90	0.25210	685	9268
10	24.7543	3.59373	7	0.31200	55	1101
11	25.8844	3.43933	4	0.24000	31	472
12	26.1715	3.40225	4	0.28500	33	533
13	27.2048	3.27532	100	0.24800	757	10400
14	28.0280	3.18097	20	0.24520	153	2170
15	28.9910	3.07746	6	0.29170	47	885
16	30.3420	2.94344	6	0.24110	43	795
17	32.5618	2.74767	20	0.32890	153	2836
18	33.5754	2.66700	9	0.30000	70	1426
19	33.7952	2.65016	11	0.00000	86	0
20	34.1028	2.62695	30	0.25860	229	3557
21	35.5862	2.52077	13	0.28500	99	1509
22	36.3731	2.46803	5	0.20000	36	827
23	36.8564	2.43676	64	0.25110	484	6350
24	37.3163	2.40778	15	0.35790	112	2011
25	37.9824	2.36707	22	0.38110	169	3535
26	40.4419	2.22861	4	0.19670	28	410
27	42.3958	2.13031	4	0.33330	27	886
28	43.9844	2.05698	6	0.22120	48	771
29	45.3505	1.99815	13	0.32000	95	1655
30	46.2865	1.95989	18	0.28370	137	2122
31	46.8132	1.93906	16	0.26970	124	1761
32	47.3438	1.91856	5	0.37920	39	897
33	48.8539	1.86273	23	0.27570	172	2654
34	49.5223	1.83914	10	0.27890	73	1463
35	53.7908	1.70284	3	0.30670	25	438
36	55.6635	1.64990	7	0.23560	50	562
37	55.9034	1.64339	6	0.55200	47	965
38	57.0506	1.61304	3	0.14500	23	186
39	57.4229	1.60346	6	0.24660	43	480
40	57.6545	1.59757	4	0.18330	34	292
41	58.7583	1.57016	6	0.21830	43	769
42	59.7405	1.54667	4	0.24330	34	494
43	60.1271	1.53765	9	0.35000	65	1251
44	61.2826	1.51139	4	0.19170	29	348
45	62.6093	1.48252	18	0.25350	137	2135
46	64.3209	1.44714	5	0.12000	39	361
47	64.6073	1.44141	12	0.25290	88	1239
48	65.3285	1.42723	9	0.20220	67	819
49	66.9268	1.39698	4	0.12670	29	276
50	68.6369	1.36628	5	0.17150	35	306
51	68.9400	1.36102	7	0.23270	52	724
52	70.2103	1.33947	4	0.20470	27	562
53	70.5897	1.33320	6	0.20080	46	482
54	71.0529	1.32564	6	0.15250	49	382
55	71.4582	1.31911	5	0.14830	35	266
56	71.8340	1.31313	3	0.19000	24	230

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
57	72.4788	1.30303	4	0.24000	30	399
58	72.7775	1.29842	8	0.19750	61	686
59	73.8376	1.28237	7	0.26970	58	694
60	74.2784	1.27584	7	0.17400	51	424
61	74.5830	1.27139	7	0.18720	54	513
62	75.0582	1.26452	5	0.18100	39	387
63	75.2982	1.26108	7	0.16580	53	514
64	76.0726	1.25016	4	0.31930	32	624
65	76.4479	1.24496	5	0.14080	40	286
66	76.9378	1.23825	10	0.19000	76	759
67	77.3377	1.23284	9	0.42080	67	1581
68	77.8576	1.22590	6	0.14000	48	582
69	79.4888	1.20479	7	0.24330	55	750
70	79.8791	1.19988	4	0.24480	32	430
71	80.3710	1.19377	8	0.30880	60	905
72	80.9873	1.18721	6	0.22690	47	537
73	81.3236	1.18218	3	0.15110	24	183
74	81.7799	1.17673	3	0.22080	23	254
75	82.2348	1.17137	7	0.31670	53	817
76	82.5858	1.16728	4	0.19860	29	274
77	83.0752	1.16184	9	0.28220	66	846
78	83.3563	1.15844	4	0.22280	34	375
79	83.9161	1.15213	6	0.29100	47	566
80	84.1561	1.14946	10	0.38580	76	990
81	84.8936	1.14353	6	0.26190	48	605
82	85.2301	1.13770	6	0.37140	47	843
83	85.6387	1.13334	5	0.26080	36	591
84	88.0338	1.10855	4	0.46930	29	1116

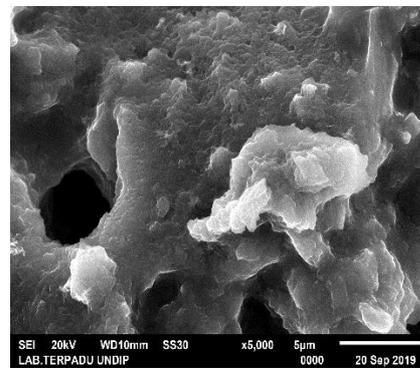
Data XRD Zeolit Alam 1N:



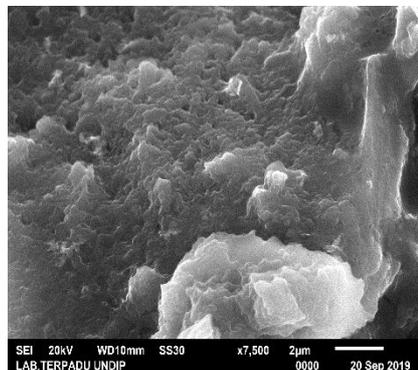
Ket: sumbu x: 0-90/theta-2 theta (deg)



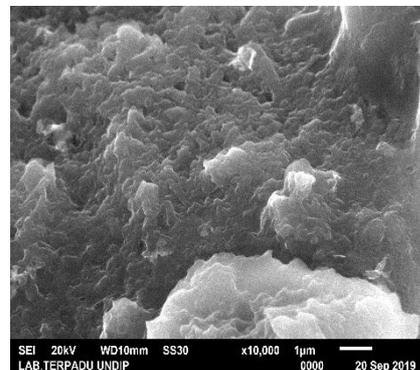
SEM 3000X



SEM 5000X



SEM 7500X



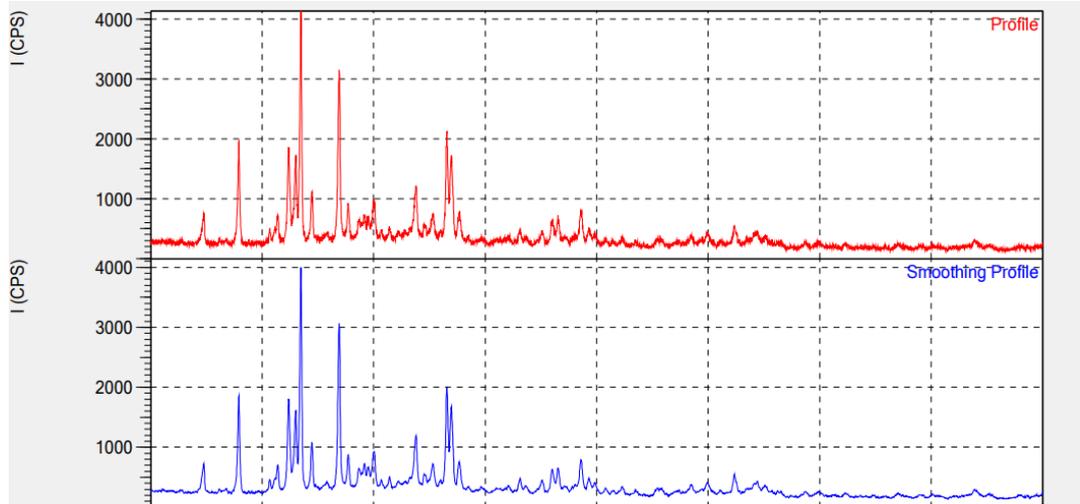
SEM 10000X

# Strongest 3 peaks							
no. peak	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)	
1	16	25.6203	3.47418	100	0.28750	803	12629
2	20	27.6919	3.21881	68	0.44450	543	13727
3	11	22.2311	3.99557	52	0.36860	417	7790

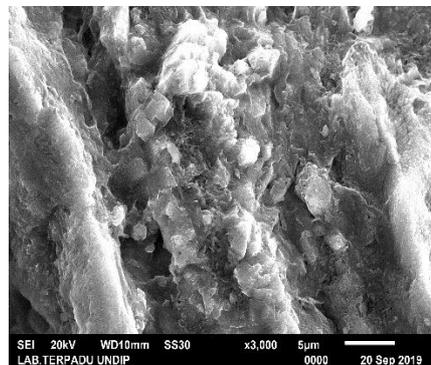
# Peak Data List							
peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)	
1	12.9704	6.82004	4	0.24800	29	620	
2	13.4973	6.55496	26	0.42630	207	4029	
3	13.9073	6.36263	9	0.31340	75	1402	
4	14.5953	6.06421	6	0.42000	51	1330	
5	15.2732	5.79654	13	0.31270	101	1901	
6	19.6226	4.52044	33	0.33220	265	4994	
7	20.0760	4.41936	4	0.22000	29	708	
8	20.9190	4.24313	8	0.28000	65	1070	
9	21.4528	4.13874	7	0.30000	55	1220	
10	21.9118	4.05307	33	0.31120	264	3927	
11	22.2311	3.99557	52	0.36860	417	7790	
12	23.2091	3.82937	10	0.52000	81	2205	
13	23.5484	3.77496	16	0.38540	128	2100	
14	24.4638	3.63574	8	0.23000	64	798	
15	25.0857	3.54700	4	0.18660	36	659	
16	25.6203	3.47418	100	0.28750	803	12629	
17	26.2614	3.39081	41	0.35260	333	7814	
18	26.7631	3.32837	13	0.00000	104	0	
19	27.1226	3.28506	13	0.00000	105	0	
20	27.6919	3.21881	68	0.44450	543	13727	
21	28.3410	3.14654	5	0.21140	41	1011	
22	29.7904	2.99667	5	0.19350	38	385	
23	30.4185	2.93621	4	0.29600	36	708	
24	30.8638	2.89485	30	0.29170	238	3894	
25	33.1583	2.69959	5	0.31500	38	1076	
26	34.3147	2.61121	4	0.20000	35	460	
27	34.7344	2.58062	10	0.47420	81	1452	
28	35.0141	2.56064	9	0.28000	74	1042	
29	35.6074	2.51932	18	0.31920	143	2193	
30	36.0333	2.49052	5	0.48000	44	1062	
31	36.4730	2.46149	5	0.40000	43	775	
32	36.7528	2.44339	3	0.00000	26	0	
33	37.0126	2.42684	3	0.30000	28	511	
34	37.4448	2.39981	3	0.41500	28	686	
35	41.5696	2.17072	4	0.20000	31	362	
36	41.7895	2.15981	4	0.29000	30	406	
37	42.5701	2.12199	4	0.50200	32	981	
38	43.9683	2.05770	3	0.14000	27	267	
39	44.2291	2.04617	7	0.33530	59	1060	
40	44.5680	2.03139	3	0.00000	25	0	
41	44.9432	2.01530	7	0.24420	56	911	
42	45.3476	1.99827	3	0.22660	27	349	
43	46.4888	1.95184	7	0.23000	57	1143	
44	48.3500	1.88096	10	0.34460	80	1769	
45	50.2855	1.81300	6	0.29600	46	936	
46	50.8214	1.79514	10	0.33880	79	1519	
47	53.2014	1.72030	3	0.22600	24	426	
48	53.9861	1.69714	3	0.52400	28	732	
49	54.8573	1.67223	4	0.20710	35	383	
50	55.2212	1.66206	3	0.15500	24	304	
51	59.8222	1.54475	4	0.40000	30	559	
52	60.4620	1.52993	5	0.27000	42	456	
53	60.7019	1.52446	4	0.34000	34	592	
54	61.4847	1.50691	3	0.25400	26	322	
55	61.8224	1.49949	4	0.22830	32	509	
56	62.7630	1.47926	3	0.17670	24	466	

peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
57	64.1210	1.45117	3	0.23000	27	433
58	64.4057	1.44544	7	0.27620	58	955
59	66.0855	1.41271	3	0.27000	24	550
60	66.7113	1.40097	3	0.27800	24	354
61	67.5251	1.38605	5	0.34000	38	847
62	67.8600	1.38002	3	0.00000	27	0
63	68.0749	1.37619	5	0.35000	42	753
64	70.4813	1.33498	3	0.16400	25	370
65	72.5504	1.30192	4	0.55670	32	1241
66	76.3979	1.24565	4	0.31000	29	675
67	84.3360	1.14746	3	0.30000	28	436
68	84.6360	1.14416	4	0.16580	31	323
69	85.8757	1.13079	6	0.37600	50	1196
70	86.4156	1.12511	5	0.38000	37	1377

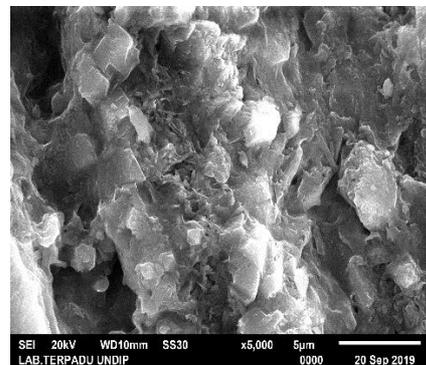
Data XRD ZSM-5 1N:



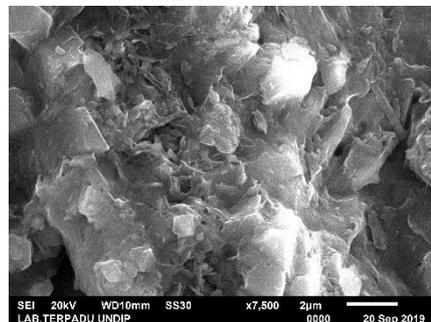
Ket: sumbu x: 0-90/theta-2 theta (deg)



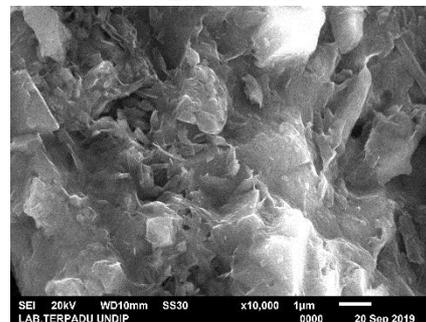
SEM 3000X



SEM 5000X



SEM 7500X



SEM 10000X

# Strongest 3 peaks							
no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	9	23.5017	3.78235	100	0.18790	1560	16508
2	13	26.9325	3.30782	76	0.20410	1183	13542
3	26	36.5782	2.45466	48	0.20520	746	8542

# Peak Data List							
peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)	Int
1	14.7721	5.99203	13	0.27460	199	3126	
2	17.9574	4.93569	43	0.19660	672	8234	
3	20.7318	4.28102	5	0.17800	80	826	
4	21.1335	4.20055	4	0.20580	64	910	
5	21.4318	4.14275	11	0.20060	174	1858	
6	22.1512	4.00981	4	0.08000	61	480	
7	22.4250	3.96146	39	0.23040	616	7914	
8	23.0320	3.85841	34	0.22250	536	7282	
9	23.5017	3.78235	100	0.18790	1560	16508	
10	24.4881	3.63219	20	0.19420	319	3766	
11	25.8140	3.44855	3	0.35890	54	1375	
12	26.6433	3.34306	5	0.11720	76	873	
13	26.9325	3.30782	76	0.20410	1183	13542	
14	27.7515	3.21203	14	0.20050	222	2735	
15	28.7005	3.10794	7	0.22740	114	1667	
16	29.1858	3.05736	9	0.25180	147	2131	
17	29.5348	3.02202	8	0.27070	117	1686	
18	30.0293	2.97337	15	0.29710	233	3621	
19	30.7142	2.90861	3	0.10950	50	318	
20	31.4437	2.84278	5	0.15530	82	790	
21	33.2757	2.69033	3	0.21000	49	996	
22	33.7815	2.65120	22	0.28530	338	5108	
23	34.5345	2.59510	5	0.11620	85	444	
24	34.6944	2.58350	4	0.13340	60	508	
25	35.3064	2.54011	10	0.28500	152	2689	
26	36.5782	2.45466	48	0.20520	746	8542	
27	36.9792	2.42895	37	0.27110	580	8448	
28	37.6823	2.38523	11	0.30680	174	2996	
29	39.6684	2.27027	3	0.15130	47	719	
30	42.0983	2.14467	3	0.20200	48	831	
31	43.1167	2.09635	6	0.26920	94	2150	
32	44.9478	2.01511	4	0.15380	55	708	
33	45.1277	2.00749	6	0.19200	92	925	
34	46.0155	1.97080	11	0.24360	169	2393	
35	46.5317	1.95014	11	0.21690	179	2438	
36	48.0860	1.89067	3	0.15580	49	648	
37	48.3463	1.88109	3	0.14400	53	512	
38	48.5977	1.87195	15	0.24590	235	2994	
39	49.3024	1.84683	6	0.25140	98	1405	
40	49.8240	1.82871	4	0.25440	67	1069	
41	52.2913	1.74808	4	0.18670	61	905	
42	53.4899	1.71170	3	0.13780	48	524	
43	55.3997	1.65713	3	0.40370	51	1051	
44	55.7728	1.64693	3	0.32530	53	983	
45	58.4820	1.57692	4	0.22280	68	1062	
46	59.9123	1.54265	5	0.32430	74	1729	
47	62.3477	1.48811	10	0.24100	154	2250	
48	64.1417	1.45075	4	0.23850	69	1167	
49	64.4168	1.44521	5	0.19180	79	857	
50	83.8986	1.15233	3	0.31500	53	1209	

Lampiran 2. Perhitungan-Perhitungan

Lampiran 2.1 Perhitungan Ukuran Kisi Kristal

1. Zeolit Alam 5N

$$\begin{aligned} T &= \frac{a^{\circ} \times \lambda}{180} \\ &= \frac{0,28980 \times 3,14}{180} \\ &= 0,0050554 \text{ radian} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{k \times \lambda}{T \cos\theta} \\ &= \frac{0,86 \times 1,5406 \times 10^{-10}}{0,0050554 \times \cos(25,7418^{\circ})} \\ &= \frac{1,324916 \times 10^{-10}}{0,0050554 \times 0,90076} \\ &= \frac{1,324916 \times 10^{-10}}{0,0045537} \\ &= 290,95373 \times 10^{-10} \text{ m} \\ &= 29,095 \text{ nm} \end{aligned}$$

2. ZSM-5 5N

$$\begin{aligned} T &= \frac{a^{\circ} \times \lambda}{180} \\ &= \frac{0,24800 \times 3,14}{180} \\ &= 0,0043262 \text{ radian} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{k \times \lambda}{T \cos\theta} \\ &= \frac{0,86 \times 1,5406 \times 10^{-10}}{0,0043262 \times \cos(27,2048^{\circ})} \\ &= \frac{1,324916 \times 10^{-10}}{0,0043262 \times 0,88938} \\ &= \frac{1,324916 \times 10^{-10}}{0,0038476} \\ &= 344,34868 \times 10^{-10} \text{ m} \\ &= 34,435 \text{ nm} \end{aligned}$$

3. Zeolit Alam 1N

$$\begin{aligned} T &= \frac{a^{\circ} \times \lambda}{180} \\ &= \frac{0,28750 \times 3,14}{180} \\ &= 0,0050153 \text{ radian} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D &= \frac{k \times \lambda}{T \cos\theta} \\
&= \frac{0,86 \times 1,5406 \times 10^{-10}}{0,0050153 \times \cos(25,6203^\circ)} \\
&= \frac{1,324916 \times 10^{-10}}{0,0050153 \times 0,90168} \\
&= \frac{1,324916 \times 10^{-10}}{0,0045222} \\
&= 292,98041 \times 10^{-10} \text{ m} \\
&= 29,298 \text{ nm}
\end{aligned}$$

4. ZSM-5 1N

$$\begin{aligned}
T &= \frac{a^\circ \times \lambda}{180} \\
&= \frac{0,18790 \times 3,14}{180} \\
&= 0,0032778 \text{ radian}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D &= \frac{k \times \lambda}{T \cos\theta} \\
&= \frac{0,86 \times 1,5406 \times 10^{-10}}{0,0032778 \times \cos(23,5017^\circ)} \\
&= \frac{1,324916 \times 10^{-10}}{0,0032778 \times 0,91705} \\
&= \frac{1,324916 \times 10^{-10}}{0,0030059} \\
&= 440,77182 \times 10^{-10} \text{ m} \\
&= 44,077 \text{ nm}
\end{aligned}$$

Lampiran 2.2 Perhitungan Freundlich dan Langmuir

1. Zeolit Alam 5N

Cawal	Cakhir	Xm	m	Xm/m	ln (Xm/m)	ln Cakhir	m/Xm	1/Cakhir
19,72	10,24	2,844	17	0,167294	-1,788	2,326302	5,977496	0,097656
19,72	11,22	2,55	17	0,15	-1,89712	2,417698	6,666667	0,089127
19,72	12,06	2,298	17	0,135176	-2,00117	2,489894	7,397737	0,082919
19,72	12,78	2,082	17	0,122471	-2,09988	2,547881	8,165226	0,078247
19,72	13,4	1,896	17	0,111529	-2,19347	2,595255	8,966245	0,074627
19,72	13,93	1,737	17	0,102176	-2,28105	2,634045	9,786989	0,071788
19,72	14,39	1,599	17	0,094059	-2,36383	2,666534	10,63164	0,069493
19,72	14,77	1,485	17	0,087353	-2,4378	2,692598	11,44781	0,067705
19,72	15,11	1,383	17	0,081353	-2,50896	2,715357	12,29212	0,066181

2. Zeolit Alam 1N

Cawal	Cakhir	Xm	m	Xm/m	ln (Xm/m)	ln Cakhir	m/Xm	1/Cakhir
19,72	10,75	2,691	17	0,158294	-1,8433	2,374906	6,317354	0,093023

19,72	11,8	2,376	17	0,139765	-1,96779	2,4681	7,154882	0,084746
19,72	12,7	2,106	17	0,123882	-2,08842	2,541602	8,072175	0,07874
19,72	13,46	1,878	17	0,110471	-2,20301	2,599722	9,052183	0,074294
19,72	14,09	1,689	17	0,099353	-2,30908	2,645465	10,06513	0,070972
19,72	14,62	1,53	17	0,09	-2,40795	2,68239	11,11111	0,068399
19,72	15,08	1,392	17	0,081882	-2,50247	2,713369	12,21264	0,066313
19,72	15,46	1,278	17	0,075176	-2,58792	2,738256	13,30203	0,064683
19,72	15,79	1,179	17	0,069353	-2,66855	2,759377	14,419	0,063331

3. Zeolit Alam 5N

Cawal	Cakhir	Xm	m	Xm/m	In Xm/m	In Cakhir	m/Xm	1/Cakhir
19,72	10,85	2,661	17	0,156529	-1,85451	2,384165	6,388576	0,092166
19,72	12,02	2,31	17	0,135882	-1,99597	2,486572	7,359307	0,083195
19,72	12,97	2,025	17	0,119118	-2,12764	2,562639	8,395062	0,077101
19,72	06.57	1,929	17	0,113471	-2,17621	2,587012	8,812856	0,075245
19,72	13,3	1,926	17	0,113294	-2,17777	2,587764	8,826584	0,075188
19,72	13,32	1,92	17	0,112941	-2,18089	2,589267	8,854167	0,075075
19,72	13,6	1,836	17	0,108	-2,22562	2,61007	9,259259	0,073529
19,72	13,39	1,899	17	0,111706	-2,19189	2,594508	8,95208	0,074683
19,72	13,43	1,887	17	0,111	-2,19823	2,597491	9,009009	0,07446

4. Zeolit Alam 1N

Cawal	Cakhir	Xm	m	Xm/m	In (Xm/m)	In Cakhir	m/Xm	1/Cakhir
19,72	10,61	2,733	17	0,160765	-1,82781	2,361797	6,220271	0,094251
19,72	11,37	2,505	17	0,147353	-1,91492	2,430978	6,786427	0,087951
19,72	12,04	2,304	17	0,135529	-1,99857	2,488234	7,378472	0,083056
19,72	12,61	2,133	17	0,125471	-2,07568	2,53449	7,969995	0,079302
19,72	13,11	1,983	17	0,116647	-2,1486	2,573375	8,572869	0,076278
19,72	13,55	1,851	17	0,108882	-2,21749	2,606387	9,184225	0,073801
19,72	13,93	1,737	17	0,102176	-2,28105	2,634045	9,786989	0,071788
19,72	14,27	1,635	17	0,096176	-2,34157	2,658159	10,39755	0,070077
19,72	14,58	1,542	17	0,090706	-2,40013	2,679651	11,02464	0,068587

Lampiran 3. Foto Hasil Penelitian

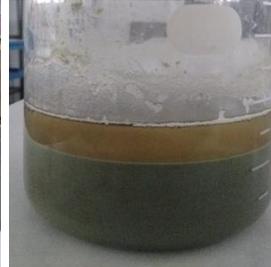
Pembuatan zeolit alam:



Zeolit alam



Pengayakan 100 mesh



Perendaman +NaOH



Penyaringan diambil residu



pH zeolit 6-8



Pengovenan

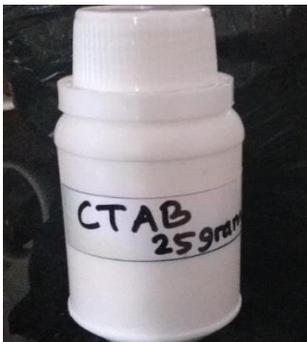
Pembuatan ZSM-5:



Zeolit direflux



Saring diambil filtrat



Filtrat +CTAB



Sonikasi



Pindahkan ke hidrotermal



ZSM-5 dioven



Panaskan sampai kering



Furnace



Hasil furnace



Kiri: ZSM-5, kanan: zeolit alam

Pengujian pada gas simulator CO₂ :

