



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERCOBAAN ADSORPSI NITROGEN DAN METANA DI
DALAM ZEOLIT PADA TEKANAN TINGGI SERTA
PEMODELANNYA**

SKRIPSI

RONALD FREZER

0606043250

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S-1 EKSTENSI TEKNIK KIMIA
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERCOBAAN ADSORPSI NITROGEN DAN METANA DI
DALAM ZEOLIT PADA TEKANAN TINGGI SERTA
PEMODELANNYA**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
di Departemen Teknik Kimia FT UI**

RONALD FREZER

0606043250

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S-1 EKSTENSI TEKNIK KIMIA
DEPOK
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Ronald Frezer

NPM : 0606043250

Tanda Tangan :

Tanggal : 17 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ronald Frezer
NPM : 0606043250
Program Studi : S-1 Ekstensi Teknik Kimia
Judul Studi : Percobaan Adsorpsi Nitrogen dan Metana di dalam Zeolit pada Tekanan Tinggi serta Pemodelannya

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Mahmud Sudibandriyo, MSc, PhD ()

Penguji : Prof. Dr. Widodo Wahyu Purwanto, DEA ()

Penguji : Ir. Dijan Supramono, MSc. ()

Ditetapkan di : Ruang B (Ruang rapat lantai 2)

Tanggal : Selasa, 23 Desember 2008

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Purwanto, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia FT UI;
2. **Bapak Ir. Mahmud Sudibandriyo, MSc., PhD.** selaku pembimbing skripsi yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam menyusun skripsi ini;
3. Bapak Bambang Heru S., ST. selaku dosen pembimbing akademis selama perkuliahan selama ini;
4. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
5. Mentor saya Doni Pabhassaro dan Ayu Adi Perwitasari untuk petunjuknya dalam pengoperasian alat dan pendapatnya selama skripsi.
6. Teman - teman S-1 Ekstensi angkatan 2006 yang banyak membantu dalam memberi motivasi, kerja sama, dan persahabatannya kepada penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
7. Panji Dermawan dan Rizky Romadhona sebagai teman satu perjuangan dalam bimbingan dengan Pak Mahmud.
8. Mang Ijal, Kang Jajat dan Mas Eko dalam bantuannya selama penelitian berlangsung.
9. Pak Min dan mas Opik atas bantuannya dalam mencari literatur di perpustakaan.
10. Teman-teman satu penelitian di Lab RPKA yaitu Sylvia Yusim (*SomeOne who ever make my heart fall in love*), Haryani Pangastuti (teman curhat

tentang *SomeOne*), Teguh, Dickson, Monic, Pan (teman PJ setiap Jumat), Dianita, Ibad, Suryo (*my Brother*), Dinan, Reza dan Aji.

11. Untuk teman-teman spesial selama perkuliahan berlangsung, *I will not forget you forever*, untuk: Mas Ghozali, Edyos Windu S. Kila, Mas S. Joko Pamungkas, Ceppy Supriyadi, Dinan Roaeni, Sapur M. Nasir, Muhammad Arif, Haryani Pangastuti, Suryo (mahasiswa UTIRTA), Hanif Adhi Setyoko dan Aziz Afandy.
12. Untuk rekan-rekan MenWa UI (Resimen Mahasiswa Universitas Indonesia) yang telah menjadi teman dalam membentuk kepribadian yang kuat dan disiplin. Kobarkan semangat : “Hidup Makara UI”.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 17 Desember 2008

Ronald Frezer

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ronald Frezer
NPM : 0606043250
Program Studi : S-1 Ekstensi Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik UI
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“ Percobaan Adsorpsi Nitrogen dan Metana di dalam Zeolit pada Tekanan Tinggi serta Pemodelannya. “

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Kampus baru UI, Depok

Pada tanggal : 17 Desember 2008

Yang menyatakan

(Ronald Frezer)

ABSTRAK

Nama : Ronald Frezer
Program Studi : S-1 Ekstensi Teknik Kimia
Judul : Percobaan Adsorpsi Nitrogen dan Metana di dalam Zeolit pada Tekanan Tinggi serta Pemodelannya.

Skripsi ini membahas tentang peristiwa adsorpsi gas nitrogen dan metana pada suatu padatan adsorben dalam hal ini zeolit alam Malang. Adapun penelitian ini dapat digunakan sebagai aplikasi untuk proses pemisahan gas alam dari nitrogen ataupun dapat digunakan untuk proses penangkapan kembali gas metana di dalam gas buang. Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari preparasi zeolit, persiapan peralatan Adsorpsi Isotermis, adsorpsi isotermis N_2 , adsorpsi gas CH_4 , pemodelan adsorpsi gas N_2 dan CH_4 dengan model BET. Adapun data yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi zeolit dalam mengadsorpsi nitrogen dan metana lebih besar pada suhu $30^\circ C$ dibandingkan pada suhu $40^\circ C$ dan $50^\circ C$ pada kondisi tekanan yang sama, dimana kapasitas adsorpsi pada tekanan 900 Psia (6 MPa) untuk gas nitrogen adalah 2,55 mmol/g zeolit, 2,43 mmol/g zeolit dan 2,20 mmol/g zeolit untuk temperatur $30^\circ C$, $40^\circ C$ dan $50^\circ C$ secara berturut-turut sedangkan kapasitas adsorpsi pada tekanan 900 Psia untuk gas metana adalah 3,02 mmol/g zeolit, 2,90 mmol/g zeolit dan 2,22 mmol/g zeolit untuk temperatur $30^\circ C$, $40^\circ C$ dan $50^\circ C$ secara berturut-turut. Pemodelan BET yang digunakan dalam merepresentasikan data hasil uji percobaan menunjukkan persentase deviasi rata-rata (% AAPD) untuk Model BET pada adsorpsi gas nitrogen adalah 1,69 dan gas metana adalah 4,16. Selektivitas zeolit pada suhu $30^\circ C$ ditunjukkan dengan adanya harga yang maksimum dari perbandingan CH_{4ads}/N_{2ads} sebesar 1,15 pada 3 Mpa. pada suhu $40^\circ C$ diperoleh dengan tekanan tinggi maka daya adsorpsinya menurun, dengan tekanan maksimum 1 Mpa yaitu 1,27, dan pada suhu $50^\circ C$ didapatkan bahwa zeolit lebih mudah menyerap nitrogen dibandingkan metana.

Kata kunci: Adsorpsi, zeolit alam Malang, nitrogen, metana, model BET.

ABSTRACT

Name : Ronald Frezer

Study Program: S-1 Ekstensi Teknik Kimia

Title : Experiment of Nitrogen and Methane Adsorption in Zeolite at High Pressure and their modelling.

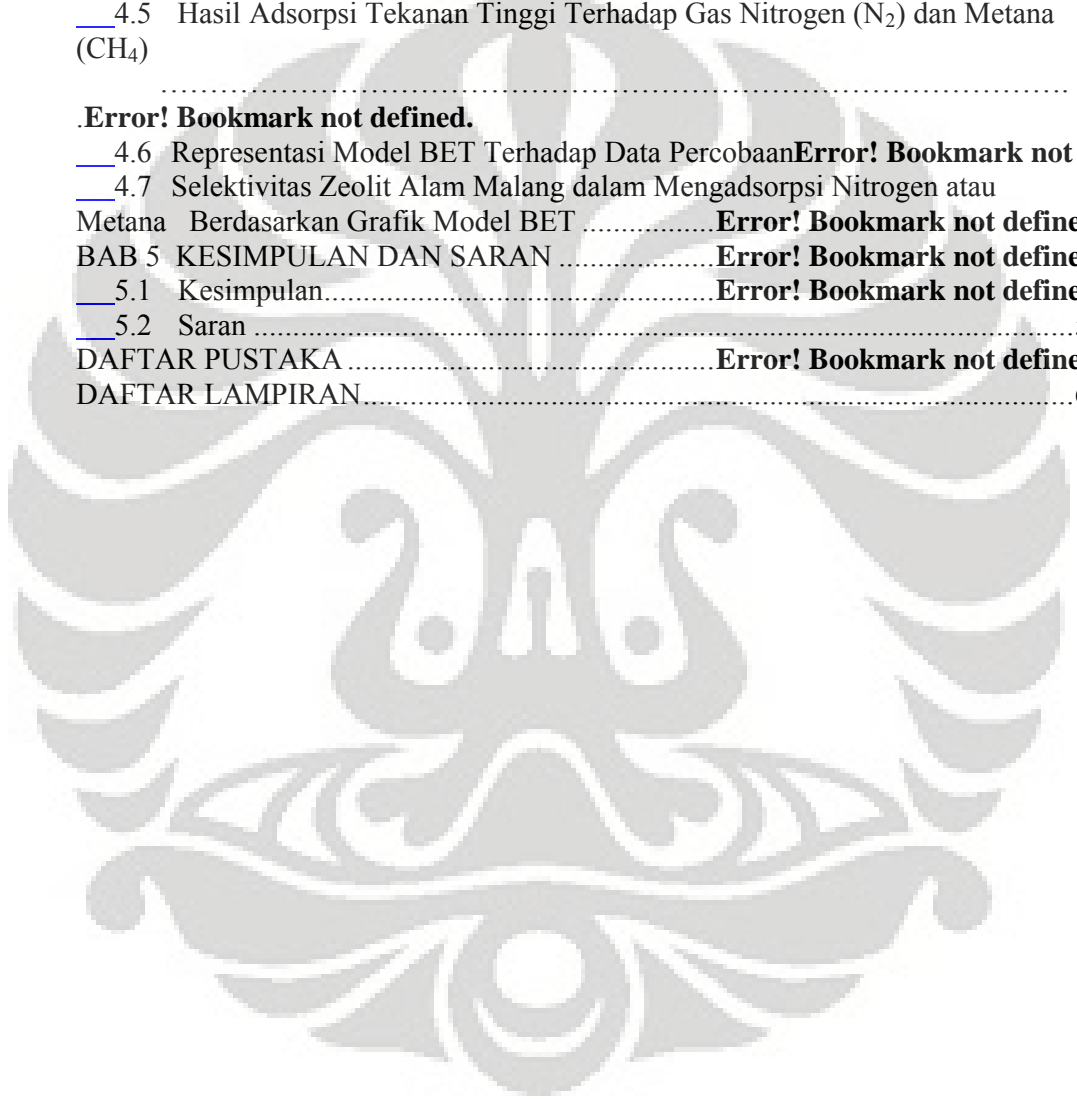
This “skripsi” describes about adsorption of nitrogen and methane experiments into solid like Malang natural zeolite. The information gathered in this research can be used for natural gas separation from nitrogen or can catch methane in the off-gases. The experiment methods used involves preparation of zeolite, preparation of isotherm adsorption's equipment, isotherm adsorption N_2 , isotherm adsorption CH_4 , and the modelling of nitrogen and methane adsorption using BET's Model. The results show that the adsorption capacity of nitrogen and methane on zeolite is greater at $30^\circ C$ than $40^\circ C$ and $50^\circ C$ for the same pressure condition. Adsorption capacity of nitrogen at 900 Psia(6 MPa) are 2.55 mmol/g zeolite, 2.43 mmol/g zeolite, 2.20 mmol/g zeolite at $30^\circ C$, $40^\circ C$ and $50^\circ C$ respectively. Meanwhile, the adsorption capacity of methane at 900 Psia(6 MPa) are 3.02 mmol/g zeolite, 2.90 mmol/g zeolite, 2.22 mmol/g zeolite at $30^\circ C$, $40^\circ C$ and $50^\circ C$ respectively. Modeling of BET in representing the data shows that, the average Absolute Percent Deviation (% AAD) of BET Model is 1.69% for nitrogen adsorption and 4.16% for methane adsorption. Selectivity of zeolite at $30^\circ C$ is shown by a maximum value of ratio $CH_4/N_2 = 1.15$ at 3 MPa. At $40^\circ C$, ratio of CH_4/N_2 decreases as the pressure increases, and its maximum value is 1.27 at 1 MPa. Different phenomena occurs at $50^\circ C$, when adsorption capacity of methane is less than of nitrogen.

Key words: Adsorption, Malang natural zeolite, nitrogen, metana, BET's model.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
DAFTAR KONVERSI SATUAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Adsorpsi	5
2.1.1. Jenis Adsorpsi	7
2.1.2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi Gas pada Permukaan Zat Padat	Error! Bookmark not defined.
2.1.3. Kesetimbangan Adsorpsi	Error! Bookmark not defined.
2.2. Model – model Adsorpsi	Error! Bookmark not defined.
2.2.1. Isoterm Adsorpsi Langmuir	Error! Bookmark not defined.
2.2.2. Isoterm Adsorpsi BET	Error! Bookmark not defined.
2.2.3. Isoterm Adsorpsi Freundlich	Error! Bookmark not defined.
2.3. Adsorben	Error! Bookmark not defined.
2.3.1. Adsorben Tak Berpori	Error! Bookmark not defined.
2.3.2. Adsorben Berpori	Error! Bookmark not defined.
2.4. Zeolit	19
3.4.1. Struktur Zeolit	Error! Bookmark not defined.
3.4.2. Jenis Zeolit	Error! Bookmark not defined.
3.4.3. Aktivasi Zeolit	Error! Bookmark not defined.
3.4.4. Sifat-sifat Zeolit	Error! Bookmark not defined.
2.5. Nitrogen	Error! Bookmark not defined.
2.5.1. Sifat Fisik Gas Nitrogen	Error! Bookmark not defined.
2.6. Metana	29
2.6.1. Sifat Fisik Gas Metana	Error! Bookmark not defined.
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.
3.1. Lokasi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2. Alat dan Bahan	Error! Bookmark not defined.
3.3. Alur Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.4. Prosedur Penelitian	Error! Bookmark not defined.

3.4.1.	Preparasi Zeolit.....	Error! Bookmark not defined.
3.4.2.	Persiapan Peralatan Adsorpsi Isotermis.....	Error! Bookmark not defined.
3.4.3.	Uji Adsorpsi Tekanan Tinggi Gas Nitrogen dan Metana.....	Error! Bookmark not defined.
3.4.4.	Pemodelan.....	Error! Bookmark not defined.
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1	Hasil Persiapan Adsorben	39
4.2	Hasil Persiapan Peralatan Adsorpsi Isotermis gas Nitrogen dan Metana.....	Error! Bookmark not defined.
4.3	Hasil Kalibrasi Volume Dozing Cylinder.....	Error! Bookmark not defined.
4.4	Hasil Kalibrasi Volume Void pada <i>Sampling Cylinder</i>	Error! Bookmark not defined.
4.5	Hasil Adsorpsi Tekanan Tinggi Terhadap Gas Nitrogen (N ₂) dan Metana (CH ₄)	
	Error! Bookmark not defined.	
4.6	Representasi Model BET Terhadap Data Percobaan.....	Error! Bookmark not defined.
4.7	Selektivitas Zeolit Alam Malang dalam Mengadsorpsi Nitrogen atau Metana Berdasarkan Grafik Model BET	Error! Bookmark not defined.
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	Error! Bookmark not defined.
5.1	Kesimpulan.....	Error! Bookmark not defined.
5.2	Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR LAMPIRAN	63



DAFTAR GAMBAR

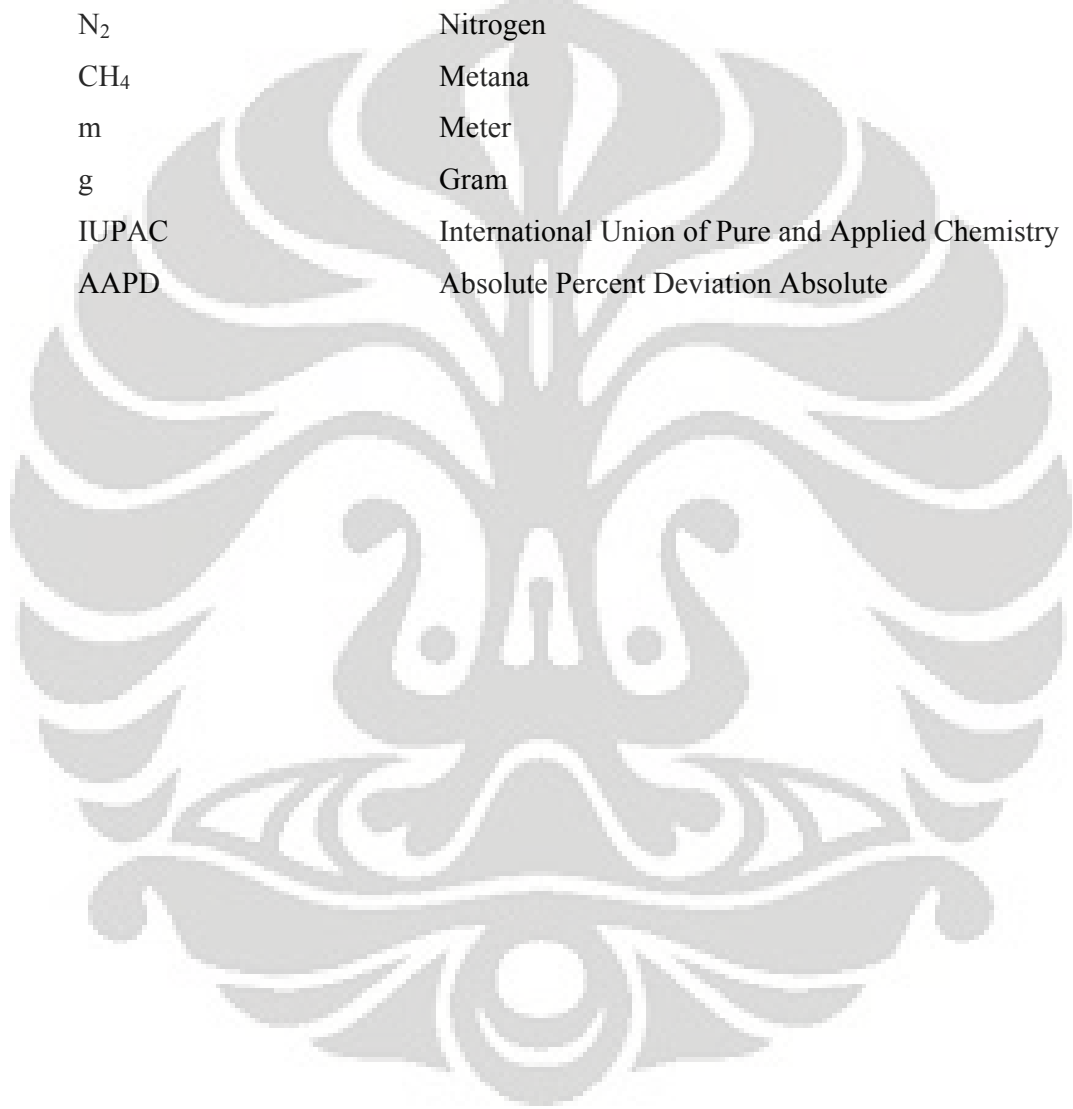
Gambar 2. 1. Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 2. Kurva Adsorpsi Isotermis	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 3. Grafik Adsorpsi Isotermis Gibbs.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.4. Pendekatan isoterm adsorpsi Langmuir	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.5. Pendekatan isoterm adsorpsi BET.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.6. Plot isoterm Freundlich untuk adsorpsi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.7. Tetrahedral Alumina dan Silikat	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.8. Gambaran Peta distribusi Zeolit Alam di Wilayah Indonesia	Error! Bookmark not de
Gambar 3. 1. Alur Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 2. Skema Alat.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 3. Algoritma Parameter Model BET.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 1. Zeolit Alam Malang Sebelum Dihaluskan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 2. Zeolit Alam Malang Ssetelah Dihaluskan	40
Gambar 4. 3. Peralatan Uji Adsorpsi	41
Gambar 4. 4. Adsorpsi Gibbs N₂ pada Zeolit Alam Malang.	44
Gambar 4. 5. Adsorpsi Gibbs CH₄ pada Zeolit Alam Malang	45
Gambar 4. 6. Adsorpsi Model BET N₂ pada Zeolit Alam Malang(T=30°C)	48
Gambar 4. 7. Adsorpsi Model BET N₂ pada Zeolit Alam Malang(T=40°C)	49
Gambar 4. 8. Adsorpsi Model BET N₂ pada Zeolit Alam Malang(T=50°C)	Error! Bookmark not de
Gambar 4. 9. Adsorpsi Model BET CH₄ pada Zeolit Alam Malang(T=30°C)	50
Gambar 4. 10. Adsorpsi Model BET CH₄ pada Zeolit Alam Malang(T=40°C)	50
Gambar 4. 11. Adsorpsi Model BET CH₄ pada Zeolit Alam Malang(T=50°C)	51
Gambar 4. 12. Selektivitas Zeolit Alam Malang Terhadap Adsorpsi CH₄ dan N₂ (T=30°C)	53
Gambar 4. 13. Selektivitas Zeolit Alam Malang Terhadap Adsorpsi CH₄ dan N₂ (T=40°C)	54
Gambar 4. 14. Selektivitas Zeolit Alam Malang Terhadap Adsorpsi CH₄ dan N₂ (T=50°C)	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Perbandingan Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia	8
Tabel 2. 2. Aplikasi Kegunaan Berbagai Jenis Adsorben.....	9
Tabel 2. 3. Tipe, Karakteristik, Kegunaan dan Kerugian Adsorben.....	19
Tabel 2. 4. Daftar mineral zeolit yang terdapat dalam batuan sedimen.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2. 5. Jenis zeolit dan molekul yang dapat melintas.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2. 6. Spesies dan Kandungan Zeolit beberapa tempat di Indonesia.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2. 7. Sifat-sifat Fisik Gas Nitrogen	29
Tabel 2. 8. Sifat-sifat Fisik Gas Metana.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 1. Hasil Kalibrasi Volume Void Zeolit Alam Malang	43
Tabel 4. 2. Optimasi Parameter untuk Merepresentasikan Model BET pada Adsorpsi Gas Nitrogen dalam Zeolit Alam Malang	47
Tabel 4. 3. Optimasi Parameter untuk Merepresentasikan Model BET pada Adsorpsi Gas Metana dalam Zeolit Alam Malang	47
Tabel 4. 4. Penyimpangan Adsorpsi Model BET Gas N ₂ Terhadap Adsorpsi Gibbs Penelitian.....	51
Tabel 4. 5. Penyimpangan Adsorpsi Model BET Gas CH ₄ Terhadap Adsorpsi Gibbs Penelitian.....	52
Tabel 4. 6. Selektivitas Zeolit Alam Malang dalam Mengadsorpsi Nitrogen dan Metana Pada T=30°C	53
Tabel 4. 7. Selektivitas Zeolit Alam Malang dalam Mengadsorpsi Nitrogen dan Metana pada T=40°C	54
Tabel 4. 8. Selektivitas Zeolit Alam Malang dalam Mengadsorpsi Nitrogen dan Metana pada T=50°C	56

DAFTAR SINGKATAN

BET	Brunauer, Emmet, Teller
Mmol	Milimol
Psia	Pound per square inches absolute
MPa	Mega Pascal
N ₂	Nitrogen
CH ₄	Metana
m	Meter
g	Gram
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
AAPD	Absolute Percent Deviation Absolute



DAFTAR SIMBOL

P_{di}	Tekanan awal dozing cylinder
P_{df}	Tekanan akhir dozing cylinder
P_{si}	Tekanan awal sampling cylinder
P_{sf}	Tekanan akhir sampling cylinder
R	Konstanta gas ($\text{Psi.cm}^3/\text{mol}^\circ\text{R}$)
ρ_{gas}	Densitas gas
ρ_{ads}	Densitas adsorpsi
T	Suhu
k_1, k_2	Tetapan laju adsorpsi dan desorpsi
θ	Fraksi yang ditempati oleh adsorbat
P	Tekanan gas yang teradsorpsi
α	Konstanta isotherm adsorpsi Langmuir
c	Konstanta isotherm adsorpsi BET
V	Volume gas teradsorpsi
V_m	Volume gas pembentuk lapisan <i>monolayer</i>
ΔH_{ads}	Entalpi adsorpsi
Z	Faktor kompresibilitas
V_{void}	<i>Void Volume</i>

DAFTAR KONVERSI SATUAN

1. Tekanan

$$1 \text{ bar} = 1 \times 10^5 \text{ Pa (Pascal)} = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ Psia} = 1 \text{ lb}_f/\text{in.}^2$$

$$1 \text{ atm} = 14.696 \text{ Psia} = 1,01325 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1.01325 \text{ bar}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg at } 0^\circ\text{C} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$$

2. Densitas dan Volume

$$1 \text{ g mol gas ideal pada } 0^\circ\text{C, } 760 \text{ mm Hg} = 22.4140 \text{ liter} = 22414 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ kg mol gas ideal pada } 0^\circ\text{C, } 760 \text{ mm Hg} = 22.414 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ g/cm}^3 = 62.43 \text{ lbm/ft}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densitas udara kering pada } 0^\circ\text{C, } 760 \text{ mm Hg} = 1.2929 \text{ g/liter} = 0.080711 \text{ lbm/ft}^3$$

3. Konstanta Gas, R

$$669.9542893 \text{ (Psi cm}^3\text{)/(mol }^\circ\text{R)}$$

$$10.73 \text{ (Psia) (ft}^3\text{) (lb mol) (}^\circ\text{R)}$$

$$0.08206 \text{ (L) (atm)/(g mol) (K)}$$

$$8.314 \text{ (kPa) (m}^3\text{)/(kg mol) (K)}$$

4. Faktor Konversi lainnya

$$\text{\AA} = 1,00 \times 10^{-10} \text{ meter}$$

$$T^\circ\text{F} = (9/5 \times T^\circ\text{C}) + 32$$

$$T^\circ\text{C} = 5/9 \times (T^\circ\text{F} - 32)$$

$$T \text{ K} = T^\circ\text{C} + 273.15$$

$$T^\circ\text{C} = T \text{ K} - 273.15$$

$$T^\circ\text{R} = T^\circ\text{F} + 459.67$$

$$T^\circ\text{F} = T^\circ\text{R} - 459.67$$

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Adsorpsi merupakan salah satu proses separasi yang sangat penting dalam bidang industri kimia. Proses ini secara luas digunakan pada pemisahan campuran gas, pemurnian dalam air, hidrasi gas alam dan sebagainya. Meskipun pemakaian adsorpsi di Industri cukup luas, namun pengetahuan dan penelitian tentang adsorpsi, khususnya adsorpsi gas tekanan tinggi, masih sangat terbatas [Sudibandriyo, Langmuir 2003]. Dalam hal ini, beberapa masalah dalam adsorpsi gas yang masih memerlukan perhatian adalah masalah pemilihan adsorben yang cocok untuk digunakan dalam proses pemisahan gas tertentu serta kondisi operasi yang paling baik.

Terdapat berbagai jenis adsorben yang umumnya digunakan sesuai dengan jenisnya yaitu adsorben yang tak berpori, misalnya filter karet dan karbon hitam, sedangkan untuk adsorben yang berpori, misalnya silikagel, alumina, karbon aktif, dan zeolit. Khususnya untuk penggunaan adsorpsi gas, adsorben yang digunakan adalah jenis adsorben berpori, dan dalam penelitian ini akan digunakan zeolit.

Zeolit merupakan suatu bahan alam yang banyak terdapat di Indonesia, sehingga sangat diperlukan pengetahuan dan penelitian mengenai zeolit alam itu sendiri serta cara-cara pengolahannya, menurut penelitian yang dilakukan Trisunardi, dkk (1996), zeolite alam di Indonesia, ternyata mengandung silica-alumina amorf dan Kristal mordenit, yang setelah diaktivasi dan dimodifikasi mempunyai aktifitas yang baik. Zeolit dapat ditemukan berupa zeolit alam yang dijumpai sebagai campuran beberapa zeolit serta zeolit sintesis yang umumnya memiliki homogenitas sifat tertentu. Pada saat ini penggunaan mineral zeolit semakin meningkat, dari penggunaan dalam industri kecil hingga dalam industri berskala besar. Di negara maju seperti Amerika serikat, zeolit sudah benar-benar dimanfaatkan dalam industri. Karena sifat-sifat yang dimiliki zeolit, maka mineral ini dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti dalam bidang industri yaitu sebagai bahan yang dapat digunakan untuk adsorpsi limbah logam dalam air

limbah, penukar ion, dan sebagai katalis. Penggunaan zeolit banyak dilakukan sekarang ini karena disamping memenuhi syarat sebagai adsorben yang baik juga harganya murah dan mudah didapat. Pada penelitian ini akan dilihat kemampuan zeolit dalam mengadsorpsi gas N_2 (nitrogen) dan CH_4 (metana). Selanjutnya, penelitian ini dapat digunakan untuk proses pemisahan gas alam dari nitrogen ataupun dapat digunakan untuk proses penangkapan kembali gas metana di dalam gas buang. Oleh sebab itu dalam pengerjaan ini, peneliti ingin mengetahui bagaimana pengaruh temperatur terhadap kemampuan zeolit sebagai adsorben terhadap proses adsorpsi gas nitrogen dan metana tersebut dan juga dari sana kita bisa mengetahui selektivitas zeolit terhadap penyerapan gas nitrogen atau metana yang akan dilakukan pada tekanan tinggi dengan variasi pada rentang suhu yaitu $30^\circ C$, $40^\circ C$ dan $50^\circ C$.

Percobaan sebelumnya yang dilakukan oleh Perwitasari (2007) dalam skripsinya menyatakan bahwa dalam tiga jenis zeolit yang digunakan seperti zeolit alam Lampung, zeolit alam Jawa Barat, dan zeolit alam Malang dalam penelitiannya diperoleh kesimpulan dengan menggunakan metode Ono-Kondo dapat merepresentasikan adsorpsi gas CO_2 dengan baik sehingga luas permukaan material berpori dapat dihitung dengan menggunakan model tersebut. Dalam penelitiannya, juga dilakukan perbandingan dengan luas permukaan yang diperoleh dari alat AUTOSORP dengan menggunakan model BET dan gas nitrogen dan diperoleh bahwa luas permukaan zeolit yang didapat dari kedua metoda tersebut cukup mendekati. Selain itu juga diperoleh bahwa zeolit alam Malang memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan zeolit alam Lampung dan zeolit alam Jawa Barat. Untuk itu, dalam penelitian lanjutan ini, akan digunakan zeolit alam Malang untuk mengetahui tingkat selektivitas zeolit tersebut terhadap adsorbat nitrogen dan metana. Selain itu, untuk merepresentasikan hasil penelitian, maka akan digunakan model adsorpsi isoterm BET (Brunauer, Emmet, and Teller), dimana pemakaian model ini dipilih berdasarkan bahwa adsorben mempunyai permukaan yang homogen dan lebih baik diterapkan untuk adsorpsi fisik pada percobaan ini, selain hasil dari penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa model BET cukup mendekati hasil dari pendekatan model yang lebih akurat, Ono-Kondo.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka dapat dirumuskan masalah untuk dilakukan penelitian:

- Bagaimana pengaruh suhu terhadap kemampuan zeolit yang akan digunakan sebagai adsorben pada penelitian ini?
- Bagaimana pengaruh tekanan adsorpsi terhadap jumlah zat yang teradsorpsi?
- Bagaimana selektivitas zeolit terhadap jumlah zat yang diadsorpsi apabila adsorbatnya adalah Nitrogen (N_2) dan Metana (CH_4)?
- Bagaimana penggambaran pemodelan BET dapat digunakan dalam penelitian ini?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang diharapkan diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Untuk mengetahui parameter-parameter apa saja yang mempengaruhi dalam daya adsorpsi zeolit terhadap adsorbat dalam hal ini metana dan nitrogen yang akan diserap.
- Untuk mempelajari pengaruh perbedaan temperatur adsorpsi terhadap hasil perhitungan jumlah yang teradsorpsi dalam zeolit tersebut pada tekanan tinggi.
- Untuk mengetahui selektivitas zeolit saat mengadsorpsi Nitrogen dan Metana.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

- Zeolit yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alam Malang.
- Kondisi operasi adsorpsi N_2 dan CH_4 sebagai adsorbat dilakukan pada berbagai kondisi temperatur yang bervariasi yaitu $30^\circ C$, $40^\circ C$ dan $50^\circ C$.
- Pemodelan adsorpsi N_2 dan CH_4 pada penelitian ini menggunakan model adsorpsi isoterms BET.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan adalah:

- BAB 1 PENDAHULUAN, bagian ini terkandung gambaran umum tentang permasalahan yang diangkat yang meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian yang akan dilakukan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.
- BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA, bagian ini berisi tentang teori-teori dan hasil studi penelitian terdahulu yang akan dijadikan sebagai landasan dan dasar acuan yang mendukung penelitian yang akan dilakukan.
- BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN, bagian ini berisi mengenai tahap dan langkah kerja yang akan dilakukan selama penelitian. Bab ini berfungsi sebagai kerangka dalam mengarahkan penelitian untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan dan mengurangi faktor kesalahan dalam penelitian.
- BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN, bagian ini berisi hasil penelitian serta analisa dari hasil penelitian tersebut.
- BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN, bagian ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk penelitian sejenis di masa mendatang.
- DAFTAR PUSTAKA

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses pemisahan di mana komponen tertentu dari suatu fase fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap. Zat yang teradsorpsi pada suatu permukaan dinamakan adsorbat dan padatan tempat terjadinya adsorpsi dinamakan adsorben. Kebanyakan zat pengadsorpsi atau adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori, dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding-dinding pori atau pada letak-letak tertentu di dalam partikel itu.

Secara umum, proses adsorpsi dapat diartikan sebagai proses penyerapan suatu zat oleh zat lain dimana proses ini hanya terjadi pada permukaan zat tersebut, jadi dalam proses ini faktor yang terpenting dipengaruhi oleh luas permukaan per unit massa adsorben. Luas permukaan per unit massa padatan merupakan jumlah luas total pori yang dimiliki. Semakin banyak jumlah pori maka luas permukaan per unit massa juga semakin besar. Beberapa contoh padatan berpori yang biasa digunakan dalam adsorpsi antara lain karbon aktif, zeolit, alumina, batu bara, dan lain-lain. Adapun proses adsorpsi dapat terjadi pada batas permukaan dua fasa, yaitu antara fasa:

- 1) Cair dan fasa gas; misalnya adsorpsi pada campuran gas klor dalam air.
- 2) Cair dan fasa cair, misalnya adsorpsi deterjen pada permukaan emulsi.
- 3) Cair dan fasa padat, misalnya adsorpsi zat warna dalam air dengan arang sebagai adsorben.
- 4) Gas dan fasa padat; misalnya adsorpsi gas Nitrogen (N_2), metana (CH_4) oleh zeolit.

Menurut Reynold (1982), adsorpsi adalah suatu proses dimana suatu partikel menempel pada suatu permukaan akibat dari perbedaan muatan lemah diantara kedua benda, sehingga akhirnya akan membentuk suatu lapisan tipis partikel-partikel halus pada permukaan tersebut.

Adapun mekanisme penyerapan adalah sebagai berikut:

- 1) Molekul adsorbat berpindah menuju lapisan terluar dari adsorben.
- 2) Zeolit sebagai adsorben dalam kesatuan kelompok mempunyai luas permukaan pori yang besar sehingga dapat mengadakan penyerapan terhadap adsorbat.
- 3) Sebagian adsorbat ada yang teradsorpsi di permukaan luar, tetapi sebagian besar teradsorpsi di dalam pori-pori adsorben dengan cara difusi.
- 4) Bila kapasitas adsorpsi masih sangat besar, sebagian besar molekul adsorbat akan teradsorpsi dan terikat di permukaan. Tetapi bila permukaan pori adsorben sudah jenuh dengan adsorbat maka akan terjadi dua kemungkinan, yaitu:
 - Terbentuknya lapisan adsorpsi kedua, ketiga dan seterusnya.
 - Tidak terbentuk lapisan adsorpsi kedua, ketiga dan seterusnya sehingga adsorbat yang belum teradsorpsi akan terus berdifusi keluar pori.

Pada adsorpsi gas, jumlah molekul yang terikat pada permukaan padatan bergantung pada kondisi fasa gas. Pada tekanan yang sangat rendah, jumlah molekul yang teradsorpsi relatif sedikit dan hanya sebagian permukaan padatan yang tertutupi oleh molekul gas. Jika permukaan padatan yang ditutupi oleh molekul-molekul gas memiliki ketebalan yang sama dengan diameter molekul gas, maka adsorpsi tersebut dinamakan adsorpsi monolayer. Tebal permukaan padatan yang tertutupi oleh molekul-molekul gas akan semakin besar seiring dengan peningkatan tekanan dan menghasilkan adsorpsi multilayer.

Adsorpsi gas oleh zat padat ditandai oleh hal-hal sebagai berikut:

- 1) Adsorpsi bersifat selektif, artinya suatu adsorben dapat menyerap suatu gas dalam jumlah besar, tetapi menyerap gas-gas lain dalam jumlah yang lebih kecil.
- 2) Adsorpsi terjadi sangat cepat, dimana kecepatan adsorpsinya semakin berkurang dengan semakin banyaknya gas yang diserap.
- 3) Adsorpsi tergantung dari luas permukaan adsorben, semakin porus adsorben maka semakin besar daya adsorpsinya.

- 4) Jumlah gas yang diadsorpsi persatuan berat adsorben tergantung pada tekanan parsial (*partial pressure*) gas, dimana semakin besar tekanan maka semakin banyak gas diserap.

2.1.1. Jenis Adsorpsi

Salah satu sifat terpenting dari permukaan adsorben adalah sifat adsorpsi, adsorpsi yaitu suatu proses dimana molekul-molekul dari suatu senyawa diserap oleh permukaan zat padat atau cair yang lain. Setiap permukaan berusaha mendapatkan energi bebas serendah mungkin, permukaan ini akan menyerap fasa yang tegangan permukaannya rendah untuk menurunkan energi bebasnya.

Dilihat dari peristiwanya adsorpsi dapat dibagi menjadi dua golongan:

- a. Adsorpsi fisika

Adsorpsi fisika berlangsung sangat cepat, reversibel dengan panas adsorpsi kecil, kira-kira 5-10 kkal/mol, sehingga dengan demikian diduga gaya yang tersangkut di dalamnya, yaitu gaya van der Waals. Pada adsorpsi fisika ini semua dapat terjadi jenis adsorpsi, seperti padat dengan padat, padat dengan cair, cair dengan cair, gas dengan cair dan gas dengan padat. Adsorbat disini tidak terikat secara kuat pada bagian permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari bagian permukaan ke bagian lainnya dan diganti oleh adsorbat lain. Adsorpsi fisika terjadi hampir pada semua permukaan di bawah pengaruh temperatur dan tekanan.

- b. Adsorpsi kimia

Adsorpsi jenis ini terjadi dalam bentuk reaksi kimia, membutuhkan energi aktivasi dan nilai panas adsorpsi jauh lebih besar dari pada adsorpsi fisika (kira-kira 10-100 kkal/mol). Harga ini setingkat dengan energi reaksi kimia maka proses ini terjadi interaksi ikatan-ikatan kimia. Akibatnya adsorpsi kimia mempunyai sifat khas jika dibandingkan dengan adsorpsi fisika. Adsorbat yang teradsorpsi oleh proses kimia umumnya sangat sulit di regenerasi. Adsorpsi kimia ini dapat berlangsung pada tekanan gas yang sangat rendah.

Tabel 2.1 dibawah ini akan menjelaskan lebih lanjut perbedaan dari adsorpsi kimia dan adsorpsi fisika berdasarkan pada beberapa parameter.

Tabel 2. 1. Perbandingan Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia

Parameter	Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Adsorben	Semua jenis	Terbatas
Adsorbat	Semua gas	Kecuali gas mulia
Jenis ikatan	Fisika (Van der Waals)	Kimia
Panas adsorpsi	5-10 kkal/g-mol gas	10-100 kkal/g-mol gas
Energi aktivasi	Kurang dari 1 kkal/g-mol	10-60 kkal/g-mol
Reversibilitas	Reversibel (mudah diregenerasi)	Irreversibel (sukar diregenerasi)
Tebal lapisan	Banyak (multilayer)	Satu (monolayer)
Kecepatan adsorpsi	Besar	Kecil
Jumlah zat yang diadsorpsi	Sebanding dengan kenaikan tekanan	Sebanding dengan banyaknya inti aktif adsorben yang dapat bereaksi dengan adsorbat
Rentang temperatur	Terjadi pada temperatur rendah, atau dibawah temperatur kritis adsorbat	Terjadi pada temperatur yang lebih tinggi, karena membutuhkan aktifasi
Laju energi aktivasi	Sangat cepat, energi rendah	Teraktivasi, bisa lambat
Kegunaan	Untuk penentuan luas permukaan dan ukuran pori	Untuk penentuan daerah pusat aktif dan penjelasan kinetika reaksi permukaan

2.1.2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi Gas pada Permukaan Zat Padat

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi gas pada permukaan zat padat adalah:

1) Jenis adsorben

Mengenai adsorben yang baik, adsorben tersebut harus memenuhi syarat sebagai berikut: mempunyai permukaan yang luas, berpori-pori, aktif dan

murni, dan tidak bereaksi dengan adsorbat. Ada beberapa jenis adsorben yang biasanya digunakan pada proses adsorpsi, misalnya: arang (karbon), silika gel, alumina, kiesel guhr (tanah diatome), zeolit alam dan zeolit buatan, dan lain-lain.

Adapun kegunaan yang telah diaplikasikan dalam proses adsorpsi untuk jenis-jenis adsorben tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. 2. Aplikasi Kegunaan Berbagai Jenis Adsorben
(Coulson and Richardson, 2002)

Jenis Adsorben	Aplikasi
Silica Gel	Mengeringkan gas, refrigerant, pelarut organik, kontrol titik embun pada gas alam
<i>Activated Alumina</i>	Pelarut organik, pemisahan HCl dari hydrogen, pemisahan senyawa fluorine dan boron-fluorine dalam proses alkilasi.
Karbon	Nitrogen dari udara, hydrogen dari proses syn-gas dan hidrogenasi, etana dari metana dan hydrogen, pemurnian helium.
Zeolit	Oksigen dari udara, pemisahan oksigen dan argon, pemisahan ammonia dan hydrogen, kontrol polusi (termasuk pemisahan Hg, SO _x dan NO _x dari gas, pemisahan xylen dan ethyl benzene.
Polimer dan Resin	Pemurnian air (termasuk memisahkan fenol, klorofenol, keton, alkohol), pemisahan asam lemak dari air dan toluene, pemisahan aromatic dari alipatik, pemisahan aromatic dari alipatik.

Maka dalam pemakaiannya perlu dipikirkan sifat khas dari suatu adsorben untuk mengadsorpsi suatu adsorbat dan sifat-sifat fisik lainnya. Sebagai contoh adsorben zeolit lebih menyukai mengadsorpsi adsorbat yang polar.

2) Jenis adsorbat

Apabila sebagai adsorben kita gunakan zeolit maka hal-hal yang diperhatikan pada adsorbat adalah:

a. Ukuran molekul adsorbat

Rongga tempat terjadinya adsorpsi dapat dicapai melewati ukuran pori yang sesuai, sehingga molekul-molekul yang bisa diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameter molekulnya lebih kecil dari diameter pori.

b. Kepolaran dari adsorbat

Molekul-molekul polar lebih kuat diadsorpsi dari molekul-molekul yang kurang polar apabila molekulnya sebanding. Molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul yang kurang polar yang terlebih dulu diadsorpsi.

c. Karakter (jenis) ikatan pada adsorbat

Senyawa-senyawa tidak jenuh lebih diadsorpsi dibandingkan senyawa-senyawa jenuh.

d. Berat molekul dari adsorbat

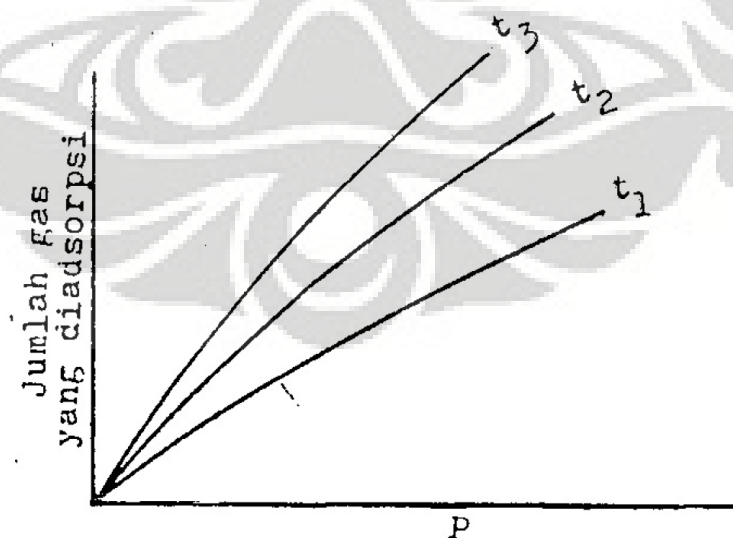
Senyawa yang mempunyai berat molekul lebih besar lebih disukai diadsorpsi dibandingkan molekul yang berat molekulnya lebih kecil.

3) Luas permukaan adsorben

Adsorpsi adalah proses yang terjadi pada permukaan. Adsorpsi akan bertambah dengan bertambahnya luas permukaan adsorben.

4) Temperatur

Kebanyakan proses adsorpsi mengeluarkan panas (eksoterm), yang berarti jumlah adsorpsi akan bertambah dengan pengurangan suhu berdasarkan prinsip Le Chatelier's. Grafik yang menunjukkan bahwa bertambahnya jumlah adsorpsi dengan pengurangan suhu pada tekanan yang sama seperti pada gambar dibawah. Disini t_3 lebih kecil dari t_1 dan t_2 .



Gambar 2. 1. Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Jumlah Gas yang Diadsorpsi

5) Tekanan

Untuk adsorpsi fisika, kenaikan jumlah adsorbat adalah akibat kenaikan tekanan adsorbat, sedangkan untuk adsorpsi kimia, jumlah adsorbat yang diadsorpsi akan menurun dengan naiknya tekanan adsorbat.

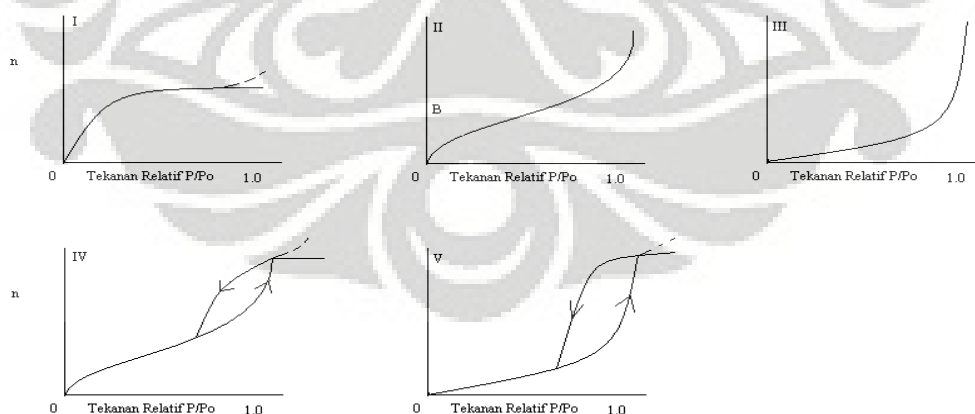
6) Kemurnian Adsorben

Adsorben yang lebih murni mempunyai daya adsorpsi yang lebih baik.

2.1.3. Keseimbangan Adsorpsi

Pada saat fluida yang mengandung adsorbat dikontakkan dengan padatan adsorben, molekul-molekul adsorbat berpindah dari fluida ke padatan sampai konsentrasi adsorbat di aliran fluida berada dalam keadaan setimbang dengan adsorbat yang teradsorp dalam padatan adsorben. Data keseimbangan adsorpsi yang dihasilkan pada temperatur konstan biasa disebut adsorpsi isothermis, dimana terdapat hubungan antara jumlah zat yang teradsorp per unit massa padatan dan tekanan gas adsorbatnya. Adsorpsi isothermis dapat dihitung dengan mengukur tekanan adsorbat pada saat awal (sebelum terjadi keseimbangan) dan pada saat terjadinya keseimbangan. (Bahl et al., 1997; Sundstrom dan Herbert, 1979; Ruthven, 1993)

Brunauer mengklasifikasikan adsorpsi isothermis ke dalam lima jenis kurva seperti pada gambar berikut: (maron dan Lando, 1974 dan Bond, 1987)



Gambar 2. 2. Kurva Adsorpsi Isothermis

🚧 Tipe I

Jenis ini disebut Langmuir Isoterm menggambarkan adsorpsi satu lapis (*monolayer*). Banyaknya adsorbat mendekati harga pembatas saat P/P_0 mendekati satu. Jenis ini biasanya diperoleh dari adsorben berpori kecil (*micropore*) kurang dari 2 nm dan luas area eksternal yang sangat sedikit. Kurva jenis ini biasanya diperoleh dari adsorben karbon aktif dan zeolit *molecular sieve*.

🚧 Tipe II

Jenis ini adalah bentuk normal isoterm pada adsorben tak berpori (*non-porous*) atau padatan berpori besar (*macro-porous*), yang menunjukkan adsorpsi monolayer-multilayer. Titik B yang ditunjukkan pada gambar menunjukkan kondisi awal tahap linier dari isoterm, biasanya digunakan untuk mengindikasikan tekanan relatif saat pelapisan monolayer selesai.

🚧 Tipe III

Jenis ini menunjukkan tipe kuantitas adsorben semakin tinggi saat tekanan relatif bertambah. Tidak adanya titik B seperti pada jenis kedua disebabkan karena interaksi adsorbat-adsorbat yang lebih kuat dibanding adsorben-adsorben. Sama seperti tipe II, jumlah lapisan pada permukaan adsorben tidak terbatas (*multilayer*).

🚧 Tipe IV

Jenis ini hampir sama dengan tipe II pada rentang tekanan relatif rendah sampai menengah. Volume terbesar adsorbat yang teradsorpsi dapat dihitung dari *capillary condensation* yang telah sempurna mengisi pori. Kurva jenis ini dihasilkan dari padatan adsorben berukuran *mesopore* (2-50 nm).

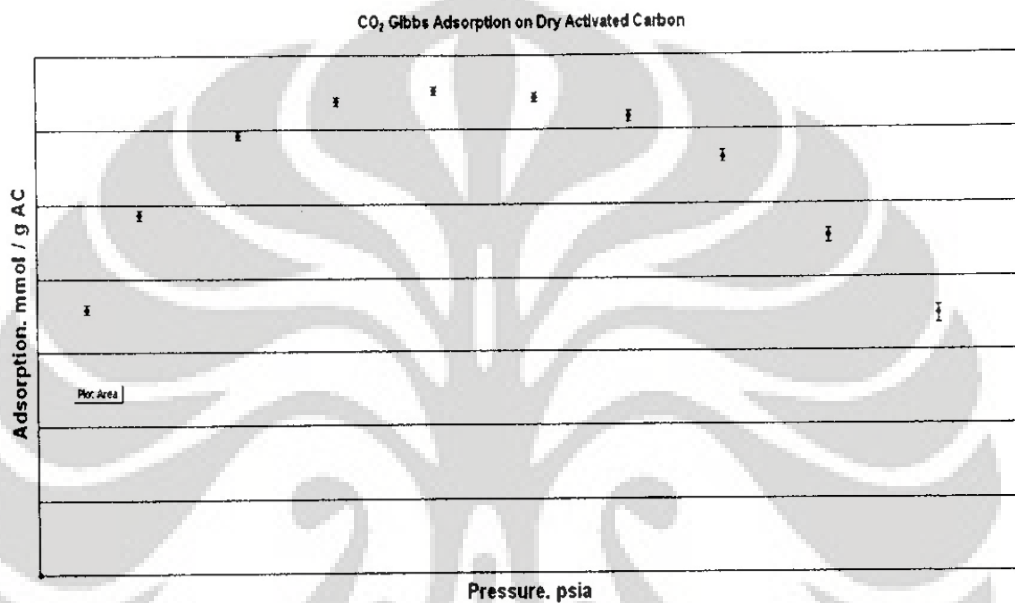
🚧 Tipe V

Jenis ini hampir sama dengan tipe III, dihasilkan dari interaksi yang rendah antara adsorben dengan adsorbat. Tipe V ini juga ditunjukkan oleh pori dengan ukuran sama seperti tipe IV.

2.2. Model – model Adsorpsi

Data adsorpsi gas tersebut dapat dilaporkan dengan menggunakan adsorpsi Gibbs atau absolut. Adsorpsi isotermis Gibbs memiliki perbedaan dengan adsorpsi absolut. Pada adsorpsi isotermis absolut, jumlah adsorbat yang sudah terlebih

dahulu teradsorpsi diperhitungkan, dan model ini hanya bisa digunakan pada tekanan rendah. Pada adsorpsi Gibbs ini, jumlah adsorbat yang telah teradsorpsi lebih dahulu tidak diperhitungkan, sehingga terdapat titik maksimum dari jumlah mol gas yang teradsorpsi per gram adsorben pada tekanan tertentu. Jika tekanan adsorpsi sudah melebihi dari tekanan dimana terdapat titik maksimum, maka jumlah mol gas yang teradsorpsi per gram adsorben akan turun seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. 3. Grafik Adsorpsi Isotermis Gibbs

Dalam adsorpsi Gibbs diperhitungkan jumlah mol adsorbat yang tidak teradsorpsi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$n^{Gibbs}_{tidak\ teradsorp} = \left(\frac{PV_{void}}{ZRT} \right) \quad [2.1]$$

Persamaan di atas menggunakan prinsip bahwa total *void volume* terisi oleh sejumlah gas yang tidak teradsorpsi. Dimana $V_{gas} = V_{void} - V_{teradsorp}$ dan $V_{gas} = n^{Abs}_{teradsorp} / \rho_{teradsorp}$. Dengan menggunakan persamaan ini, persamaan adsorpsi Absolut untuk densitas dapat diturunkan seperti berikut:

$$n^{Abs}_{teradsorp} = n^{Gibbs}_{teradsorp} \left(\frac{\rho_{teradsorp}}{\rho_{teradsorp} - \rho_{gas}} \right) \quad [2.2]$$

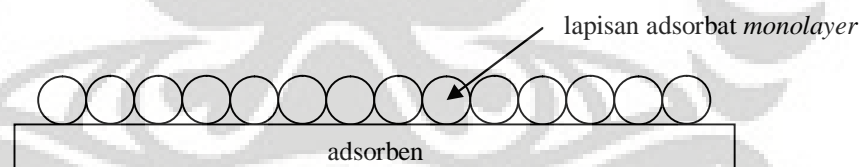
Atau
$$n^{Abs}_{teradsorp} = n^{Gibbs}_{teradsorp} + V_{teradsorp} \rho_{gas} \quad [2.3]$$

Persamaan [2.3] menunjukkan bahwa adsorpsi absolut akan selalu lebih besar dari adsorpsi Gibbs. Pada tekanan rendah, densitas gas sangat kecil (jauh lebih kecil daripada densitas adsorpsi) sehingga ρ_{gas} bisa dianggap nol sehingga koreksi Gibbs untuk adsorpsi Absolut dapat diabaikan ($n_{\text{Gibbs}} = n_{\text{Absolut}}$) dan n_{Gibbs} terus mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan tekanan. Namun, pada tekanan tinggi, ρ_{gas} tidak bisa dianggap nol sehingga nilai n_{Gibbs} akan menurun seiring dengan kenaikan tekanan walaupun harga n_{Absolut} naik dan koreksi tersebut akan sangat signifikan.

2.2.1. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Pada tahun 1918, Langmuir menurunkan teori isoterm adsorpsi dengan menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Pendekatan Langmuir meliputi lima asumsi mutlak, yaitu

1. Gas yang teradsorpsi berkelakuan ideal dalam fasa uap
2. Gas yang teradsorpsi dibatasi sampai lapisan *monolayer*
3. Permukaan adsorbat homogen, artinya afinitas setiap kedudukan ikatan untuk molekul gas sama
4. Tidak ada antaraksi lateral antar molekul adsorbat
5. Molekul gas yang teradsorpsi terlokalisasi, artinya mereka tidak bergerak pada permukaan



Gambar 2.4. Pendekatan isoterm adsorpsi Langmuir

Pada kesetimbangan, laju adsorpsi dan desorpsi gas adalah sama. Bila θ menyatakan fraksi yang ditempati oleh adsorbat dan P menyatakan tekanan gas yang teradsorpsi, maka

$$k_1 \theta = k_2 P (1 - \theta) \quad [2.4]$$

dengan k_1 dan k_2 masing – masing merupakan tetapan laju adsorpsi dan desorpsi. Jika didefinisikan $a = k_1 / k_2$, maka

$$\theta = \frac{P}{(a + P)} \quad [2.5]$$

Pada adsorpsi *monolayer*, jumlah gas yang teradsorpsi pada tekanan P (y) dan jumlah gas yang diperlukan untuk membentuk lapisan *monolayer* dihubungkan dengan θ melalui persamaan

$$\theta = \frac{y}{y_m} \quad [2.6]$$

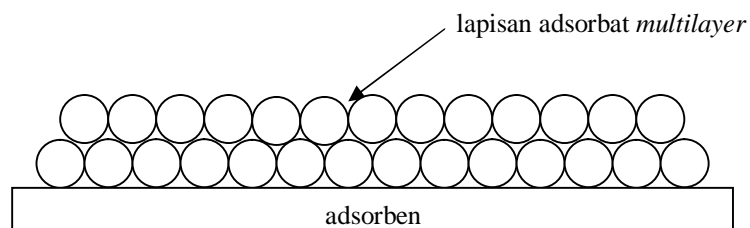
$$y = \frac{y_m P}{a + P} \quad [2.7]$$

Teori isoterm adsorpsi Langmuir berlaku untuk adsorpsi kimia, dimana reaksi yang terjadi adalah spesifik dan umumnya membentuk lapisan *monolayer*.

2.2.2. Isoterm Adsorpsi BET

Teori isoterm adsorpsi BET merupakan hasil kerja dari S. Brunauer, P.H. Emmet, dan E. Teller pada tahun 1938, yang merupakan suatu metode yang mengacu pada teori kinetika Langmuir, dan sering digunakan untuk studi-studi karakteristik dari katalis dengan berdasarkan kepada teori adsorpsi gas. Adsorpsi isotermis yang menggunakan prinsip dan persamaan BET adalah adsorpsi isotermis tipe II-V yang merupakan adsorpsi fisik. Teori ini menganggap bahwa adsorpsi juga dapat terjadi di atas lapisan adsorbat *monolayer*. Sehingga, isoterm adsorpsi BET dapat diaplikasikan untuk adsorpsi *multilayer*. Keseluruhan proses adsorpsi dapat digambarkan sebagai

- a. Penempelan molekul pada permukaan padatan (adsorben) membentuk lapisan *monolayer*
- b. Penempelan molekul pada lapisan *monolayer* membentuk lapisan *multilayer*



Gambar 2.5. Pendekatan isoterm adsorpsi BET

Pada pendekatan ini, perbandingan kekuatan ikatan pada permukaan adsorben dan pada lapisan adsorbat *monolayer* didefinisikan sebagai konstanta c . Lapisan adsorbat akan terbentuk sampai tekanan uapnya mendekati tekanan uap dari gas yang teradsorpsi. Pada tahap ini, permukaan dapat dikatakan "basah (*wet*)". Bila V menyatakan volume gas teradsorpsi, V_m menyatakan volume gas yang diperlukan untuk membentuk lapisan *monolayer*, dan x adalah P/P^0 , maka isotherm adsorpsi BET dapat dinyatakan sebagai

$$\frac{V}{V_m} = \frac{cx}{(1-x)(1-x+cx)} \quad [2.8]$$

Dimana:

P = tekanan gas saat teradsorpsi

P^0 = tekanan jenuh adsorbat gas pada temperature percobaan

C = konstanta yang dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$c = e^{\frac{(E_1 - E_L)}{RT}} \quad [2.9]$$

E_1 = panas adsorpsi monolayer

E_L = panas pencairan gas pada layer lain

Kesetimbangan antara fasa gas dan senyawa yang teradsorpsi dapat dibandingkan dengan kesetimbangan antara fasa gas dan cairan dari suatu senyawa. Dengan menggunakan analogi persamaan Clausius – Clapeyron, maka

$$\frac{d(\ln P)}{dT} = -\frac{\Delta H_{ads}}{RT^2} \quad [2.10]$$

dimana ΔH_{ads} adalah entalpi adsorpsi. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa tekanan kesetimbangan dari gas teradsorpsi bergantung pada permukaan dan entalpi adsorpsi. Model adsorpsi BET ini biasa digunakan untuk menentukan luas permukaan dari adsorben dengan menggunakan adsorpsi nitrogen pada temperature 77K.

2.2.3. Isotherm Adsorpsi Freundlich

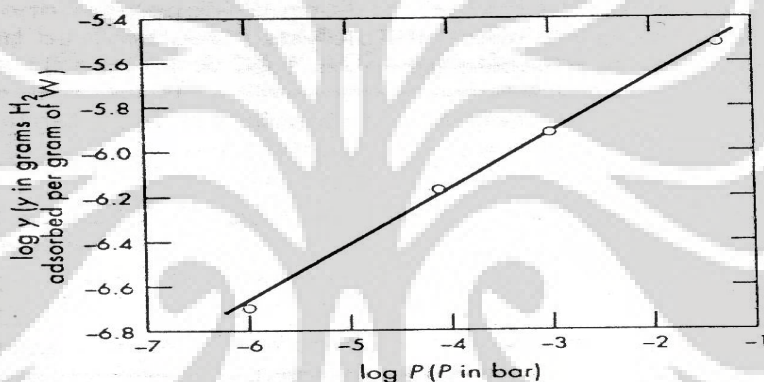
Adsorpsi zat terlarut (dari suatu larutan) pada padatan adsorben merupakan hal yang penting. Aplikasi penggunaan prinsip ini antara lain penghilangan warna larutan (*decolorizing*) dengan menggunakan batu apung (*charcoal*) dan proses pemisahan dengan menggunakan teknik kromatografi.

Pendekatan isoterm adsorpsi yang cukup memuaskan dijelaskan oleh H. Freundlich. Menurut Freundlich, jika y adalah berat zat terlarut per gram adsorben dan c adalah konsentrasi zat terlarut dalam larutan, maka

$$y = k c^{1/n} \quad [2.11]$$

$$\log y = \log k + \frac{1}{n} \log c \quad [2.12]$$

dimana k dan n adalah konstanta empiris. Jika persamaan [2.10] diaplikasikan untuk gas, maka y adalah jumlah gas yang teradsorpsi dan c digantikan dengan tekanan gas. Plot $\log y$ terhadap $\log c$ atau $\log P$ menghasilkan kurva linier. Dengan menggunakan kurva tersebut, maka nilai k dan n dapat ditentukan.



Gambar 2.6. Plot isoterm Freundlich untuk adsorpsi H_2 pada tungsten (suhu $400^\circ C$)

2.3. Adsorben

Adsorben dapat didefinisikan sebagai zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dan suatu fase fluida. Secara alamiah semua zat padat dapat mengadsorpsi fluida karena permukaan suatu padatan memiliki afinitas yang kuat terhadap fluida sehingga fluida dapat terikat pada permukaan padatan tersebut, namun kadang-kadang tidak terdeteksi karena sedemikian kecilnya adsorbat yang terserap. Kebanyakan adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori, dan adsorpsi berlangsung terutama pada dinding pori-pori atau pada letak-letak tertentu di dalam partikel itu. Oleh karena pori-pori itu biasanya biasanya sangat kecil, luas permukaan dalam menjadi beberapa orde besaran lebih besar daripada permukaan luar, dan bisa sampai $2000 \text{ m}^2/\text{g}$.

Untuk dapat menjadi adsorben komersial, suatu zat padat harus memenuhi beberapa kriteria berikut:

- Memiliki luas permukaan yang besar per unit massa sehingga kapasitas adsorpsinya tinggi.
- Tidak bereaksi dengan adsorbat.
- Secara alamiah dapat berinteraksi dengan adsorbat.
- Aktif dan murni.
- Mudah diperoleh, harga tidak mahal, tidak korosif, tidak beracun.
- Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi dan regenerasi.
- Mudah dan ekonomis untuk diregenerasi.

Berdasarkan struktur dan unsur pembangunnya, adsorben dapat digolongkan menjadi dua yaitu tidak berpori (*non porous adsorbents*) dan adsorben berpori (*porous adsorbents*). (Oscik, J, 1982)

2.3.1. Adsorben Tak Berpori

Adsorben tak berpori dapat diperoleh dengan cara presipitasi deposit kristalin seperti BaSO_4 atau penghalusan padatan kristal. Luas permukaan spesifiknya kecil, tidak lebih dan $10 \text{ m}^2/\text{g}$, umumnya antara 0,1 sampai dengan $1 \text{ m}^2/\text{g}$. Bahan tak berpori seperti filter karet (*rubber fillers*) dan karbon hitam bergrafit (*graphitized carbon blacks*) adalah jenis adsorben tak berpori yang telah mengalami perlakuan khusus sehingga luas permukaannya dapat mencapai ratusan m^2/g .

2.3.2. Adsorben Berpori

Luas permukaan spesifik adsorben berpori berkisar antara 100 sampai dengan $1000 \text{ m}^2/\text{g}$. Biasanya dipergunakan sebagai penyangga katalis, dehidrator, dan penyeleksi komponen. Adsorben minimumnya berbentuk granular.

Adapun klasifikasi pori menurut IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) yang sering digunakan: (Yang, 1997)

- Mikropori : diameter $< 20 \text{ \AA}$ ($d < 2 \text{ nm}$)
- Mesopori : diameter $20 \text{ \AA} < d < 500 \text{ \AA}$ ($2 - 200 \text{ nm}$)

- Makropori : diameter $> 500 \text{ \AA}$ ($> 200 \text{ nm}$)

Sebagai contoh beberapa jenis molekul yang menjadi adsorbat berdiameter efektif $< 3 \text{ \AA}$ adalah molekul H_2O , NH_3 , He, sedangkan molekul yang berukuran diameter efektif $> 3 \text{ \AA}$ adalah CH_4 , CO_2 , C_2H_2 , O_2 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, H_2S (Yang, 1997). Adapun beberapa jenis adsorben yang banyak digunakan dalam proses adsorpsi gas baik untuk penelitian maupun untuk proses di industri seperti silika gel, karbon aktif, zeolit, alumina, kiesel guhr (tanah diatome) dan batubara.

Tabel 2.3 ini menginformasikan tentang beberapa jenis adsorben, karakteristik, beserta kegunaan dan kerugiannya.

Tabel 2. 3. Tipe, Karakteristik, Kegunaan dan Kerugian Adsorben
(Atmayudha, 2006)

Tipe	Karakteristik	Kegunaan	Kerugian
Karbon Aktif	Hidrofobik	Pemisahan polutan organik	Sulit untuk diregenerasi
Zeolit	Hidrofilik, polar	Pemisahan udara, dehidrasi	Kapasitas total rendah
Silika gel	Kapasitas tinggi, hidrofilik	Pengeringan aliran gas	Pemisahan tidak efektif
Alumina aktif	Kapasitas tinggi, hidrofilik	Pengeringan aliran gas	Pemisahan tidak efektif

2.4. Zeolit

Mineral zeolit sudah diketahui sejak tahun 1755 oleh seorang ahli mineralogi bernama F.A.F. Cronstedt. Meskipun demikian penggunaan mineral zeolit untuk industri baru dimulai tahun 1940 dan 1973. Tahun 1940 adalah penggunaan mineral zeolit sintesis, sedangkan tahun 1973 adalah permulaan penggunaan mineral zeolit alam. Dikarenakan mineral zeolit alam sulit dipisahkan dari batuan induknya maka ini menjadi alasan dibuatnya zeolit sintesis. Mineral zeolit sintesis yang dibuat tidak dapat persis sama dengan mineral zeolit alam, walaupun zeolit sintesis mempunyai sifat fisik yang jauh lebih baik. Pada tahun tersebut merupakan titik awal penggunaan nyata bagi mineral zeolit alam untuk berbagai keperluan industri.

Zeolit berasal dari bahasa Yunani, *Zein* yang berarti mendidih dan *Lithos* yang berarti batu. Zeolit didefinisikan sebagai batu yang mendidih. Hal ini sesuai dengan kemampuan zeolit yang akan menghamburkan uap, seperti air mendidih, bila dipanaskan. Struktur zeolit yang berongga-rongga dengan cairan di dalamnya yang mudah lepas, membuat zeolit mempunyai sifat khusus yaitu mampu menyerap senyawa kimia tertentu, mampu menyaring partikel ukuran halus, mampu melakukan pertukaran ion dan mampu bertindak sebagai katalisator.

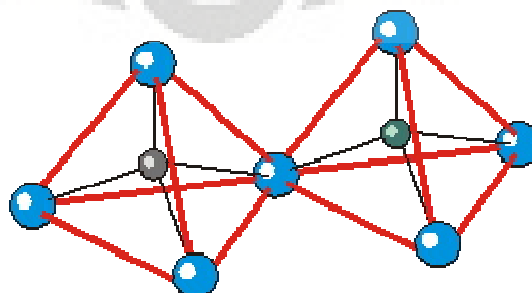
Zeolit itu sendiri juga merupakan kelompok mineral aluminosilikat yang memiliki beberapa sifat seperti mempunyai struktur yang khas, permukaan yang luas dan muatan negative yang tinggi, serta mengandung kation-kation seperti: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} .

3.4.1. Struktur Zeolit

Adsorben zeolit merupakan adsorben kristal berpori yang memiliki struktur teratur. Pada umumnya zeolit terdiri atas silika, alumunium, oksigen dan beberapa kation pada bagian porinya. Struktur penting dari zeolit adalah adanya lubang dalam susunan kristalnya, yang dibentuk oleh silika alumina tetrahedron. Tiap tetrahedron memiliki empat anion oksigen dengan kation alumina atau silika ditengahnya. Dengan demikian zeolit memiliki sisi asam yang lebih besar dan kemampuan mengadsorsbsi reaktan pada permukaan katalis yang lebih kuat jika dibandingkan dengan katalis asam jenis lain.

Sisi asam pada zeolit merupakan asam bronsted hasil dari substitusi silika dengan alumina yang dapat mendonorkan proton. Tingginya kekuatan asam zeolit didukung dengan luas permukaan yang besar menjadikan zeolit sebagai katalis yang komersil digunakan pada industri untuk reaksi heterogen.

Berikut merupakan struktur zeolit:

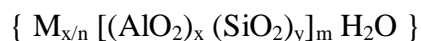


Gambar 2.7. Tetrahedral Alumina dan Silikat

Universitas Indonesia

Dalam struktur zeolit, atom Al dan Si berkoordinasi dengan seluruh atom oksigen dalam bentuk tetrahedral silika atau alumina (Gambar 2.5). Gugus alumina AlO_4 akan bermuatan negatif dan dinetralkan oleh logam alkali atau alkali tanah untuk mencapai struktur yang stabil.

Rumus empiris senyawa zeolit adalah:



dimana:

M = kation logam yang dapat saling ditukarkan

n = valensi kation M

m = jumlah molekul air per unit sel

x,y = menyatakan banyaknya atom Al dan Si

Logam M dikenal sebagai kation tukar, sedangkan Si dan Al dikenal sebagai kation struktural. Jadi zeolit terdiri dari 3 komponen utama, yaitu:

1. kation yang dipertukarkan
2. kerangka aluminasilikat
3. fase air

Zeolit juga sering disebut sebagai '*molecular sieve*'/'*molecular mesh*' (saringan molekuler) karena zeolit mempunyai pori-pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan atau menyaring molekul dengan ukuran tertentu.

3.4.2. Jenis Zeolit

Menurut terjadinya, zeolit dibagi menjadi dua golongan, yaitu:

(1) Zeolit Alam

Mineral zeolit alam ditemukan dalam bentuk sedimentasi yang terjadi karena alterasi (ubahan) dari debu-debu vulkanis (mengandung gelas/Si) oleh air danau asin. Zeolit yang terbentuk dengan cara ini strukturnya kompleks dan tidak seragam. Sedimentasi zeolit ini berlangsung secara kontinyu pada dasar-dasar lautan. Jenis-jenis zeolit alam tercantum pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 4. Daftar mineral zeolit yang terdapat dalam batuan sedimen

Nama mineral	Rumus kimia unit sel	Nama mineral	Rumus kimia unit sel
Analsim	$\text{Na}_{16}(\text{Al}_{16}\text{Si}_{16}\text{O}_{96}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Epistilbit	$(\text{CaNa}_2)_3(\text{Al}_6\text{Si}_{18}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Kabazit	$(\text{Na}_2\text{Ca})_6(\text{Al}_{12}\text{Si}_{24}\text{O}_{72}) \cdot 40\text{H}_2\text{O}$	Gismondin	$(\text{CaNa}_2\text{K}_2)_4(\text{Al}_8\text{Si}_8\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$
Klinoptilolit	$(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Connardit	$(\text{Na}_2\text{Ca})(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Erionit	$(\text{NaCa}_5\text{K})_9(\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) \cdot 27\text{H}_2\text{O}$	Harmotom	$(\text{BaNa}_2)_2(\text{Al}_4\text{Si}_{12}\text{O}_{32}) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Faujasit	$\text{Na}_{58}(\text{Al}_{58}\text{Si}_{134}\text{O}_{384}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	Natrolit	$\text{Na}_4(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Ferrierit	$(\text{Na}_2\text{Mg}_2)(\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	Scolecit	$\text{Ca}_2(\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Heulandit	$\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Stilbit	$(\text{CaNa}_2)_4(\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) \cdot 28\text{H}_2\text{O}$
Laumontit	$\text{Ca}(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Thomsonit	$(\text{NaCa}_2)(\text{Al}_5\text{Si}_5\text{O}_{20}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Mordenit	$\text{Na}_8(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	Wairakit	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{20}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Filipsit	$(\text{NaK})_{10}(\text{Al}_{10}\text{Si}_{22}\text{O}_{64}) \cdot 20\text{H}_2\text{O}$	Yugawaralit	$\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{20}) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

(2) Zeolit Sintetis (zeolit buatan)

Untuk memperoleh zeolit dengan kemurnian yang lebih baik, dengan komposisi zeolit dan perbandingan Si/Al yang diinginkan, maka dibuatlah zeolit sintesis yang dibuat secara kimiawi. Dalam pemanfaatannya, zeolit sintesis ini lebih banyak digunakan di industri dibandingkan zeolit alam. Keaktifan zeolit ditentukan oleh perbandingan Si/Al. Harga Si/Al ini dapat divariasikan pada zeolit buatan.

Zeolit buatan ini dikelompokkan menjadi empat kelompok, yaitu:

1) Zeolit kadar Si rendah (Si/Al = 1)

Jenis zeolit ini mempunyai pori-pori, komposisi, dan saluran rongga optimum sehingga mempunyai nilai ekonomis tinggi karena lebih efektif dipakai untuk pemisahan atau pemurnian dengan kapasitas besar. Volume pori-pori dapat mencapai $0,5 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ volume zeolit. Kadar maksimum Al dalam zeolit dicapai bila perbandingan Si/Al mendekati 1 sehingga mengakibatkan daya penukar ion dari zeolit maksimum. Contoh zeolit Si rendah adalah zeolit A dan X.

2) Zeolit kadar Si sedang (Si/Al = 5)

Kerangka tetrahedral Al dari Zeolit tidak stabil terhadap asam atau panas. Selain itu, mordenit mempunyai perbandingan Si/Al = 5 adalah sangat stabil. Maka diusahakan untuk membuat zeolit dengan kadar Si yang lebih dari 1 yang kemudian diperoleh zeolit Y dengan perbandingan Si/Al antara 1-3. Contoh zeolit Si sedang adalah zeolit Y.

3) Zeolit kadar Si tinggi (Si/Al = 10-100)

Zeolit ini mempunyai sifat permukaan yang kadang-kadang tidak dapat diperkirakan sebelumnya. Sifatnya sangat hidrofilik dan akan menyerap molekul yang tidak polar dan baik digunakan sebagai katalisator asam untuk hidrokarbon. Contoh zeolit Si tinggi adalah ZMS-5, ZMS-11, ZMS-21, dan ZMS-24.

4) Zeolit Si (tanpa Al)

Zeolit Si tidak mengandung Al sama sekali atau tidak mempunyai substitusi kation sama sekali. Zeolit ini sangat hidrofilik-hidrofobik sehingga dapat memisahkan suatu molekul organik non polar dari suatu campuran air. Contoh zeolit Si adalah silikasit.

3.4.3. Aktivasi Zeolit

Zeolit yang terbentuk secara alami biasanya mengandung banyak pengotor, seperti mineral-mineral dan bahan-bahan organik yang ada di tanah misalnya asam humat. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kemampuan zeolit sesuai dengan tujuan penggunaannya, biasanya dilakukan aktivasi terhadap zeolit. Beberapa cara aktivasi zeolit yang biasa digunakan, yaitu:

1) Aktivasi secara kimia

Aktivasi ini biasa dilakukan dengan tujuan untuk melarutkan pengotor-pengotor yang menutupi permukaan zeolit dan gugus fungsi yang ada pada zeolit. Pengotor yang bersifat asam akan larut dengan pencucian yang menggunakan larutan basa dan pengotor yang bersifat basa akan larut dalam pencucian dengan larutan asam, sehingga akan diperoleh zeolit yang bersih sehingga gugus fungsi yang terdapat pada zeolit teraktifkan.

2) Aktivasi secara fisik atau pemanasan

Aktivasi fisik atau secara pemanasan dilakukan untuk menghilangkan air yang terdapat pada permukaan atau pori-pori zeolit, sehingga pori-pori zeolit dapat lebih terbuka. Selain itu aktivasi secara fisik dapat memperoleh zeolit dengan pori-pori zeolit dapat lebih terbuka. Selain itu aktivasi secara fisik dapat memperoleh zeolit dengan pori-pori yang lebih terbuka karena pemanasan ini dapat menguraikan senyawa-senyawa organik yang terdapat dalam rongga atau pori zeolit. Biasanya aktivasi ini dilakukan dengan pemanasan pada suhu 300°C - 600°C .

3.4.4. Sifat-sifat Zeolit

Hal pertama yang harus diketahui dalam pemanfaatan zeolit adalah mengenai sifat-sifatnya. Adapun yang menjadi sifat zeolit adalah meliputi:

(1) Sifat Adsorpsi

Pada temperatur ruang, rongga hampa kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada di sekitar kation. Jika dilakukan proses kalsinasi pada suhu sekitar 250° - 400°C , maka akan menyebabkan terjadinya dehidrasi atau penguapan air yang terkandung didalamnya. Hal ini akan mengakibatkan zeolit mempunyai luas permukaan kontak yang besar, sehingga memungkinkan zeolit digunakan sebagai adsorben yang mampu menyerap molekul gas atau cairan.

(2) Sifat Penukar Ion

Kation yang terdapat pada zeolit umumnya berasal dari golongan alkali dan alkali tanah. Kation tersebut mempunyai posisi yang tidak tetap dan tidak terikat kuat dalam rongga zeolit, sehingga memungkinkan kation tersebut dipertukarkan dengan kation lain. Pertukaran ion dapat terjadi dalam suatu cairan yang mengandung anion, kation dan molekul air, dimana salah satu atau ion akan terikat pada matriks mikropori dari zeolit. Molekul air dapat berada dalam mikropori bersama ion (kation, anion) dengan muatan untuk mencapai keadaan netral. Ion yang berada dalam cairan yang bergerak bebas di dalam matriks mikropori zeolit sehingga zeolit disebut sebagai penukar kation atau anion tergantung pada jenis ion yang ditukar.

Proses pertukaran kation antara larutan garam suatu logam tertentu dengan kation pada (zeolit) adalah sebagai berikut:



Kemampuan pertukaran ion biasanya dinamakan dengan nilai Kapasitas Tukar Kation (KTK) yaitu miliekivalen kation yang terserap oleh satu gram zeolit. KTK zeolit dapat bervariasi dari 1,5 sampai 6 meq/g. KTK tergantung pada komposisi kimia dan perbandingan Si/Al. Pada umumnya zeolit dengan perbandingan Si/Al yang rendah kurang baik digunakan sebagai penukar kation, karena kurang stabil dalam suasana asam.

Setiap jenis zeolit mempunyai urutan selektivitas pertukaran kation yang berlainan. Selektivitas kation dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- 1) struktur pembentukan zeolit alam dipengaruhi oleh besarnya rongga yang terjadi.
- 2) mobilitas kation yang diperlukan.
- 3) pengaruh difusi kation ke dalam larutan dan energi hidrasi.

Kapasitas pertukaran ion merupakan fungsi dari perbandingan oksida silikon dan oksida aluminium, karena pertukaran ion hanya terjadi pada suatu kerangka tetrahedral AlO_4^{5-} . Zeolit selain sebagai penukar kation, juga dapat sebagai penukar anion, seperti monmorilonit, atau dapat menggunakan jenis zeolit lain yang telah dimodifikasi dengan polimer organik.

Sifat khusus penapis molekular zeolit dapat mengakibatkan ion-ion yang berukuran lebih besar dari rongga zeolit sukar tertukar. Sedangkan ion-ion yang berukuran lebih kecil dari rongga zeolit mudah tertukar. Pertukaran ion dengan garis tengah ion yang lebih besar dari rongga zeolit dapat terjadi jika didahului proses difusi ion dalam larutan sehingga dapat masuk ke rongga zeolit. Setiap jenis zeolit mempunyai sifat-sifat pertukaran ion tersendiri, tergantung dari struktur dan susunan molekul-molekul aluminosilikat serta besarnya rongga-rongga yang terbentuk di antara molekul-molekul tersebut.

(3) Sifat Katalis atau Penyangga Katalis

Zeolit dapat digunakan sebagai katalis maupun sebagai penyangga katalis untuk reaksi-reaksi katalitik. Ciri paling khusus dari zeolit adalah banyaknya ruang kosong yang membentuk saluran didalamnya. Bila zeolit digunakan

pada proses katalisis maka akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang bebas antar kristal dan reaksi kimia juga terjadi di permukaan saluran tersebut.

(4) Sifat Penyaring Molekul

Zeolit dapat menyaring molekul, karena mempunyai saluran dan rongga berukuran molekul. Proses penyaringan molekul berdasarkan perbedaan ukuran, bentuk, dan polaritas molekul yang akan disaring. Oleh karena itu ada beberapa molekul yang dapat melintas dalam rongga dan saluran zeolit, tetapi ada juga yang tidak dapat melintasi atau terserap. Selain itu polaritas zeolit yang sangat besar juga mengakibatkannya mampu untuk menyerap molekul-molekul gas bersifat polar.

Beberapa contoh zeolit dan molekul yang dapat disaring ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 2. 5. Jenis zeolit dan molekul yang dapat melintas
(Dyer, 1994)

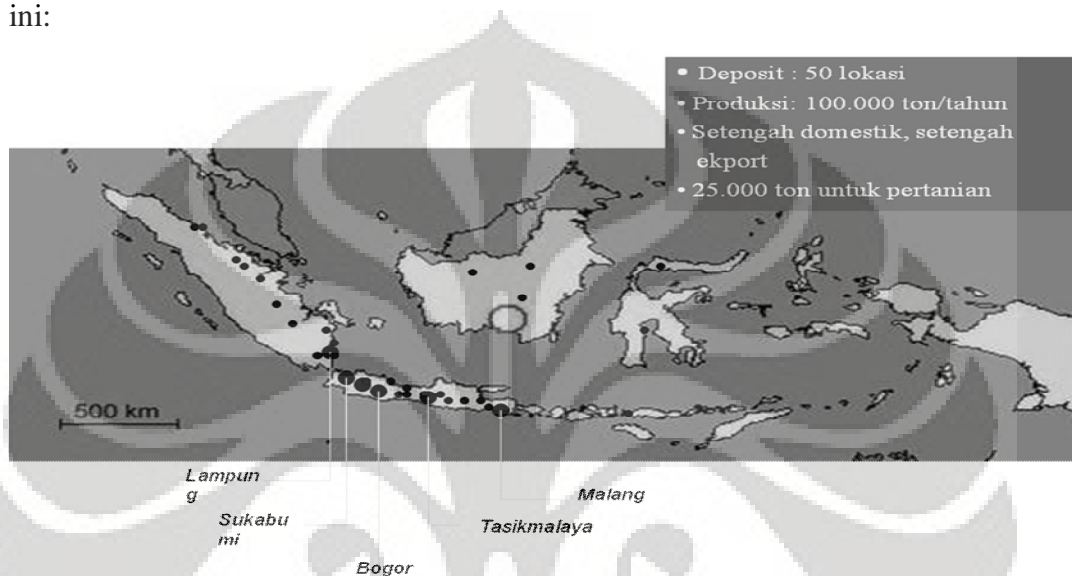
Ukuran pori (Å)	Jumlah atom O	Zeolit	Molekul yang dapat melintas
2,3	6	A, X	H ₂ O, NH ₃
3,8	8	Kabasit	He, Ne, Ar, CO ₂
4,1	8	A	C ₂ H ₂ , MeNH ₂
4,2 dan 5,4	10	Ferrierit	He, Ne, Ar, CO ₂ , C ₂ H ₂ , MeNH ₂
7,4	12	X, Y	Sikloheksana, benzena, CCl ₄ , B ₅ H ₉

(5) Sifat Dehidrasi

Bila molekul-molekul air dikeluarkan dari rongga dalam zeolit dengan menggunakan panas, maka pada umumnya struktur rongga dari zeolit akan mengalami distorsi. Akan tetapi tidak mengalami perubahan pada struktur dasar rangka, walaupun dalam kondisi yang sangat kuat. Molekul-molekul air seolah-olah mempunyai posisi spesifik, akan tetapi tidak mempunyai struktur primer, dan dapat dikeluarkan secara reversibel tanpa merubah rangka struktur mineral zeolit.

Sifat dehidrasi zeolit akan mempengaruhi sifat-sifat adsorpsinya. Zeolit akan melepaskan molekul airnya dari dalam rongga permukaan dan akan efektif terinteraksi dengan molekul yang diadsorpsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori atau volume ruang hampa yang terbentuk bila unit kristal tersebut dipanaskan.

Adapun deposit zeolit alam di Indonesia dapat dilihat pada gambar peta dibawah ini:



Gambar 2.8. Gambaran Peta distribusi Zeolit Alam di Wilayah Indonesia

Dimana dalam peta tersebut dapat kita lihat bahwa deposit zeolit alam terdapat di 50 lokasi di beberapa wilayah di Indonesia, dimana diperkirakan produksi zeolit tiap tahunnya adalah 100.000 ton. Adapun produksi tersebut digunakan setengah untuk keperluan dalam negeri (domestik) dan setengahnya dijual ke luar negeri (eksport).

Pada table 2.6 dibawah ini juga ditampilkan spesies dan kandungan Zeolit pada beberapa tempat di Indonesia, yaitu:

Tabel 2. 6. Spesies dan Kandungan Zeolit beberapa tempat di Indonesia

Sample No.	Deposit	Province	Zeolite species ^{a)}	Zeolite content (%)			Associate mineral ^{b)}
				C	M	Total	
1	Lampung	Lampung	M	-	68	68	Mt
2	Bayah	Banten	M,C	24	40	64	Fd
3	Bojong	West Java	M	-	26	26	Qu
4	Cirangkasbitung	West Java	C,M	52	15	67	Qu
5	Nanggung	West Java	M,C	10	13	23	Mt
6	Cikembar	West Java	M,C	16	25	41	Fd
7	Cipatujah	West Java	M,C	19	51	70	Mt
8	Malang	East Java	C,M	37	34	71	

C clinoptilolite; M: modernite

Zeolit yang akan digunakan pada penelitian ini adalah jenis zeolit alam yaitu zeolit alam Malang. Zeolit alam Malang merupakan campuran dari zeolit jenis modernit (34%) dan klinoptilotit (37%).

2.5. Nitrogen

Nitrogen adalah suatu gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa yang disusun dari molekul diatomic N_2 . Dimana terbentuk 78% dari volume udara. Pada suhu $0^\circ C$ dan tekanan 1 atm, 1 liter mempunyai massa 1.2506 gram. Gas mengembun menjadi larutan tidak berwarna pada 77.25 K dan menjadi sebuah padatan putih pada 63.3 K.

Nitrogen adalah senyawa kimia yang tidak reaktif. Senyawa ini tidak dapat dibakar dan pada suhu normalnya, senyawa ini tidak bereaksi dengan elemen-elemen lain. Senyawa ini dipreparasi secara komersial dengan distilasi dari udara dicairkan.

Nitrogen adalah elemen yang penting dari banyak senyawa yang membentuk kehidupan organism, termasuk protein. Senyawa-senyawa penting tersebut digunakan untuk bahan pupuk dan bahan peledak.

2.5.1. Sifat Fisik Gas Nitrogen

Nitrogen memiliki fasa gas pada keadaan normal (tekanan 1 atm dan suhu 298 K). gas nitrogen sendiri tidak memiliki bau dan tidak memiliki warna. Sifat-sifat fisik gas Nitrogen dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. 7. Sifat-sifat Fisik Gas Nitrogen

Sifat Fisik Nitrogen	
Fasa	Gas
Tampilan	Tidak berwarna dan tidak berbau
Densitas	(0°C, 101.325 kPa) 1,251 g/L
Titik lebur	63, 15 K (-210.00 °C, -346.00 °F)
Titik didih	77, 36 K (-195.79 °C, -320.42 °F)
Titik kritis	126.21 K, 3.39 Mpa
Kalor Penguapan (<i>heat of fusion</i>)	(N ₂) 0.360 kJ.mol ⁻¹
Kalor Penguapan	(N ₂) 5.56 kJ.mol ⁻¹ (25 °C) (N ₂)
Kapasitas Panas	29.124 J.mol ⁻¹ .K ⁻¹

2.6. Metana

Metana (CH₄, *marsh gas*, *fire damp*, titik cair: -182,6°C, titik didih: -161,4°C, densitas: 0,415 pada suhu -164°C) adalah suatu gas tidak berwarna, tidak berbau yang hanya sangat kecil dapat dilarutkan dalam air dan sebagian dapat dilarutkan dalam alkohol atau ether. Ketika dibakar, gas menyala ketika dibakar dalam air dengan suatu warna dalam cahaya, api menyala redup. Senyawa metana dibentuk dari suatu campuran eksplosive dengan udara diantara konsentrasi gas dari 5 dan 13%.

Metana terjadi sebagai konstituen utama dari gas alam dan sering diproduksi dengan pemisahan dari konstituen yang lain dari gas alam.

Secara alternatif, metana dapat dibuat dengan reaksi karbon monoksida dan hidrogen di dalamnya terdapat sebuah katalis nikel. Metana juga bisa dibuat dari reaksi magnesium metil iodad (*Grignard's reagent*) dalam anhydrous ether dengan zat yang mengandung grup hydroxyl. Methyl alcohol dan phosphorus iodad (brom, clorida).

Metana, sebagai konstituen utama dari gas alam, adalah suatu hal ekstrem bahan mentah terpenting untuk banyak produk sintesis. Untuk kebanyakan proses, tidak diinginkan untuk mengisolasi dan memurnikan metana, tetapi gas alam sebagai diterima mungkin digunakan.

Starting material	Reactant conditions	Product conditions	Reactant conditions	Product	Reactant	Product
Methane	Water heat	Synthesis gas	Water heat	Carbon dioxide, hydrogen	Nitrogen	Ammonia
		Synthesis gas	Catalyst heat	Methyl alcohol	Heat	Formaldehyde
				Methyl alcohol	i-butylene	MTBE
				Methyl alcohol	Terephthalic acid	Dimethyl terephthalate
				Methyl alcohol	Carbon monoxide	Acetic acid

Gambar 2.9. Pembuatan Secara Kimia dari Metana

Dalam tambahan untuk preparasi dari sintesis gas, yang digunakan secara luas dalam bermacam-macam sintesis organik (gambar 2.12), metana direaksikan dengan ammonia dengan adanya katalis platinum pada suatu temperatur sekitar 1250°C ke bentuk hydrogen sianida:



Metana juga digunakan dalam produksi dari olefin pada skala besar. Dalam suatu kontrol proses oksidasi, metana juga digunakan sebagai suatu bahan mentah dalam produksi dari acetylene.

2.6.1. Sifat Fisik Gas Metana

Metana adalah komponen terbesar dari gas alam, volumenya sekitar 87%. Pada suhu ruang dan tekanan standar, metana adalah suatu gas yang tidak

berwarna, tidak berbau; karakteristik bau dari gas alam adalah suatu pengukuran keamanan buatan ditujukan untuk penambahan dari suatu odorant, sering kali methanethiol atau ethanethiol. Metana mempunyai titik didih -161°C pada satu atmosfer. Sebagai suatu gas yang mudah terbakar di sekelilingnya terdapat konsentrasi terbatas (5-15%) dalam udara. Cairan metana tidak dapat menyala jika tidak pada tekanan tinggi (normalnya 4-5 atmosfer).

Tabel 2. 8. Sifat-sifat Fisik Gas Metana

Sifat Fisik Metana	
Fasa	Gas
Tampilan	Tidak berwarna
Densitas	0.717 mg/m^3
Titik lebur	-182.5°C , 91 K, -297°F
Titik didih	-161.6°C , 112 K, 259°F
Kelarutan dalam air	3.5 mg/100 mL (17°C)

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian mengenai “Percobaan Adsorpsi Nitrogen dan Metana di dalam Zeolit pada Tekanan Tinggi Serta Permodelannya” akan dilakukan di Laboratorium RPKA Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

3.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah:

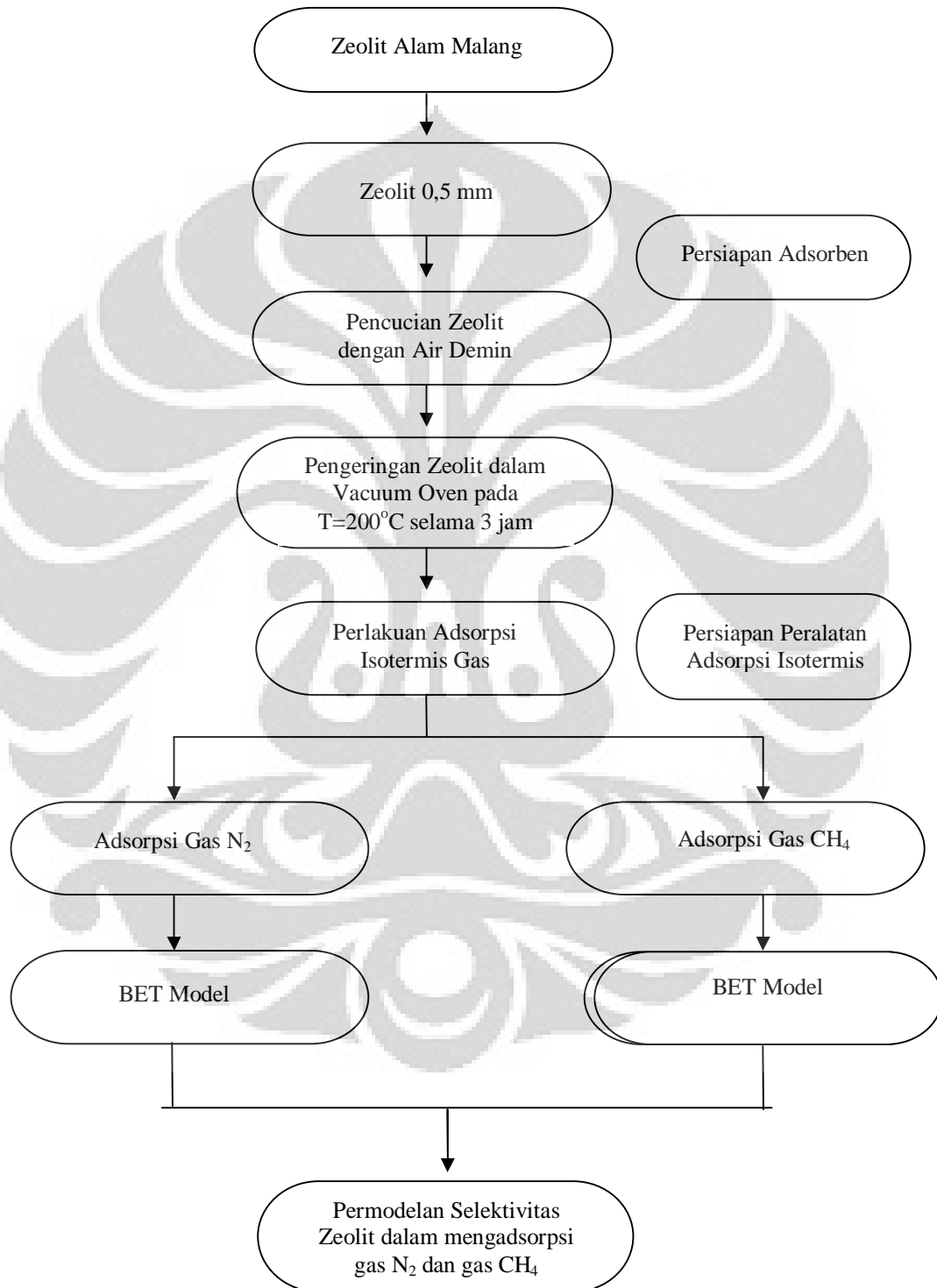
- Tabung gas N₂ (Nitrogen)
- Tabung gas CH₄ (Metana)
- Tabung gas He (Helium)
- Oven
- Desikator
- *Dozing Cylinder*
- *Sampling Cylinder (Equilibrium Cell)*
- Termometer
- *Pressure gauges digital*
- 3 buah *valve*
- *Selector Switch*

Bahan-bahan yang perlu disiapkan dalam penelitian ini adalah:

- Gas N₂
- Gas CH₄
- Gas He
- Zeolit Alam Lampung
- Air demin

3.3. Alur Penelitian

Metodologi dari penelitian ini, secara skematik dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini. Untuk langkah-langkah yang lebih jelas dan lebih detail dapat dilihat pada bagian prosedur penelitian.



Gambar 3. 1. Alur Penelitian

3.4. Prosedur Penelitian

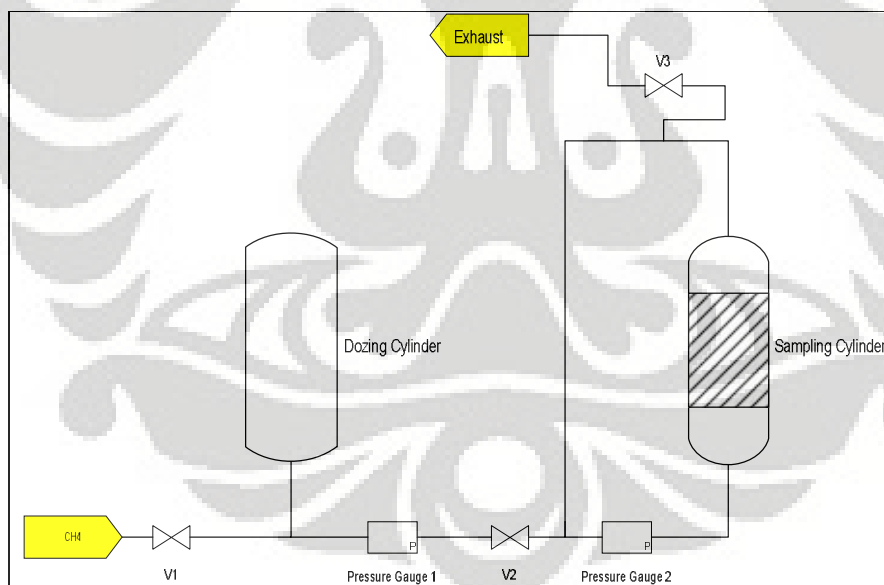
Prosedur penelitian yang akan dilakukan terdiri dari beberapa tahap, yaitu: preparasi zeolit, persiapan peralatan Adsorpsi Isotermis, adsorpsi isotermis N_2 , adsorpsi gas CH_4 , pemodelan adsorpsi gas N_2 dan CH_4 dengan model BET.

3.4.1. Preparasi Zeolit

Sebelum zeolit digunakan sebagai adsorben dalam percobaan, maka perlu pengayakan terlebih dahulu untuk memperoleh diameter butir yang diinginkan (0,5 mm). Zeolit ini kemudian dicuci dengan menggunakan air demin dan dikeringkan dengan menggunakan oven selama 3 jam pada suhu $200^{\circ}C$ untuk menghilangkan kadar airnya.

3.4.2. Persiapan Peralatan Adsorpsi Isotermis

Peralatan yang akan digunakan untuk adsorpsi isotermis dipersiapkan seperti pada gambar berikut:



Gambar 3. 2. Skema Alat

3.4.3. Uji Adsorpsi Tekanan Tinggi Gas Nitrogen dan Metana

Prosedur penelitiannya adalah sebagai berikut: (Goodman et al, 2004)

1. Kalibrasi volume *Dozing Cylinder*

- a. Mengisi *dozing cylinder* serta pipa-pipa dengan air sampai penuh.
- b. Air tersebut kemudian dimasukkan ke dalam gelas ukur untuk mengetahui volumenya. Volume ini adalah volume *dozing cylinder* beserta pipa-pipa.

2. Kalibrasi volume void *Sampling Cylinder*

Volume void dari *sampling cylinder (equilibrium cell)* adalah volume total dari ruang kosong yang terdapat pada *sampling cylinder*.

$$V_{\text{void}} = V_{SC} - V_{\text{ruang yang terisi material}} + V_{\text{pori-pori material}} \quad [3.1]$$

Prosedur pencarian volume void *Sampling Cylinder* adalah sebagai berikut:

- a) Mengatur temperatur yang diinginkan.
- b) Mengisi *dozing cylinder* dengan gas He dengan cara membuka valve V-1 dan mengalirkan gas He ke dalam alat tersebut. Sementara itu, valve V-2 dalam keadaan tertutup. Valve V-1 ditutup ketika pada tekanan tertentu di *dozing cylinder*. Setelah itu, mencatat tekanan *dozing cylinder* awal (P_{di}) serta tekanan awal *sampling cylinder* (P_{si}). Dengan data ini, maka kita bisa mengetahui jumlah mol He yang terdapat pada *dozing cylinder* menurut persamaan berikut ini:

$$n_i = \frac{P_{di} V_{\text{dozing cylinder}}}{Z_{He, di} RT} \quad [3.2]$$

Pada prosedur ini $V_{\text{dozing cylinder}} = V_{He}$

- c) Membuka valve V-2 dan mengalirkan gas He tersebut ke dalam *sampling cylinder*. Kemudian mencatat tekanan (P_{df}) dari *dozing cylinder*. Dengan data ini maka kita dapat mengetahui jumlah mol (n_i) dari gas He yang dimasukkan ke *sampling cylinder* dengan persamaan:

$$n_i = \left(\frac{P_{di}}{Z_{He, di} RT} - \frac{P_{df}}{Z_{He, df} RT} \right) V_{\text{dozing cylinder}} \quad [3.3]$$

- d) Menunggu 15 menit setelah itu mencatat tekanan akhir *sampling cylinder* (P_{sf}). Mencari volume void dari *sampling cylinder* dengan persamaan:

Universitas Indonesia

$$V_{\text{void}} = \frac{n_i Z_{\text{He}, di} RT}{P_{sf}} \quad [3.4]$$

e) Mengeluarkan gas He dari *sampling cylinder* dengan membuka valve V-3.

3. Uji Adsorpsi gas N₂

- Mengisi *dozing cylinder* dengan gas N₂ dengan membuka valve V-1 dan mengalirkannya ke *dozing cylinder*. Setelah terisi, valve V-1 ditutup dan mencatat tekanan awal *dozing cylinder* (P_{di}) dan *sampling cylinder* (P_{si}).
- Mengalirkan gas N₂ ke *sampling cylinder* dengan membuka valve V-2. Ketika gas N₂ telah masuk ke dalam *sampling cylinder*, menutup valve V-2 serta mencatat tekanan akhir *dozing cylinder* (P_{df}).
- Menunggu selama ± 3 jam, kemudian mencatat tekanan akhir dari *sampling cylinder* (P_{sf}).
- Mencari jumlah mol zat yang teradsorp dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$n_{N_2 \text{ teradsorp}} = n_{N_2, \text{ii}} - n_{N_2, \text{tidak teradsorp}}$$

$$n_{N_2 \text{ teradsorp}} = \left[\left(\frac{P_{di}}{Z_{N_2, di} RT} - \frac{P_{df}}{Z_{N_2, df} RT} \right) V_{\text{dozing cylinder}} \right] - \left[\frac{P_{sf} V_{\text{void}}}{Z_{N_2, sf} RT} \right] \quad [3.6]$$

e) Prosedur a sampai d dilakukan untuk tekanan akhir *sampling cylinder* (P_{sf}) sekitar 150 psi, 300 psi, 450 psi, 600 psi, 750 psi, dan 900 psi.

4. Uji Adsorpsi gas CH₄

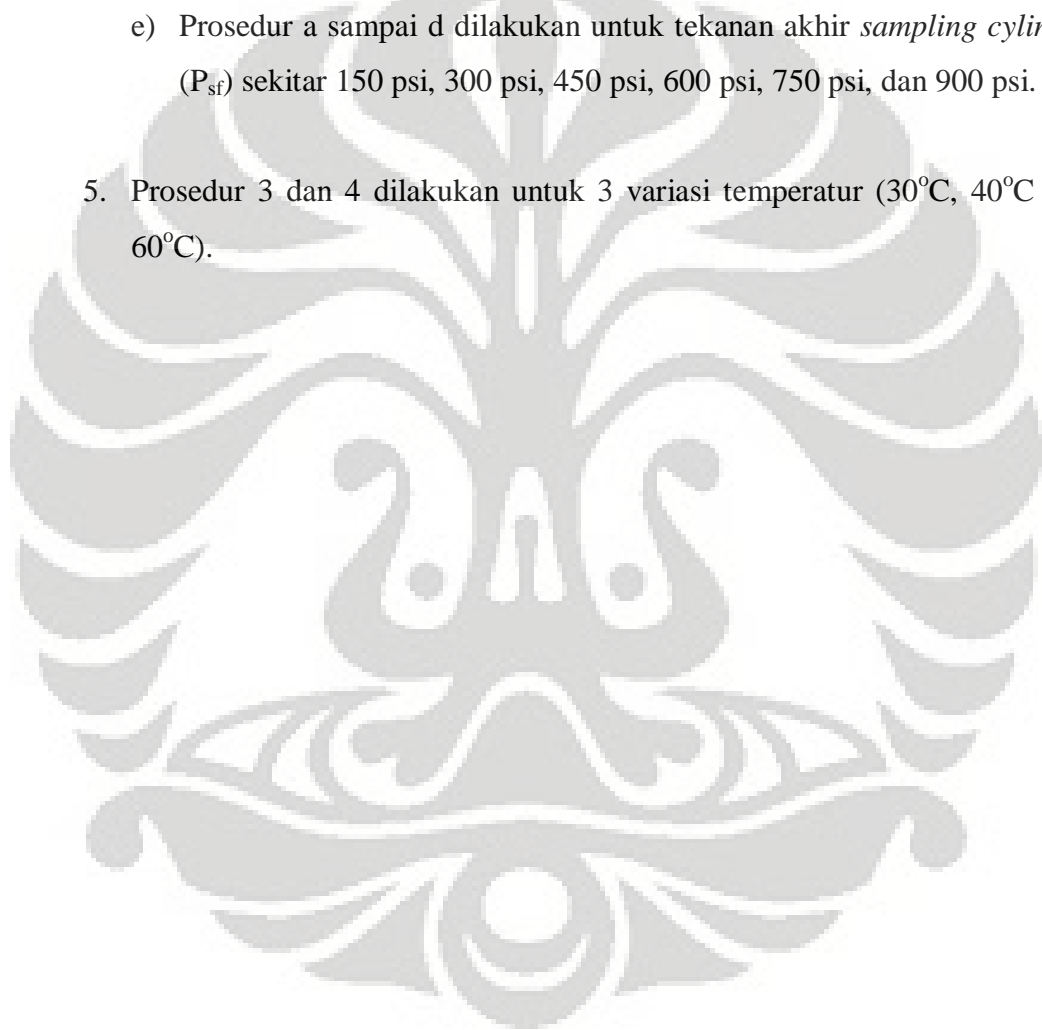
- Mengisi *dozing cylinder* dengan gas CH₄ dengan membuka valve V-1 dan mengalirkannya ke *dozing cylinder*. Setelah terisi, valve V-1 ditutup dan mencatat tekanan awal *dozing cylinder* (P_{di}) dan *sampling cylinder* (P_{si}).
- Mengalirkan gas CH₄ ke *sampling cylinder* dengan membuka valve V-2. Ketika gas CH₄ telah masuk ke dalam *sampling cylinder*, menutup valve V-2 serta mencatat tekanan akhir *dozing cylinder* (P_{df}).

- c) Menunggu selama ± 3 jam, kemudian mencatat tekanan akhir dari *sampling cylinder* (P_{sf}).
- d) Mencari jumlah mol zat yang teradsorp dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$n_{CH_4, teradsorp} = n_{CH_4, i} - n_{CH_4, tidak teradsorp}$$

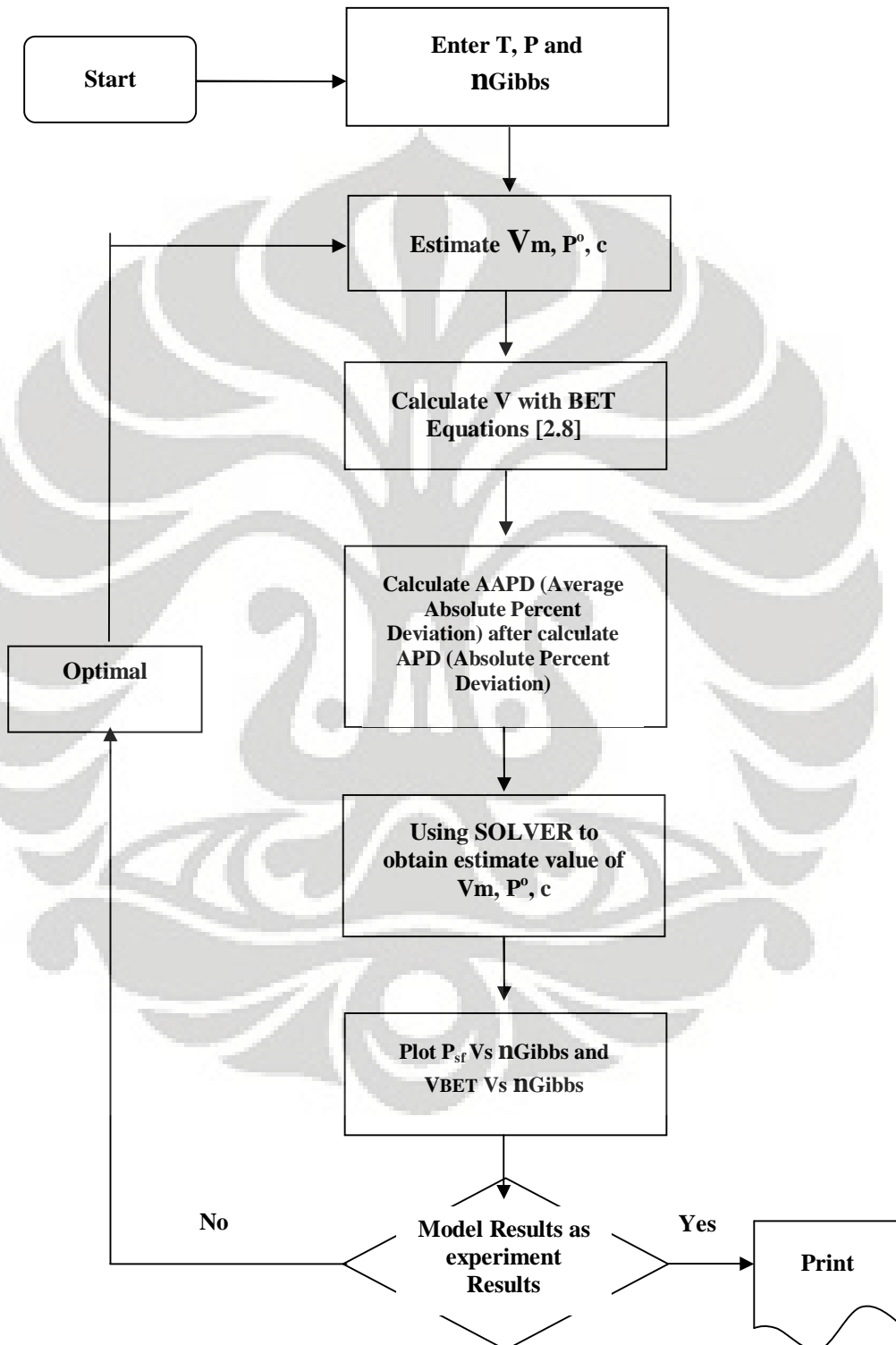
$$n_{CH_4, teradsorp} = \left[\left(\frac{P_{di}}{Z_{CH_4, di} RT} - \frac{P_{df}}{Z_{CH_4, df} RT} \right) V_{\text{dozing cylinder}} \right] - \left[\frac{P_{sf} V_{\text{void}}}{Z_{CH_4, sf} RT} \right] \quad [3.5]$$

- e) Prosedur a sampai d dilakukan untuk tekanan akhir *sampling cylinder* (P_{sf}) sekitar 150 psi, 300 psi, 450 psi, 600 psi, 750 psi, dan 900 psi.
5. Prosedur 3 dan 4 dilakukan untuk 3 variasi temperatur (30°C, 40°C dan 60°C).



3.4.4. Pemodelan

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan model BET. Adapun algoritma pemodelannya adalah:



Gambar 3. 3. Algoritma Parameter Model BET

Universitas Indonesia

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Persiapan Adsorben

Persiapan adsorben ini dilakukan untuk mengaktivasi permukaan zeolit alam Malang untuk dapat digunakan sebagai adsorben. Dimana proses preparasi yang dilakukan merupakan proses fisika dimana tidak ada penggunaan bahan kimia ataupun suatu reaksi kimia yang dialami dalam permukaan zeolit. Proses preparasi ini meliputi beberapa hal seperti penghalusan, pencucian dan pemanasan. Dimana dalam penelitian ini digunakan zeolit alam Malang, dimana secara fisik dapat dilihat dari warna zeolit tersebut dimana zeolit ini memiliki warna putih kehijauan.

Proses preparasi yang harus dilakukan pertama kali yaitu penghalusan. Dimana zeolit alam Malang yang awalnya berbentuk kerikil-kerikil kasar dihaluskan dengan mortar, dimana kemudian disaring dengan *mesh* yang memiliki ukuran 0.5 mm. Dimana tujuan dari preparasi awal ini adalah untuk memperoleh zeolit dengan ukuran yang lebih kecil sehingga diharapkan dapat memperluas kontak antara adsorbat dengan adsorbannya dalam uji adsorpsi nantinya. Berikut ini pada Gambar 4.1 menunjukkan penampakan awal dari zeolit alam Malang dan Gambar 4.2 menunjukkan penampakan halus dari zeolit alam Malang.



Gambar 4.1. Zeolit Alam Malang Sebelum Dihaluskan



Gambar 4.2. Zeolit Alam Malang Setelah Dihaluskan

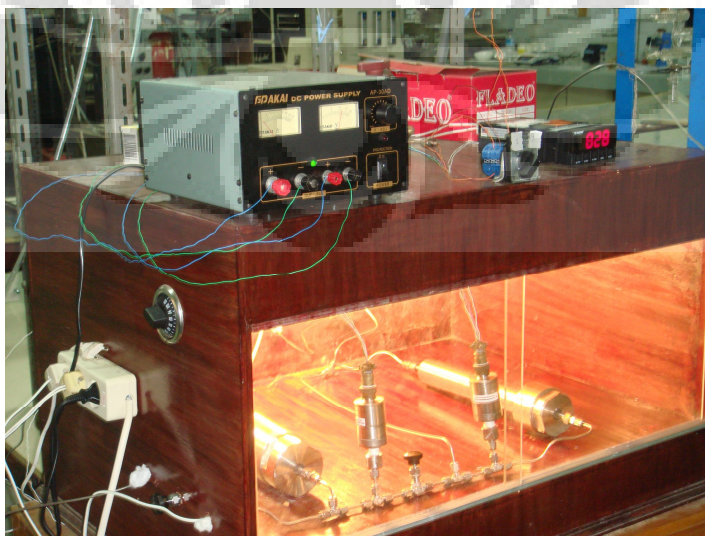
Proses preparasi kemudian dilanjutkan dengan pencucian zeolit alam Malang yang telah berukuran 0,5 mm dengan menggunakan air demin dimana air demin merupakan air yang telah dihilangkan kandungan mineral dan ion-ionnya. Dalam proses pencucian ini dilakukan sebanyak 2-3 kali pembilasan hingga air demin bekas cucian zeolit tadi tidak lagi terlalu keruh. Pencucian ini dilakukan bertujuan untuk membersihkan material zeolit dari pengotor seperti debu atau partikel-partikel pengotor lainnya yang berukuran mikro. Dimana partikel-partikel tersebut akan larut dalam air dan ikut terbuang. Penggunaan air demin itu sendiri bertujuan untuk menghindari adanya mineral atau ion yang dapat masuk ke dalam pori-pori zeolit. Karena keberadaan mineral dan ion-ion ini dapat mempengaruhi proses adsorpsi dan akhirnya mempengaruhi luas permukaan terukur.

Proses preparasi terakhir adalah pemanasan. Proses pemanasan ini dilakukan dengan menggunakan oven pada temperatur 200°C selama 3 jam. Pemanasan ini sendiri bertujuan untuk menguapkan molekul-molekul air yang terkandung dalam zeolit terutama setelah proses pencucian. Molekul-molekul air ini akan terlepas dari pori-pori zeolit pada suhu 200°C (Chumaidi, 2007). Molekul-molekul air ini akan sangat mengganggu proses adsorpsi Nitrogen (N₂) dan Metana (CH₄) karena molekul-molekul air ini dapat teradsorpsi ke dalam pori-pori zeolit. Hal ini dikarenakan zeolit memiliki kemampuan yang cukup baik untuk digunakan sebagai adsorben air (Campbell, 1976).

4.2 Hasil Persiapan Peralatan Adsorpsi Isotermis gas Nitrogen dan Metana

Peralatan yang digunakan untuk proses adsorpsi isotermis ini terdiri dari satu buah *dozing cylinder* (tempat untuk menampung gas adsorbat selama proses adsorpsi terjadi), *sampling cylinder* (tempat yang berisi sampel zeolit sebagai adsorben), tiga buah *valve*, pipa-pipa penghubung kedua silinder, dua buah *transducer* (penghantar sinyal listrik yang merupakan hasil konversi dari tekanan gas yang sebenarnya), satu buah *selector switch* (merupakan alat untuk *switch* dalam mengetahui tekanan yang terdapat dalam *dozing cylinder* ataupun *sampling cylinder*) dan satu buah *pressure gauge digital* (alat untuk membaca tekanan yang terukur yang dialirkan melalui *transducer*). Pada alat ini juga terdapat dua buah alat pengontrol suhu yang dipasang di bagian samping dan tengah dari inkubator. Pengontrol suhu yang dipasang pada bagian samping dipasang termokopel yang akan mengatur nyala lampu pemanas hingga mencapai temperatur yang diinginkan.

Alat-alat tersebut disusun seperti Gambar 4.3, setelah terpasang, kemudian dicek kebocorannya supaya bila terjadi kebocoran bisa langsung diatasi. Kebocoran selain berpengaruh terhadap proses adsorpsi, juga bisa membahayakan lingkungan serta peneliti dan orang yang ada di laboratorium. Uji kebocoran dilakukan pada tekanan sekitar 900 Psi. Hal ini dilakukan untuk menghindari adanya kebocoran yang sangat kecil yang tidak terdeteksi jika dilakukan uji pada tekanan yang lebih rendah.



Gambar 4.3. Peralatan Uji Adsorpsi

Universitas Indonesia

4.3 Hasil Kalibrasi Volume Dozing Cylinder

Volume *dozing cylinder* diukur dengan menggunakan air yang dimasukkan ke dalam *dozing cylinder* sampai penuh. Setelah penuh, air dari *dozing cylinder* kemudian dipindahkan ke dalam gelas ukur dimana untuk mengetahui volume air yang masuk ke *dozing cylinder*.

Volume *dozing cylinder* yang didapat adalah 486 mL. Volume tersebut belum termasuk volume pipa-pipa yang ada dalam 1 set alat adsorpsi ini. Adapun volume total dari pipa-pipa tersebut adalah 0,73 mL (Atmayudha, 2007). Jika dijumlahkan antara volume *dozing cylinder* dengan volume pipa-pipa tersebut, maka didapat volume 486,73 mL.

4.4 Hasil Kalibrasi Volume Void pada *Sampling Cylinder*

Untuk mengetahui *void volume*, dilakukan 3 kali running agar data *void volume* yang didapat lebih akurat. Kalibrasi volume void ini dilakukan pada salah satu temperatur dalam adsorpsi isoteremis yaitu 30°C. Pengukuran *void volume* dengan menggunakan gas Helium ini dapat dihitung dengan persamaan 4.1.

$$V_{void} = \frac{n_i Z_{He, sf} RT}{P_{sf}} \quad (4.1)$$

Dimana,

$$n_i = \left(\frac{P_{di}}{Z_{He, di} RT} - \frac{P_{df}}{Z_{He, df} RT} \right) V_{dozing\ cylinder} \quad (4.2)$$

dimana:

n_i = jumlah mol He yang diinjeksikan ke *sampling cylinder*

P_{di} = tekanan *dozing cylinder* awal

P_{df} = tekanan *dozing cylinder* akhir

T = temperatur

$Z_{He, di}$ = faktor kompresibilitas pada kondisi P_{di} dan T

$Z_{He, df}$ = faktor kompresibilitas pada kondisi P_{df} dan T

Sampel zeolit alam Malang yang dimasukkan ke dalam *sampling cylinder* memiliki massa 81,32 gram. Tabel 4.1 berikut ini menunjukkan data hasil *running* untuk menentukan *void volume* pada sampel zeolit alam Malang.

Tabel 4.1. Hasil kalibrasi Volume Void Zeolit Alam Malang

P dozing Awal (Psia)	P dozing akhir (Psia)	P sampling akhir (Psia)	Void Volume (mL)
764	724	195	15.09
726	685	399	15.06
760	720	600	15.05
Rata-rata			15.07

Dari penentuan kalibrasi volume void diatas didapatkan bahwa hasil yang diperoleh untuk penentuan volume void pada zeolit alam Malang yang akan digunakan sebagai adsorben dalam uji adsorpsi ini tidak jauh berbeda atau penyimpangannya kecil, sehingga didapatkan rata-rata void volume-nya adalah sekitar 15,07 mL. Adapun volume void ini dilakukan sebelum *running* uji adsorpsi nitrogen dan metana untuk mengetahui volume total dari ruang kosong yang terdapat pada *sampling cylinder* dan juga dipakai dalam perhitungan untuk mengetahui mol adsorbat yang tidak teradsorp dalam zeolit tersebut. Adapun perhitungannya adalah seperti di bawah ini:

$$n_{\text{adsorbat tak teradsorp}} = \left[\frac{P_{sf} V_{\text{void}}}{Z_{\text{adsorbat}, sf} RT} \right] \quad (4.3)$$

4.5 Hasil Adsorpsi Tekanan Tinggi Terhadap Gas Nitrogen (N₂) dan Metana (CH₄)

Adsorpsi yang terjadi pada penelitian ini adalah adsorpsi fisik dimana tidak terjadi reaksi kimia selama proses adsorpsi berlangsung, sehingga proses adsorpsi hanya bergantung pada sifat fisik adsorbat yaitu N₂ dan CH₄ dan karakteristik adsorben yaitu zeolit alam Malang.

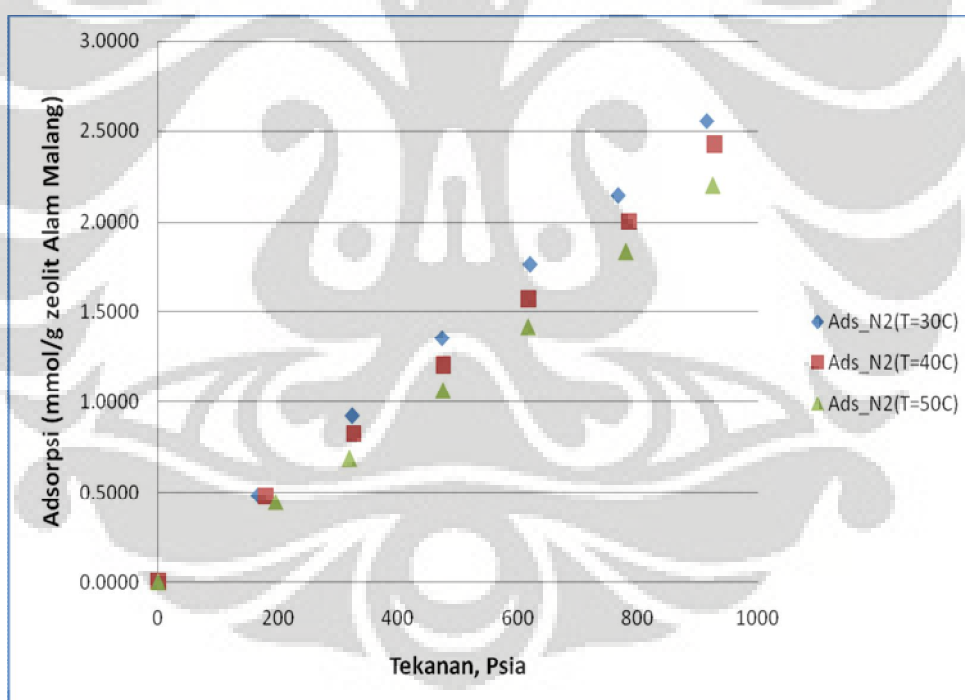
Dalam penelitian ini, uji adsorpsi dilakukan dengan variasi temperatur dan tekanan sehingga dapat diketahui dari dua variabel bebas tersebut terhadap kapasitas adsorpsi yang akan terjadi.

Adsorpsi tekanan tinggi dilakukan pada zeolit alam Malang yang dilakukan pada temperatur 30°, 40° dan 50°C. Untuk setiap isotherm, adsorpsi dilakukan untuk beberapa tekanan pada tekanan 150 hingga 900 Psia. Pada setiap tekanan diambil data tekanan awal dan tekanan akhir pada *dozing cylinder* dan tekanan akhir pada *sampling cylinder*. Dimana dari data tekanan awal dan tekanan

akhir *dozing cylinder* diperoleh jumlah mol adsorbat N_2 dan CH_4 yang dimasukkan ke dalam *sampling cylinder*. Sedangkan dari tekanan akhir *sampling cylinder* akan diperoleh mol N_2 dan CH_4 yang teradsorp dengan menggunakan persamaan [3.4]. Dimana dalam hal ini tekanan yang dicatat adalah tekanan yang tepat berubah ketika valve ditutup. Hal ini untuk meminimalisir kesalahan dalam mengambil data tekanan.

Data adsorpsi diambil pada beberapa tekanan dengan tujuan untuk memperoleh data jumlah mol gas N_2 ataupun gas CH_4 yang teradsorp seiring dengan meningkatnya tekanan. Data hasil penelitian adsorpsi untuk masing-masing adsorbat pada satu sampel adsorben pada tiga variasi suhu $30^\circ C$, $40^\circ C$ dan $50^\circ C$ dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

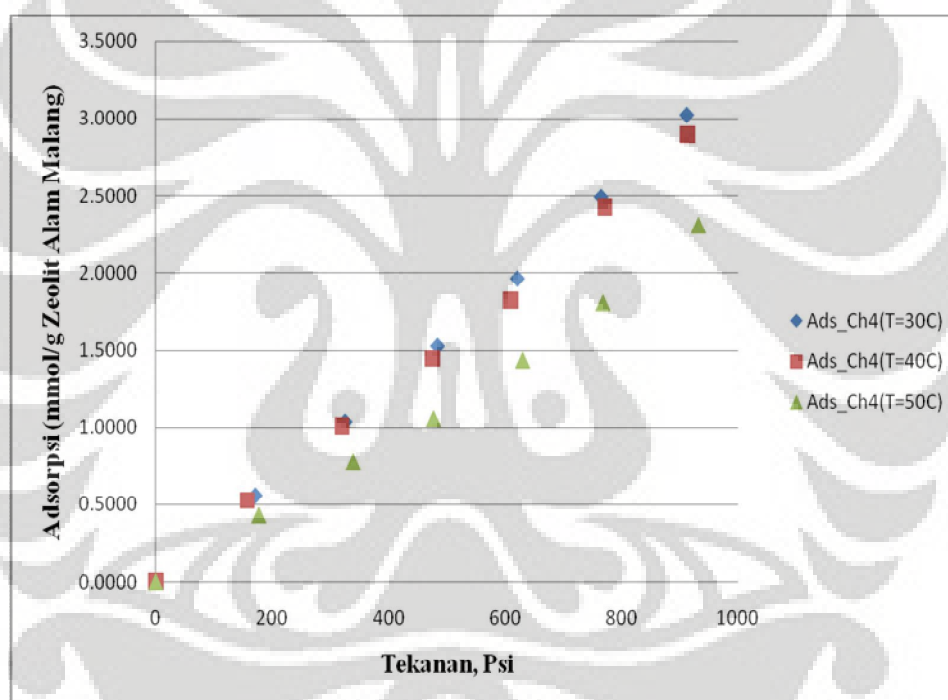
Gambar 4.4 dan 4.5 menunjukkan grafik jumlah Nitrogen dan Metana yang teradsorpsi dengan menggunakan sampel Zeolit Alam Malang dengan variasi temperatur dan tekanan.



Gambar 4.4. Adsorpsi Gibbs N_2 pada Zeolit Alam Malang

Dari Gambar 4.4, kita melihat bahwa untuk adsorpsi Nitrogen pada tekanan yang sama dengan suhu yang semakin menurun, didapatkan data eksperimen bahwa semakin banyak gas nitrogen yang teradsorp oleh Zeolit Alam Malang. Dimana pada suhu $30^\circ C$ banyaknya gas N_2 yang teradsorp lebih banyak

dibandingkan dengan saat suhu 40°C dan 50°C, sedangkan untuk suhu 40°C didapatkan lebih banyak N₂ teradsorp pada Zeolit Alam Malang dibandingkan dengan saat suhu 50°C. Hal ini sesuai dengan teori pada tinjauan pustaka bahwa temperatur akan mempengaruhi banyaknya adsorbat yang teradsorpsi dalam adsorben dimana kebanyakan proses adsorpsi mengeluarkan panas (eksoterm), sehingga jumlah adsorbat yang teradsorpsi akan bertambah dengan menurunnya suhu dan juga hal ini dipengaruhi oleh tumbukan yang terjadi pada molekul-molekul adsorbat dengan adsorban yang disebabkan oleh suhu, dimana dengan menaiknya suhu maka energi kinetik rata-ratanya bertambah dan menyebabkan molekul adsorbat yang akan diadsorpsi oleh adsorban bergerak dengan cepat sehingga sulit untuk adsorban dalam mengadsorpsi molekul adsorbat tersebut.



Gambar 4.5. Adsorpsi Gibbs CH₄ pada Zeolit Alam Malang

Sama halnya dengan penjelasan Gambar 4.4, pada Gambar 4.5 juga memberikan gambaran bahwa dengan bertambahnya suhu pada suatu tekanan yang sama, maka memberikan data bahwa daya adsorpsi dari zeolit juga akan berkurang dalam hal jumlah gas metana yang teradsorpsi ke dalam zeolit. Hal ini terjadi karena pergerakan molekul gas lebih cepat sehingga cenderung sulit untuk teradsorpsi. Sebaliknya jika pergerakan molekul adsorbat lebih lambat dan keadaannya lebih mampat maka akan semakin mudah teradsorpsi.

Pengaruh tekanan juga mempengaruhi besarnya adsorpsi gas metana ini, seiring dengan besarnya tekanan maka kapasitas adsorpsi akan meningkat secara beriringan hingga tekanan 900 Psia. Peningkatan tekanan akan mengakibatkan pergerakan molekul adsorbat menjadi terbatas dan mampat sehingga densitas adsorbat pun meningkat. Selain itu, adsorbat juga akan mengalami gaya dorong untuk mengadsorpsi ke dalam pori-pori suatu adsorben. Namun, jika tekanan semakin tinggi lagi maka secara teoritis akan menyebabkan jumlah N_2 atau CH_4 yang teradsorpsi akan menurun pada tekanan optimum adsorbat tersebut teradsorpsi. Hal ini disebabkan karena dalam hal ini adsorpsi yang dipakai adalah adsorpsi Gibbs dimana pada adsorpsi ini jumlah gas yang telah teradsorpsi terlebih dahulu di adsorben tidak diperhitungkan. Selain itu, pada tekanan rendah, densitas gas sangat kecil (jauh lebih kecil daripada densitas adsorpsi) sehingga $\frac{\rho_{gas}}{\rho_{ads}}$ bisa dianggap nol dan n_{Gibbs} sama dengan $n_{absolute}$ sehingga n_{Gibbs} terus mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan tekanan. Namun, pada tekanan tinggi, $\frac{\rho_{gas}}{\rho_{ads}}$ tidak bisa dianggap nol sehingga nilai n_{Gibbs} akan menurun seiring dengan kenaikan tekanan walaupun harga $n_{absolute}$ cenderung konstan.

4.6 Representasi Model BET Terhadap Data Percobaan

Pada pengujian adsorpsi tekanan tinggi terhadap gas nitrogen dan gas metana dengan model BET (Brunauer, Emmet, dan Teller) dari jenis sampel zeolit alam Malang ini diperlukan adanya suatu parameter-parameter yang akan digunakan dalam perhitungan. Parameter – parameter tersebut diantaranya parameter perbandingan kekuatan ikatan pada permukaan adsorben dan pada lapisan adsorbat *monolayer* didefinisikan sebagai konstanta c , parameter volume gas teradsorpsi maksimum didefinisikan sebagai V_m , dan parameter tekanan jenuh adsorbat gas pada temperatur percobaan didefinisikan sebagai P^0 . Dimana parameter-parameter tersebut dipengaruhi oleh temperatur. Tabel 4.2 dan 4.3 menunjukkan hasil perhitungan untuk setiap jenis zeolit diperoleh parameter-parameter tersebut pada ketiga temperatur pada dua jenis adsorbat.

Tabel 4.2. Optimasi Parameter untuk Merepresentasikan Model BET Pada Adsorpsi Gas Nitrogen dalam Zeolit Alam Malang.

T(°C)	c	Vm	P°
30	10.28	41.26	1001.87
40	14.54	27.36	1026.13
50	16.19	20.99	1000.99

Tabel 4.3. Optimasi Parameter untuk Merepresentasikan Model BET Pada Adsorpsi Gas Metana dalam Zeolit Alam Malang.

T(°C)	c	Vm	P°
30	21.75	22.37	999.98
40	21.77	21.85	999.98
50	17.42	17.73	999.96

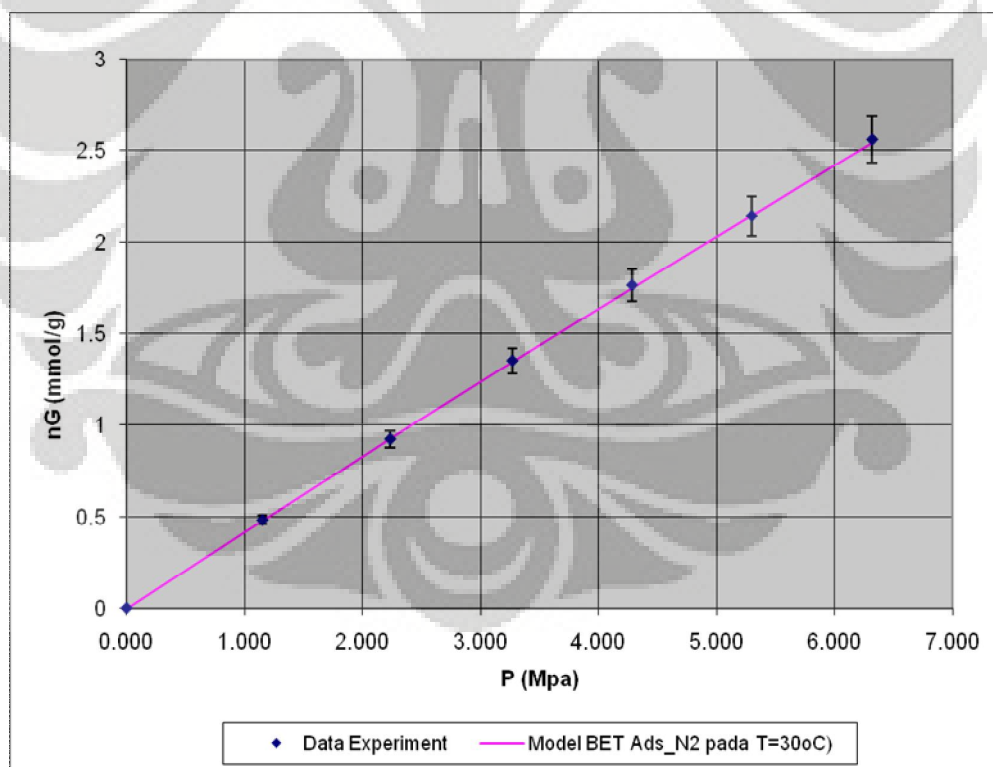
Pada parameter diatas terdapat bahwa data untuk parameter c , baik untuk jenis adsorbat untuk gas nitrogen maupun metana diperoleh kesimpulan bahwa nilai c semakin besar dengan menurunnya suhu, hal ini juga sesuai untuk teoritis perhitungannya dimana untuk mencari konstanta c , dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$c = e^{(E_1 - E_2)/RT}$$

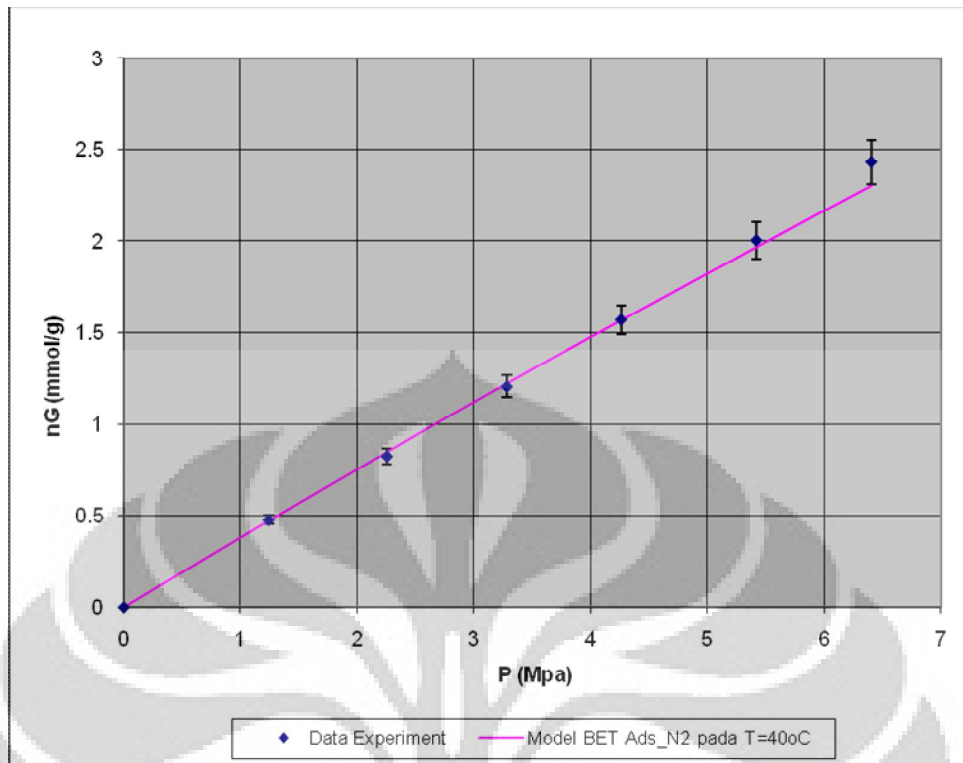
Dari persamaan diatas, kita dapat mengestimasi bahwa apabila memasukkan nilai suhu lebih besar dalam persamaan diatas, maka akan mendapatkan nilai konstanta yang besar bila dibandingkan dengan memasukkan nilai suhu yang lebih kecil. Namun terdapat satu penyimpangan nilai parameter c dimana untuk adsorbat gas metana pada kondisi suhu 50°C diperoleh harga nilai c yang lebih kecil dibandingkan dengan harga c pada kondisi suhu 30°C dan 40°C.

Untuk parameter V_m dapat didapatkan bahwa dengan menurunnya suhu akan menyebabkan kapasitas maksimum dari gas yang diadsorpsi baik nitrogen maupun metana akan bertambah besar. Hal ini dikarenakan karena nilai V_m bergantung pada karakteristik adsorbat. Pada proses adsorpsi fisika, adsorbat akan memiliki kecenderungan untuk teradsorpsi pada temperatur yang lebih rendah. Pada temperatur yang rendah terutama temperatur yang mendekati normal *boiling point* atau *triple point* untuk N_2 dan CH_4 . Adsorbat akan bersifat sebagai cairannya sehingga lebih mudah teradsorpsi. Namun pada temperatur yang lebih tinggi adsorbat akan bersifat sebagai gas yang memiliki ikatan yang lebih renggang dan cenderung sulit teradsorpsi. Hal ini yang mengakibatkan nilai parameter ini semakin kecil dengan meningkatnya temperatur.

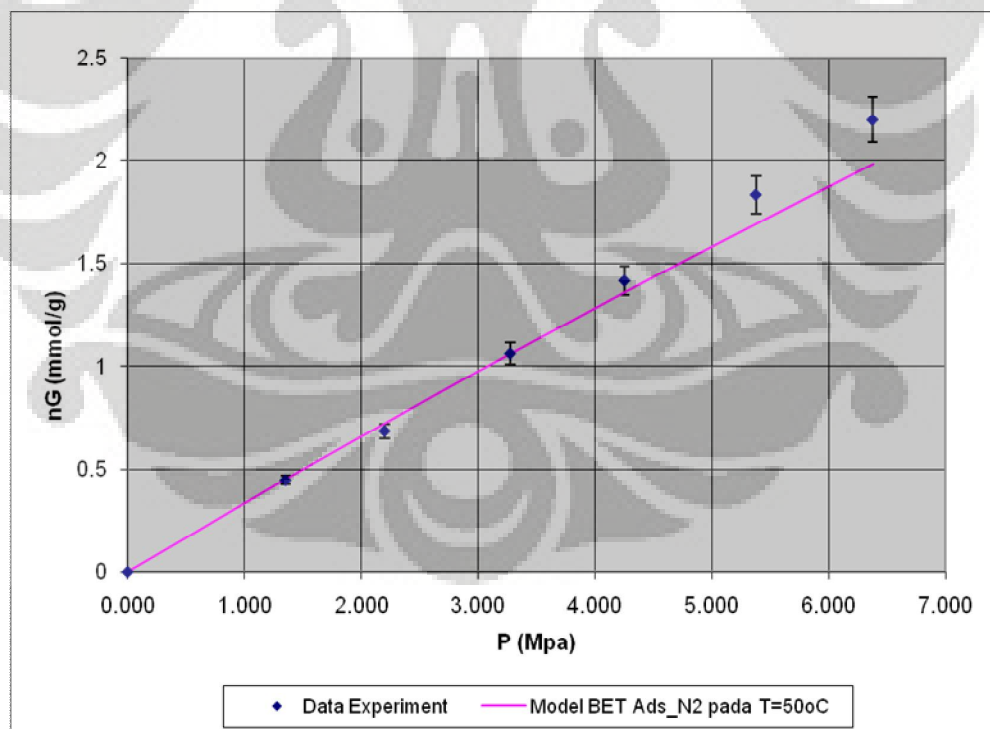
Adapun Gambar 4.6, 4.7 dan 4.8 menunjukkan representasi model BET pada hasil eksperimen uji adsorpsi nitrogen pada berbagai kondisi suhu dan Gambar 4.9, 4.10, dan 4.11 menunjukkan representasi model BET pada hasil eksperimen uji adsorpsi metana, mulai dari suhu 30°C , 40°C , dan 50°C .



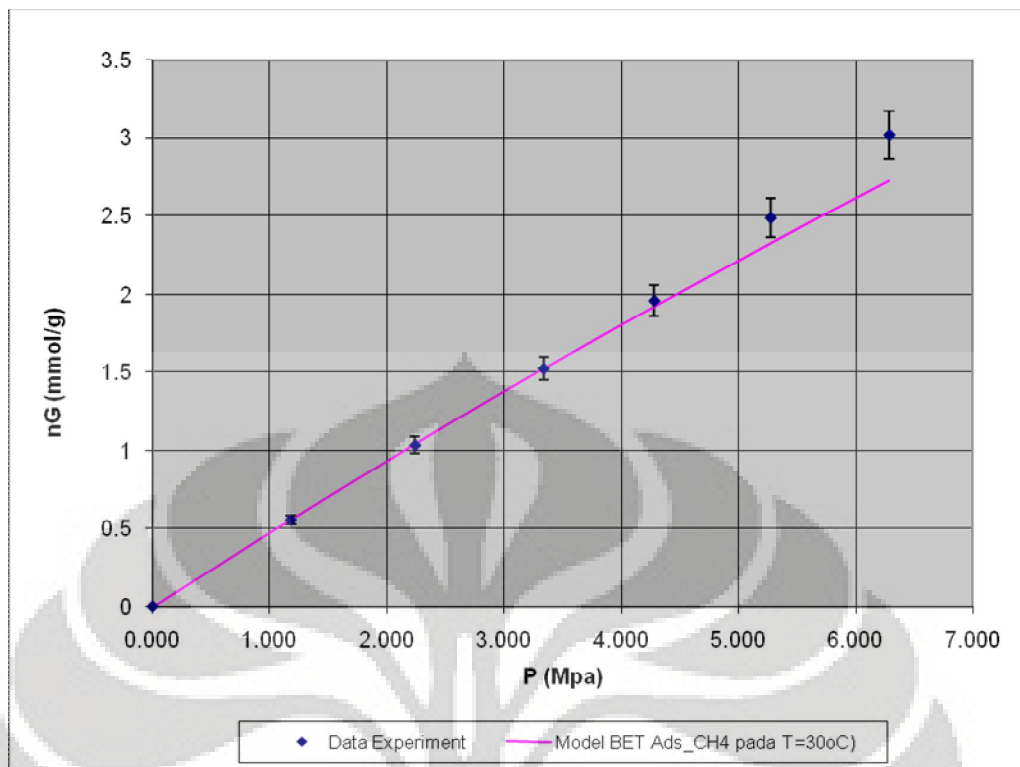
Gambar 4.6. Adsorpsi Model BET N_2 pada Zeolit Alam Malang ($T=30^\circ\text{C}$)



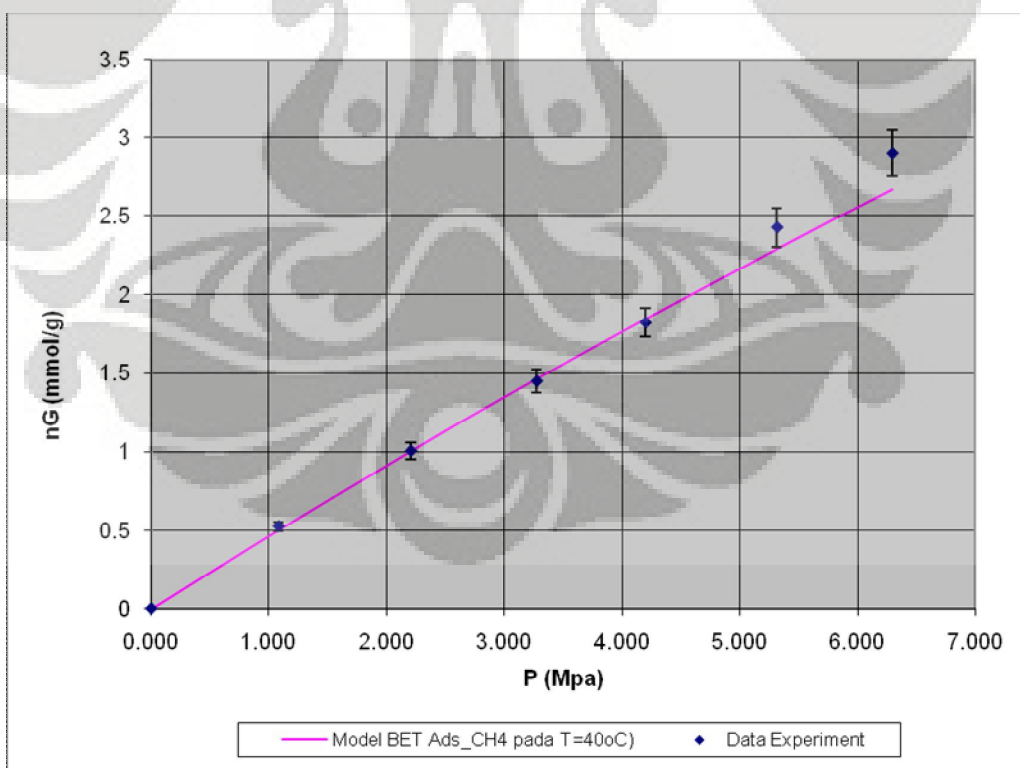
Gambar 4.7. Adsorpsi Model BET N₂ pada Zeolit Alam Malang (T=40°C)



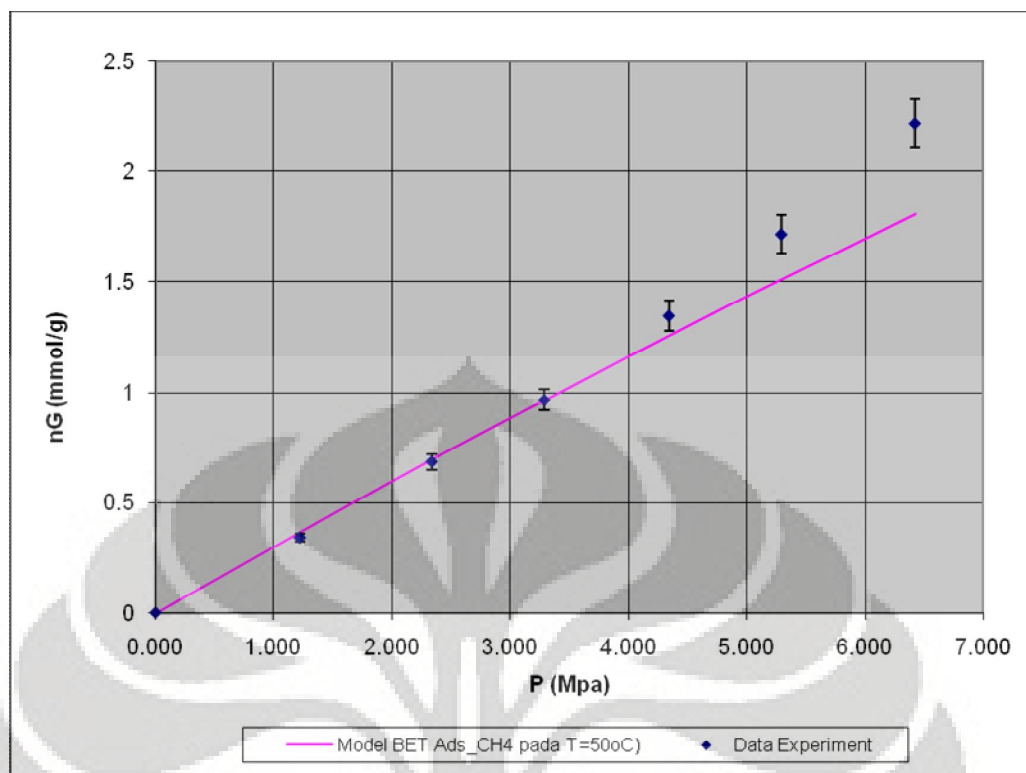
Gambar 4.8. Adsorpsi Model BET N₂ pada Zeolit Alam Malang (T=50°C)



Gambar 4.9. Adsorpsi Model BET CH₄ pada Zeolit Alam Malang (T=30°C)



Gambar 4.10. Adsorpsi Model BET CH₄ pada Zeolit Alam Malang (T=40°C)



Gambar 4.11. Adsorpsi Model BET CH_4 pada Zeolit Alam Malang ($T=50^\circ\text{C}$)

Dari gambar tersebut terlihat bahwa kurva adsorpsi model BET dapat merepresentasikan data adsorpsi hasil percobaan dengan cukup baik. Hampir semua data adsorpsi model BET pada tekanan tertentu yang ditunjukkan oleh garis pada kurva sama atau mendekati data adsorpsi hasil percobaan yang ditunjukkan oleh titik-titik pada kurva.

Tabel 4.4 dan 4.5 dibawah ini menunjukkan penyimpangan atau deviasi model adsorpsi BET terhadap data adsorpsi Gibbs yang diperoleh dari penelitian terhadap jenis adsorban Zeolit Alam Malang pada berbagai kondisi suhu.

Tabel 4.4. Penyimpangan Adsorpsi Model BET Gas N_2
Terhadap Adsorpsi Gibbs Penelitian

Suhu Operasi ($^\circ\text{C}$)	% AAPD
30	0.35
40	1.74
50	2.97
Rata-rata	1.69

Tabel 4.5. Penyimpangan Adsorpsi Model BET Gas CH₄
Terhadap Adsorpsi Gibbs Penelitian

Suhu Operasi (°C)	% AAPD
30	2.91
40	2.88
50	6.68
Rata-rata	4.16

Dari tabel tersebut di dapat bahwa rata-rata deviasi untuk adsorpsi N₂ (nitrogen) adalah 1,69% , sedangkan untuk adsorpsi CH₄ (metana) adalah 4,16%. Penyimpangan tersebut dapat disebabkan oleh kesalahan saat percobaan adsorpsi isothermis nitrogen maupun metana. Kesalahan tersebut diantaranya *valve* tidak tepat tertutup ketika tekanannya tepat berubah sehingga tekanan di dalam silinder tidak lagi sama dengan tekanan yang ditunjukkan pada *pressure gauge*. Kesalahan lainnya adalah sangat sensitifnya *pressure gauge* saat digunakan untuk membaca tekanan baik pada *dozing* maupun *sampling cylinder*, dimana ketika ada suatu sentuhan tidak langsung terhadap *pressure gauge* terutama saat percobaan adsorpsi isotherm berlangsung. Kesalahan berikutnya adalah di dalam silinder tidak hanya terdapat gas adsorbat tertentu (gas N₂ atau gas CH₄) yang ingin diadsorpsi oleh zeolit alam Malang, tetapi juga terdapat gas helium sisa kalibrasi volume void pada percobaan uji adsorpsi nitrogen ataupun gas nitrogen sisa saat percobaan adsorpsi pada uji adsorpsi metana. Untuk menghindari kesalahan ini seharusnya pada setiap silinder dipasang pompa vakum untuk mengeluarkan gas-gas dari dalam silinder.

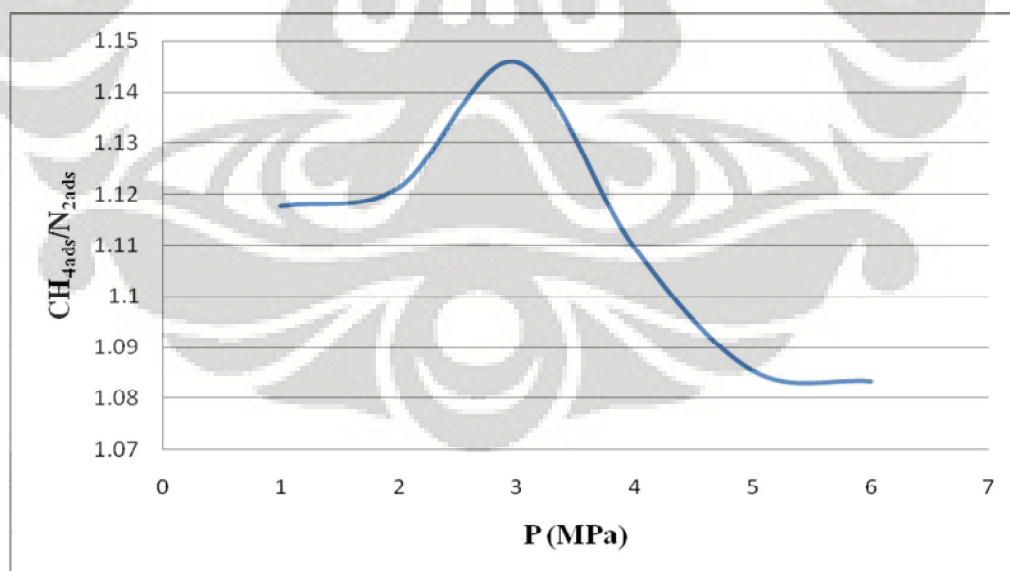
4.7 Selektivitas Zeolit Alam Malang dalam Mengadsorpsi Nitrogen atau Metana Berdasarkan Grafik Model BET

Pada grafik model BET pada Gambar 4.6 sampai Gambar 4.11 diatas, kita dapat mengetahui selektivitas daya adsorpsi dari zeolit alam Malang terhadap adsorpsi nitrogen dan metana pada tekanan yang sama untuk tiap isotherm, dimana ditunjukkan suatu hasil bahwa daya adsorpsi dari zeolit pada suhu 30°C dan 40°C, lebih kuat dalam mengadsorpsi gas metana dibandingkan dengan mengadsorpsi gas

nitrogen. Lebih jelasnya hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 dibawah ini yang menunjukkan bahwa pada tekanan yang sama daya adsorpsi zeolit alam Malang terhadap gas metana lebih besar dibandingkan dengan gas nitrogen. Adapun bila perbandingan jumlah CH_4_{ads}/N_2_{ads} dihubungkan dengan tekanan (P) maka diperoleh grafik seperti di tunjukkan pada Gambar 4.12 dan 4.13.

Tabel 4.6. Selektivitas Zeolit Alam Malang dalam Mengadsorpsi Nitrogen dan Metana Pada $T = 30^{\circ}C$

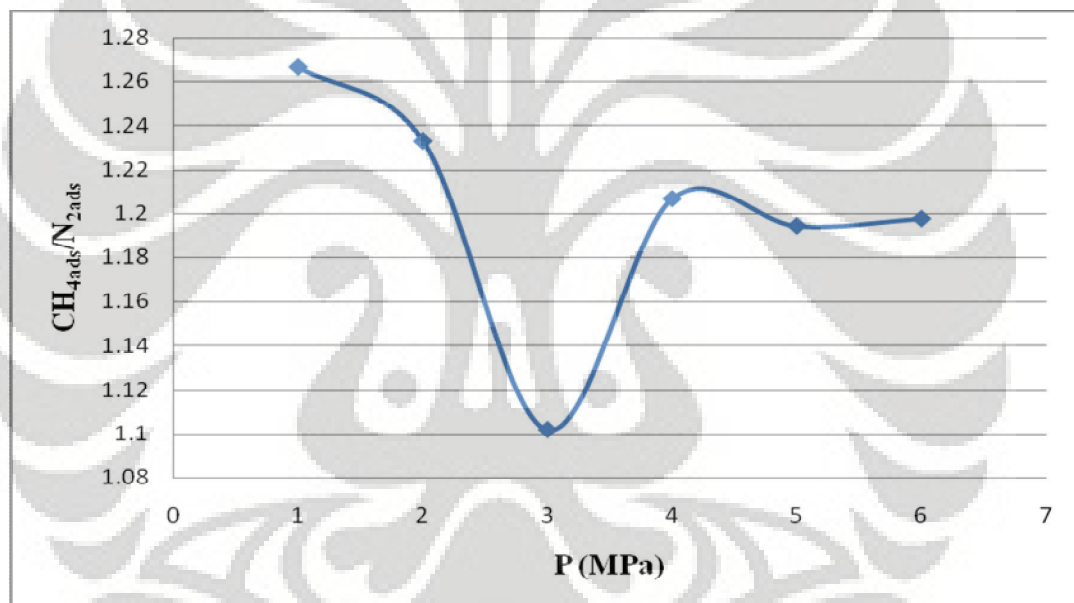
P (Mpa)	n _{Ads} (mmol/g zeolit)		$\frac{mmol CH_4 ads}{mmol N_2 ads}$
	N ₂	CH ₄	
1	0.425	0.475	1.1176
2	0.825	0.925	1.1212
3	1.200	1.375	1.1458
4	1.600	1.775	1.1094
5	2.050	2.225	1.0854
6	2.400	2.600	1.0833



Gambar 4.12. Selektivitas Zeolit Alam Malang Terhadap Adsorpsi CH_4 dan N_2 ($T=30^{\circ}C$)

Tabel 4.7. Selektivitas Zeolit Alam Malang dalam Mengadsorpsi Nitrogen dan Metana Pada $T = 40^{\circ}\text{C}$

P (Mpa)	n _{Ads} (mmol/g zeolit)		$\frac{m m o l C H _ 4 a d s}{m m o l N _ 2 a d s}$
	N ₂	CH ₄	
1	0.375	0.475	1.2667
2	0.750	0.925	1.2333
3	1.225	1.350	1.1020
4	1.450	1.750	1.2069
5	1.800	2.150	1.1944
6	2.150	2.575	1.1977



Gambar 4.13. Selektivitas Zeolit Alam Malang Terhadap Adsorpsi CH₄ dan N₂ ($T=40^{\circ}\text{C}$)

Pada Gambar 4.12 untuk kondisi isotermis 30°C , diperoleh suatu grafik yang menunjukkan saat tekanan 3 MPa dengan adanya perbandingan maksimum daya adsorpsi dari zeolit terhadap metana dan nitrogen dengan perbandingan $\text{CH}_{4\text{ads}}/\text{N}_{2\text{ads}} = 1,15$.

Pada grafik 4.13 untuk kondisi isotermis 40°C , didapatkan perbandingan $\text{CH}_{4\text{ads}}/\text{N}_{2\text{ads}}$ semakin menurun pada tekanan tinggi dan didapatkan kondisi rasio maksimum saat 1 Mpa, dengan perbandingan daya adsorpsi dari zeolit terhadap metana dan nitrogen dengan perbandingan $\text{CH}_{4\text{ads}}/\text{N}_{2\text{ads}} = 1,27$.

Fenomena tersebut diatas bisa terjadi karena beberapa faktor dalam perbedaan jenis adsorbat yang mungkin mempengaruhi daya adsorpsi Zeolit Alam Malang tersebut, seperti ukuran interaksi molekul adsorbat ataupun kepolaran zat tersebut. Dalam hal ukuran molekul adsorbat secara teoritis dikatakan bahwa ukuran molekul yang sesuai merupakan hal yang penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben, dimana ukuran diameter molekul CH_4 adalah $3,78 \text{ \AA}$ dan diameter molekul N_2 adalah $3,71 \text{ \AA}$. Adapun mungkin daya adsorpsi Zeolit Alam Malang lebih tinggi pada gas metana karena interaksi molekul gas pada metana yang lebih kuat terikat pada pori-pori zeolit dibandingkan dengan molekul gas nitrogen, meskipun nitrogen mempunyai diameter yang lebih kecil atau dapat dikatakan hampir sama dengan diameter pada metana

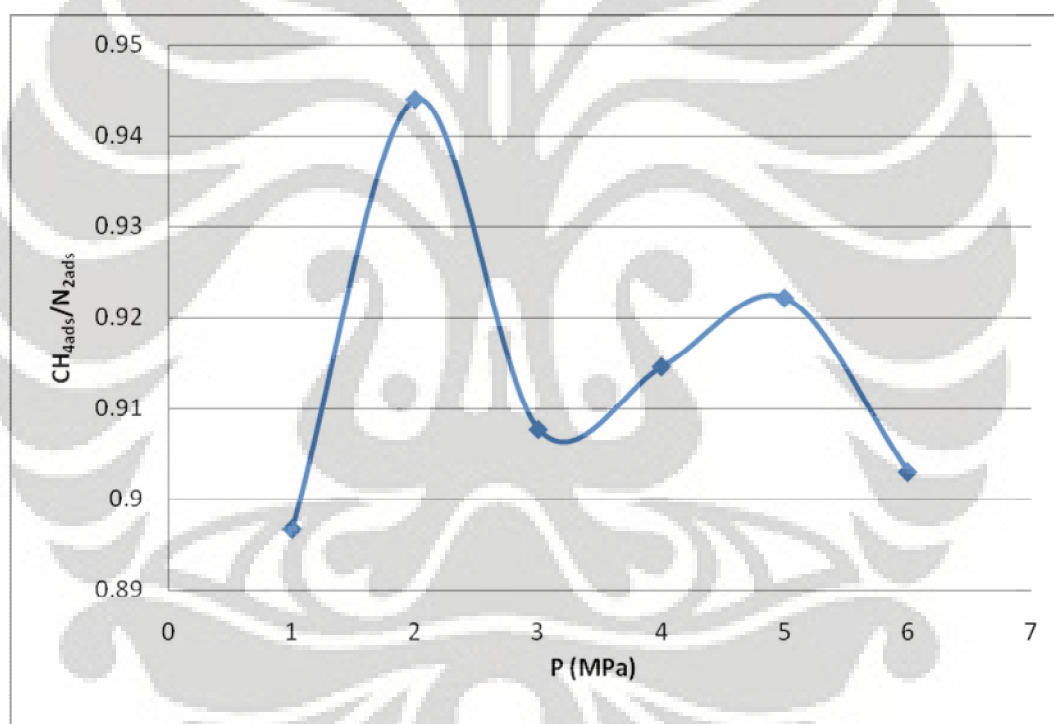
Dalam hal lainnya seperti kepolaran zat, dikatakan bahwa apabila berdiameter sama, molekul-molekul polar yang lebih kuat diadsorpsi daripada molekul-molekul yang kurang polar. Molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar yang telah lebih dahulu diadsorpsi. Disini dua jenis adsorbat baik metana dan nitrogen adalah dua senyawa yang bersifat non-polar, tetapi karena sifat dari metana yang lebih bersifat agak polar dibandingkan dengan senyawa non-polar lainnya dalam hal ini nitrogen, sehingga menyebabkan molekul-molekul gas metana lebih kuat diadsorpsi dibandingkan dengan molekul-molekul gas nitrogen.

Fenomena yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 4.14, dimana grafik ini menunjukkan bahwa pada kondisi suhu 50°C , daya adsorpsi zeolit alam Malang terhadap metana ternyata kurang kuat bila dibandingkan dengan daya adsorpsi terhadap nitrogen.

Berikut Tabel 4.8 di bawah ini akan menunjukkan bagaimana daya adsorpsi dari zeolit alam Malang terhadap gas nitrogen dan metana.

Tabel 4.8. Selektivitas Zeolit Alam Malang dalam Mengadsorpsi Nitrogen dan Metana Pada $T = 50^{\circ}\text{C}$

P (Mpa)	n _{Ads} (mmol/g zeolit)		$\frac{\text{mmol CH}_4 \text{ ads}}{\text{mmol N}_2 \text{ ads}}$
	N ₂	CH ₄	
1	0.339	0.304	0.8968
2	0.643	0.607	0.9440
3	0.964	0.875	0.9077
4	1.265	1.157	0.9146
5	1.568	1.446	0.9222
6	1.856	1.676	0.9030



Gambar 4.14. Selektivitas Zeolit Alam Malang Terhadap Adsorpsi CH₄ dan N₂ ($T=50^{\circ}\text{C}$)

Pada Gambar 4.14 pada kondisi isotherm 50°C , menunjukkan bahwa adsorpsi metana lebih rendah daripada adsorpsi nitrogen. Hal ini kemungkinan disebabkan karena gas metana lebih sensitive pada temperatur ini, dimana pada suhu yang lebih rendah gaya tarik-menarik antara metana dengan zeolit lebih dominan sedangkan pada suhu yang lebih tinggi menyebabkan gerakan molekul

Universitas Indonesia

metana lebih dominan dan lebih lincah bergerak sehingga gaya tarik-menarik antara metana dengan zeolit tidak begitu dominan.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

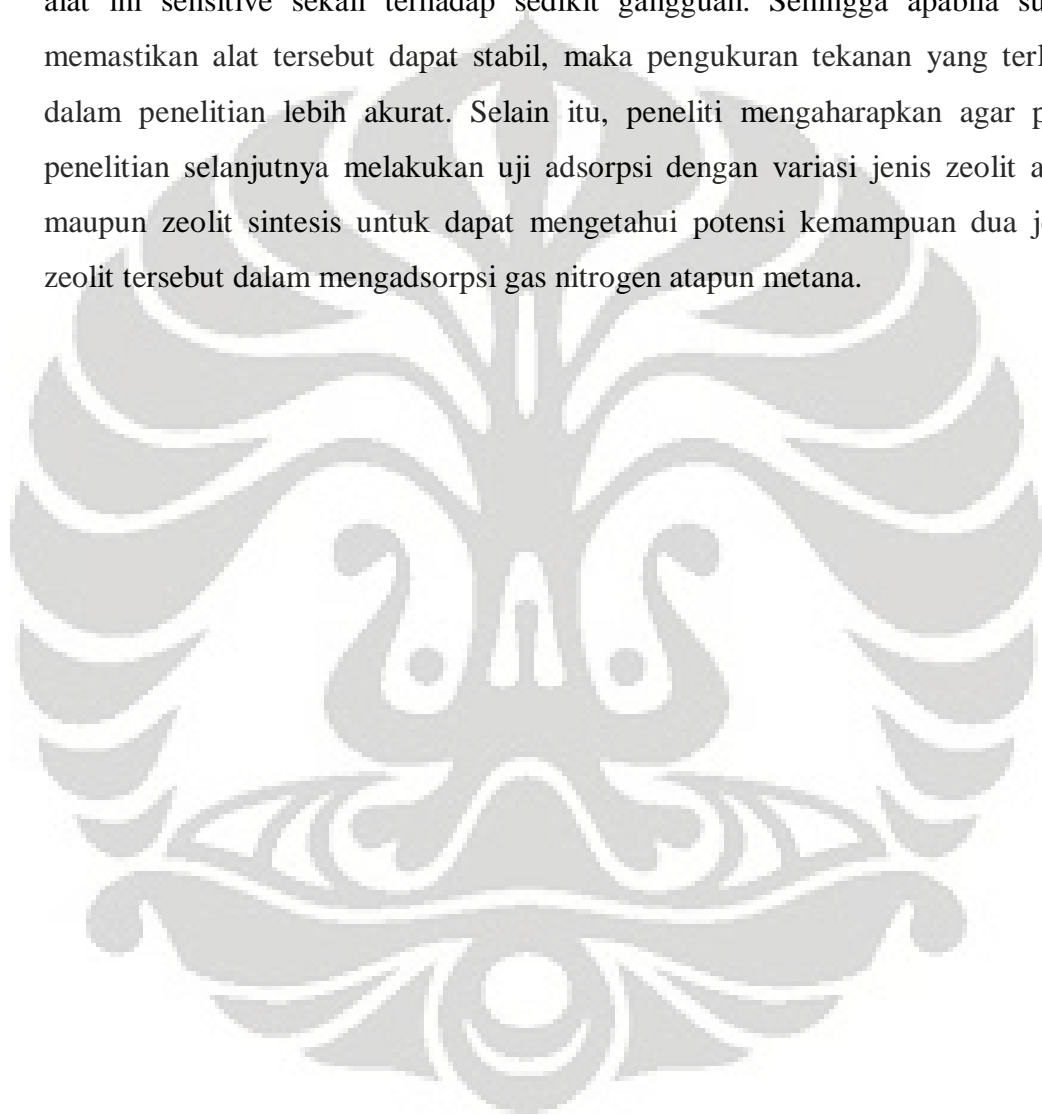
Maka kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Pada tekanan yang sama saat tekanan ± 6 MPa (± 900 Psia), kapasitas adsorpsi gas nitrogen pada temperatur 30°C adalah $2,55$ mmol/g, pada temperatur 40°C adalah $2,43$ mmol/g, dan pada temperatur 50°C adalah $2,20$ mmol/g, hal ini menandakan bahwa kapasitas adsorpsi zeolit alam Malang terhadap nitrogen lebih besar saat suhu 30°C dibandingkan dengan 40°C dan 50°C .
- Pada tekanan yang sama saat tekanan ± 6 MPa (± 900 Psia), kapasitas adsorpsi gas metana pada temperatur 30°C adalah $3,02$ mmol/g, pada temperatur 40°C adalah $2,90$ mmol/g, dan pada temperatur 50°C adalah $2,22$ mmol/g, hal ini menandakan bahwa kapasitas adsorpsi zeolit alam Malang terhadap metana lebih besar saat suhu 30°C dibandingkan dengan 40°C dan 50°C .
- Pemodelan BET gas nitrogen dan metana yang teradsorpsi dalam zeolit alam Malang dapat merepresentasikan data hasil percobaan dengan cukup baik, dengan persentase deviasi (% AAPD) rata-rata untuk jenis adsorbat gas nitrogen adalah $1,69\%$ dan gas metana adalah $4,16\%$.
- Selektivitas zeolit alam Malang dalam mengadsorpsi gas metana dibandingkan dengan mengadsorpsi gas nitrogen pada kondisi isoterm diperoleh kesimpulan bahwa pada suhu 30°C Pada saat tekanan 3 MPa adanya perbandingan maksimum daya adsorpsi dari zeolit terhadap metana dan nitrogen dengan perbandingan $\text{CH}_{4\text{ads}}/\text{N}_{2\text{ads}} = 1,15$, Pada kondisi suhu 40°C , didapatkan perbandingan $\text{CH}_{4\text{ ads}}/\text{N}_{2\text{ ads}}$ semakin menurun pada tekanan tinggi dan didapatkan kondisi rasio maksimum saat 1 Mpa, dengan perbandingan daya adsorpsi dari zeolit terhadap metana dan nitrogen dengan perbandingan $\text{CH}_{4\text{ads}}/\text{N}_{2\text{ads}} = 1,27$ dan fenomena yang berbeda ditunjukkan pada kondisi suhu 50°C , daya adsorpsi zeolit alam Malang terhadap metana

ternyata kurang kuat bila dibandingkan dengan daya adsorpsi terhadap nitrogen.

5.2 Saran

Untuk penelitian berikutnya, peneliti menyarankan agar memastikan terlebih dahulu kestabilan alat pembaca tekanan (*pressure gauge digital*), karena alat ini sensitive sekali terhadap sedikit gangguan. Sehingga apabila sudah memastikan alat tersebut dapat stabil, maka pengukuran tekanan yang terlihat dalam penelitian lebih akurat. Selain itu, peneliti mengharapkan agar pada penelitian selanjutnya melakukan uji adsorpsi dengan variasi jenis zeolit alam maupun zeolit sintesis untuk dapat mengetahui potensi kemampuan dua jenis zeolit tersebut dalam mengadsorpsi gas nitrogen ataupun metana.



DAFTAR PUSTAKA

- Amri, Amun, Supranto dan M. Fahrurrozi. (2004). Kesetimbangan Adsorpsi Optional Campuran Biner Cd (II) dan Cr (III) dengan Zeolit Alam Terimpregnasi 2-merkaptobenzotiazol. *Jurnal Natur Indonesia*; 111-117.
- Arbuznikov, A. V. Vasiley and A. Goursot. (1998). Relationship between the Structure of Zeolite and its Adsorption Process. *Journal Surface Science*; 395-405.
- Atmayudha, Ardhana. (2007). Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa dengan Perlakuan Aktivasi Terkontrol Serta Uji Kinerjanya. Skripsi. Departemen Teknik Kimia FT UI.
- Basuki, Kris Tri. (2007). Penurunan Konsentrasi CO dan NO₂ Pada Emisi Gas Buang dengan Menggunakan Media Penyisipan TiO₂ Lokal Pada Karbon Aktif. *JFN*, Vol. 1, Mei 2007.
- Campbell, John M. (1976). *Gas Conditioning and Processing*. Norman, Oklahoma Campbell Petroleum Series.
- Chandra, Andreas. (2006). Studi Kinerja Proses Adsorpsi Hidrokarbon dalam Air Buangan dengan Unggun Tereksansi Karbon Aktif. Skripsi. Departemen Teknik Kimia FT UI.
- Chumaidi, Achmad. Studi Pembuatan Katalis Zeolit untuk Reaksi Metanol Menjadi Gasoline dan Bahan Zeolit Alam. ITS Union Catalogue. Diakses 8 Desember 2007.
- (<http://library.its.ac.id/harvester/index.php/record/view/5461>)
- Coulson, J. M. and Richardson, J. F..(1997). *Chemical Engineering* Vol. 2. New York: Pergamon Press.
- Darmawan. (1985). Adsorpsi gas N₂ oleh Zeolit. Skripsi . Departemen Kimia FMIPA UI.
- Do, D.D..(1998). *Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics*. London: Imperial College Press.

- Ellyana, Meta. (2007). Modifikasi Zeolit Alam Lampung dengan Fotokatalis TiO₂ Melalui Metode Sol Gel untuk Penyisihan Fenol. Departemen Teknik Kimia FT UI.
- Handoko, D. Setyawan P..(2002). Pengaruh Perlakuan Asam, Hidrotermal dan Impregnasi Logam Kronium Pada Zeolit Alam dalam Preparasi Katalis. Jurnal ILMU DASAR, Vol. 3, 103-109.
- Himenz, Paul C. and Raj Rajagopalan. (1997). *Principles of Colloid and Surface Chemistry (3th ed.)*. USA: Marcel Dekker Inc.
- Husnil, Yuli Amalia. (2005). Evaluasi Model Kisi Ono-Kondo Pada Adsorpsi Gas Tekanan Tinggi. Departemen Teknik Kimia FT UI.
- Kasih, Tota Pirdo. (1998). Studi Kinetika Reaksi Adsorpsi SO₂ dengan CuO-Zeolit Alam. Skripsi. Departemen Teknik Kimia FT UI.
- Khaeruddin, Jauhar Maghza, Edo Cathaputra dan Haryo Pandu Winoto. (2007). Produksi Isopropil Alkohol Murni untuk Aditif Bensin yang Ramah Lingkungan sebagai Wujud Pemanfaatan Produk Samping pada Industri Gas Alam. Departemen Teknik Kimia FT ITB.
- L., Arief Agung. (2008). Pengukuran dan Pemodelan Kapasitas Adsorpsi Tekanan Tinggi Gas Nitrogen Pada Batubara dengan Model Ono-Kondo. Seminar. Departemen Teknik Kimia FT UI.
- Mulyati, Sri. (2006). Potensi Batubara Lokal dengan Perlakuan sebagai Adsorben untuk Penanganan Limbah Cair Benzena dan Toluena. Skripsi. Departemen Teknik Kimia FT UI.
- Oscik, J.. (1982). *Adsorption*. England: Ellis Horwood.
- Pabhassaro, Doni. (2008). Pengembangan Model Adsorpsi Tekanan Tinggi Terhadap Gas Metana Untuk Memprediksi Potensi Coalbed Methane Indonesia sebagai Sumber Energi Baru. Skripsi. Departemen Teknik Kimia FT UI.
- Parikesit, Eko Setiawan. (2003). Karakteristik Zeolit Alam Yogya dan Zeolit Alam Lampung. Skripsi. Departemen Kimia FMIPA UI.
- Perwitasari, Ayu Adi. (2007). Penentuan Luas Permukaan Zeolit Menggunakan Metode Adsorpsi Isotermis Superkritis CO₂ Dengan Model ONO-KONDO. Skripsi. Departemen Teknik Kimia FT UI.

- Ramadhania. (2007). Pengembangan Model Adsorpsi CO₂ untuk Prediksi Potensi Coalbed Indonesia sebagai Media Penyimpan Gas Rumah Kaca. Seminar. Departemen Teknik Kimia FT UI.
- Reid, Robert C., John M. Prausnitz and Bruce E. Poling. (1987). *The Properties of Gases and Liquids (4th ed.)*. Singapore: McGraw-Hill.
- Ruthven, Douglas M., Shamsuzzaman Farooq and Kent S. Knaebel. (1994). *Pressure Swing Adsorption*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Ruthven, Douglas M. (1984). *Principles of Adsorption and Adsorption Processes*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Setioningsih, Adriani. (1986). Pemanfaatan Mineral Zeolit Bayah sebagai Penyaring Selektif Komponen Gas Alam. Skripsi. Departemen Kimia FMIPA UI.
- Sudibandriyo, M. and et al. (2003). *Adsorption of Methane, Nitrogen, Carbon Dioxide and their Binary Mixtures on Dry Activated Carbon at 318.2K and Pressure to 13.6 MPa*, *Langmuir* (13), 5323-5331.
- Suzuki, Motoyuki. (1990). *Adsorption Engineering*. Japan: Kodansha Ltd.
- Tsitsishvili, G.V. et al. (1992). *Natural Zeolit*. England: Ellis Horwood.
- Tuah, Bobby. (1997). Studi Awal Pemanfaatan CuO/ Zeolit Alam dengan Presipitasi untuk Adsorpsi SO₂ Secara Siklus. Skripsi. Departemen Teknik Kimia FT UI.
- Yang, Ralph T. (1997). *Gas Separation By Adsorption Processes*. London: Imperial College Press.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Perhitungan Uji Adsorpsi Gas N₂ di Dalam Zeolit Alam Malang (T=30°C)

	Uncalibrated*	Calibrated				N2	Adsorption on	Zeolite Alam Malang
Vvoid	15.06563818							
V dozing	486.7283				MW	28.00		
Dozing Temp	86	86						
Mass zeolite	81.32							
%moisture sample, mol H2O	0	0.0000						
R, gas constant	669.9542893	(psi cm ³)/(mol °R)						
Sampling Press*	0	167	324	474	621	768	916	
Calibrated	-1.5	165.8	323.1	473.4	620.5	767.7	915.7	
Initial P dozing	0	1006	964	932	903	1010	1025	
Final P dozing	1006	971	932	901	873	982	995	
Cal Final P dozing	1006.877642	971.8760085	932.871028	901.864693	873.8571622	982.87681	995.8774177	
Sampling Temp*	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	
Calibrated	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	
density _{cell} , (g/cm ³)	0.00E+00	1.28E-02	2.49E-02	3.64E-02	4.77E-02	5.89E-02	7.02E-02	
Z dozing awal		0.99992	0.99948	0.99917	0.99890	0.99996	1.00013	
Z dozing final		0.99992	0.99958	0.99917	0.99892	0.99869	0.99980	
Z _{cell}	0.99724	0.99851	0.99763	0.99724	0.99735	0.99797	0.99905	
n _{inj}	0.00000	0.04616	0.08841	0.12942	0.16915	0.20604	0.24553	
n _{unads}	-0.00006	0.00689	0.01338	0.01959	0.02566	0.03171	0.03779	
n _{solub}	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
n _{ads}	0.00000	0.03927	0.07502	0.10983	0.14349	0.17432	0.20775	
n _{adsgibbs} (mmol/g _{dryzeolite})	0.0000	0.4829	0.9226	1.3506	1.7645	2.1437	2.5547	

Lampiran 2. Hasil Perhitungan Uji Adsorpsi Gas N₂ di Dalam Zeolit Alam Malang (T=40°C)

	Uncalibrated*	Calibrated				N2	Adsorption on	Zeolite Alam Malang
Vvoid	15.06563818							
V dozing	486.7283				MW	28.00		
Dozing Temp	104	104						
Mass zeolite	81.32							
%moisture sample, mol H2O	0	0.0000						
R, gas constant	669.9542893	(psi cm ³)/(mol °R)						
Sampling Press*	0	180	327	476	618	786	929	
Calibrated	-1.5	178.9	326.1	475.4	617.5	785.7	928.8	
Initial P dozing	0	1058	1036	1010	981	952	1122	
Final P dozing	1058	1022	1009	981	953	919	1090	
Cal Final P dozing	1058.875115	1022.877495	1009.877657	981.876749	953.8741237	919.86863	1090.870617	
Sampling Temp*	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	
Calibrated	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	
density _{cell} , (g/cm ³)	0.00E+00	1.34E-02	2.43E-02	3.53E-02	4.58E-02	5.82E-02	6.87E-02	
Z dozing awal		1.00456	1.00461	1.00424	1.00383	1.00344	1.00596	
Z dozing final	1.00494	1.00441	1.00426	1.00383	1.00346	1.00302	1.00547	
Z _{cell}	0.99724	0.99932	0.99921	0.99951	1.00020	1.00158	1.00318	
n _{inj}	0.00000	0.04600	0.08018	0.11689	0.15239	0.19428	0.23460	
n _{unads}	-0.00006	0.00719	0.01306	0.01900	0.02465	0.03131	0.03694	
n _{solub}	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
n _{ads}	0.00000	0.03881	0.06713	0.09789	0.12774	0.16297	0.19765	
n _{adsqibbs} (mmol/g _{dryzeolite})	0.0000	0.4773	0.8255	1.2038	1.5708	2.0041	2.4306	

Lampiran 3. Hasil Perhitungan Uji Adsorpsi Gas N₂ di Dalam Zeolit Alam Malang (T=50°C)

	Uncalibrated*	Calibrated					Adsorption on	Zeolite Alam Malang
Vvoid	15.06563818					N2		
V dozing	486.7283					MW	28.00	
Dozing Temp	122	122						
Mass zeolite	81.32							
%moisture sample, mol H2O	0	0.0000						
R, gas constant	669.9542893	(psi cm ³)/(mol °R)						
Sampling Press*	0	196	319	475	617	780	925	
Calibrated	-1.5	194.9	318.1	474.4	616.5	779.7	924.8	
Initial P dozing	0	1053	1039	1024	1000	966	1127	
Final P dozing	1053	1017	1019	994	972	933	1098	
Cal Final P dozing	1053.875616	1017.877601	1019.877566	994.8773842	972.8760924	933.8712	1098.869142	
Sampling Temp*	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	
Calibrated	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	
density _{cell} , (g/cm ³)	0.00E+00	1.41E-02	2.29E-02	3.41E-02	4.42E-02	5.58E-02	6.60E-02	
Z dozing awal		1.00869	1.00844	1.00818	1.00777	1.00721	1.01005	
Z dozing final	1.00869	1.00806	1.00812	1.00770	1.00734	1.00668	1.00954	
Z _{cell}	0.99724	1.00014	1.00056	1.00148	1.00267	1.00454	1.00659	
n _{inj}	0.00000	0.04379	0.06817	0.10475	0.13894	0.17926	0.21443	
n _{unads}	-0.00006	0.00758	0.01233	0.01834	0.02379	0.03002	0.03553	
n _{solub}	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
n _{ads}	0.00000	0.03622	0.05584	0.08641	0.11515	0.14924	0.17891	
n _{adsqibbs} (mmol/g _{dryzeolite})	0.0000	0.4454	0.6867	1.0626	1.4160	1.8352	2.2000	

Lampiran 4. Hasil Perhitungan Uji Adsorpsi Gas CH₄ di Dalam Zeolit Alam Malang (T=30°C)

	Uncalibrated*	Calibrated					Adsorption on	Zeolite Alam Malang
Vvoid	15.06563818							
V dozing	486.7283							
Dozing Temp	86	86						
Mass zeolite	81.32							
%moisture sample, mol H2O	0	0.0000						
R, gas constant	669.9542893	(psi cm ³)/(mol °R)						
Sampling Press*	0	171	325	484	621	765	912	
Calibrated	-1.5	169.9	324.1	483.4	620.5	764.7	911.7	
Initial P dozing	0	1044	1009	981	952	927	1018	
Final P dozing	1044	1012	981	952	926	896	987	
Cal Final P dozing	1044.876378	1012.877653	981.876749	952.8739982	926.8699661	896.86347	987.8770881	
Sampling Temp*	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	
Calibrated	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	86.0	
density _{cell} , (g/cm ³)	0.00E+00	7.63E-03	1.48E-02	2.24E-02	2.91E-02	3.64E-02	4.41E-02	
Z dozing awal		0.89306	0.89608	0.89855	0.90113	0.90339	0.89530	
Z dozing final		0.89306	0.89582	0.89855	0.90113	0.90348	0.89802	
Z _{cell}	0.99724	0.98086	0.96397	0.94699	0.93285	0.91859	0.90475	
n _{inj}	0.00000	0.05237	0.09797	0.14499	0.18695	0.23677	0.28731	
n _{unads}	-0.00006	0.00718	0.01389	0.02106	0.02743	0.03432	0.04154	
n _{solub}	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
n _{ads}	0.00000	0.04518	0.08408	0.12392	0.15952	0.20244	0.24576	
n _{adsqibbs} (mmol/g _{dryzeolite})	0.0000	0.5556	1.0339	1.5239	1.9616	2.4895	3.0222	

Lampiran 5. Hasil Perhitungan Uji Adsorpsi Gas CH₄ di Dalam Zeolit Alam Malang (T=40°C)

	Uncalibrated*	Calibrated				CH ₄	Adsorption on	Zeolite Alam Malang
Vvoid	15.06563818							
V dozing	486.7283				MW	16.00		
Dozing Temp	104	104						
Mass zeolite	81.32							
%moisture sample, mol H ₂ O	0	0.0000						
R, gas constant	669.9542893	(psi cm ³)/(mol °R)						
Sampling Press*	0	157	320	475	609	771	913	
Calibrated	-1.5	155.8	319.1	474.4	608.5	770.7	912.7	
Initial P dozing	0	1025	992	961	932	1030	1079	
Final P dozing	1025	993	962	933	908	993	1050	
Cal Final P dozing	1025.877405	993.8773485	962.8751548	933.8711973	908.8663075	993.87735	1050.875889	
Sampling Temp*	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	
Calibrated	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	
density _{cell} , (g/cm ³)	0.00E+00	6.76E-03	1.40E-02	2.11E-02	2.74E-02	3.56E-02	4.22E-02	
Z dozing awal		0.90828	0.91075	0.91311	0.91534	0.90791	0.90434	
Z dozing final	0.90828	0.91068	0.91303	0.91527	0.91722	0.91068	0.90644	
Z _{cell}	0.99724	0.98447	0.96875	0.95427	0.94221	0.91801	0.91683	
n _{inj}	0.00000	0.04911	0.09497	0.13760	0.17400	0.23081	0.27561	
n _{unads}	-0.00006	0.00636	0.01318	0.01986	0.02579	0.03351	0.03973	
n _{solub}	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
n _{ads}	0.00000	0.04275	0.08179	0.11774	0.14822	0.19730	0.23588	
n _{adsqibbs} (mmol/g _{dryzeolite})	0.0000	0.5257	1.0058	1.4478	1.8226	2.4262	2.9007	

Lampiran 6. Hasil Perhitungan Uji Adsorpsi Gas CH₄ di Dalam Zeolit Alam Malang (T=50°C)

	Uncalibrated*	Calibrated					Adsorption on	Zeolite Alam Malang
Vvoid	15.06563818							
V dozing	486.7283							
Dozing Temp	122	122						
Mass zeolite	81.32							
%moisture sample, mol H2O	0	0.0000						
R, gas constant	669.9542893	(psi cm ³)/(mol °R)						
Sampling Press*	0	177	339	477	630	768	932	
Calibrated	-1.5	175.9	338.2	476.4	629.5	767.7	931.8	
Initial P dozing	0	975	951	925	904	980	1062	
Final P dozing	975	951	927	905	878	955	1029	
Cal Final P dozing	975.8763309	951.8738705	927.8701486	905.8656287	878.8586329	955.87437	1029.877255	
Sampling Temp*	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	
Calibrated	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	122.0	
density _{cell} , (g/cm ³)	0.00E+00	7.38E-03	1.43E-02	2.05E-02	2.73E-02	3.36E-02	4.13E-02	
Z dozing awal		0.92330	0.92488	0.92660	0.92802	0.92298	0.91776	
Z dozing final		0.92330	0.92488	0.92647	0.92795	0.92979	0.91983	
Z _{cell}	0.99724	0.98457	0.97090	0.95342	0.94773	0.93752	0.92614	
n _{inj}	0.00000	0.03466	0.06922	0.09795	0.13519	0.17131	0.21937	
n _{unads}	-0.00006	0.00695	0.01350	0.01934	0.02570	0.03167	0.03891	
n _{solub}	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	
n _{ads}	0.00000	0.02771	0.05572	0.07861	0.10949	0.13964	0.18047	
n _{adsqibbs} (mmol/g _{dryzeolite})	0.0000	0.3407	0.6853	0.9667	1.3465	1.7172	2.2192	