



UNIVERSITAS INDONESIA

**UJI KAPASITAS ADSORPSI GAS KARBON MONOKSIDA (CO)
MENGUNAKAN ZEOLIT ALAM LAMPUNG
TERMODIFIKASI DENGAN TiO_2 MELALUI METODE SOL GEL**

SKRIPSI

MUHAMAD GONDANG ANDIKA KUNTORO

0806368010

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

DEPOK

JUNI 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**UJI KAPASITAS ADSORPSI GAS KARBON MONOKSIDA (CO)
MENGUNAKAN ZEOLIT ALAM LAMPUNG
TERMODIFIKASI DENGAN TiO₂ MELALUI METODE SOL GEL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

MUHAMAD GONDANG ANDIKA KUNTORO

0806368010

FAKULTAS TEKNIK

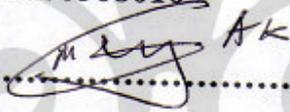
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

DEPOK

JUNI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Muhamad Gondang Andika Kuntoro
NPM : 0806368010
Tanda Tangan : 
Tanggal : 24 Juni 2011

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

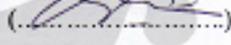
Nama : Muhamad Gondang Andika Kuntoro

NPM : 0806368010

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Skripsi : Uji Kapasitas Adsorpsi Gas Karbon monoksida (CO) Menggunakan Zeolit Alam Lampung Termodifikasi Dengan TiO_2 Melalui Metode Sol Gel

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI	
Pembimbing : Ir. Yuliusman, M.Eng.	
Penguji 1 : Dr. Ir. Nelson Saksono, MT.	
Penguji 2 : Ir. Eva F Karamah, MT.	
Penguji 3 : Tania Surya Utami, ST., MT.	

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 24 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah Subhana wa Ta'ala, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, tidak mudah menyelesaikannya. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Yuliusman, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini,
2. Prof. Dr. Ir. Widodo W.P., DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI,
3. Ibunda dan Ayahanda tercinta yang telah memberikan dukungan moril maupun materil,
4. Sahabat-sahabat Teknik Kimia Ekstensi angkatan 2008 tercinta,
5. Kang Jajat dan Mang Ijal selaku teknisi laboratorium yang telah membantu saya secara teknis.

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, Juni 2011

Penulis

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

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

Nama : Muhamad Gondang Andika Kuntoro

NPM : 0806368010

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

**“Uji Kapasitas Adsorpsi Gas Karbon monoksida (CO) Menggunakan Zeolit
Alam Lampung Termodifikasi Dengan TiO₂ Melalui Metode Sol Gel”**

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 tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 24 Juni 2011

Yang menyatakan :

(M Gondang AK)



ABSTRAK

Nama : Muhamad Gondang Andika Kuntoro
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Uji Kapasitas Adsorpsi Gas Karbon monoksida (CO) Menggunakan Zeolit Alam Lampung Termodifikasi Dengan TiO₂ Melalui Metode Sol Gel

Kasus kebakaran sebagai penghasil gas karbon monoksida (CO) yang tinggi masih menjadi salah satu permasalahan yang harus diselesaikan, mengingat seringnya terjadi peristiwa kebakaran. Jika terjadi kebakaran, potensi kematian akibat keracunan gas CO akan semakin meningkat. Oleh karena itu, diperlukan suatu usaha untuk mengurangi kadar CO, salah satunya adalah dengan metode adsorpsi gas CO menggunakan metode volumetrik dengan temperatur konstan (temperatur 25 °C) pada tekanan 0 psia - 315 psia dengan interval 50 psi. Sehingga dapat dilakukan perhitungan adsorpsi isothermal Gibbs menggunakan Zeolit Alam Lampung teraktivasi yang dimodifikasi oleh TiO₂ melalui metode sol-gel. Variasi kandungan TiO₂ yang dilakukan adalah 10, 15, 20, 25 dan 30 (wt%). Dari hasil penelitian diketahui bahwa pelapisan TiO₂ terhadap Zeolit Alam Lampung dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi. Dari variasi kandungan TiO₂ yang telah dilakukan didapatkan komposisi optimum TiO₂ sebesar 20 % dan didapatkan kapasitas adsorpsi paling besar yaitu $n_{\max} = 0,54361$ mmol/gram dengan kandungan TiO₂ 3,58 (wt%) dan luas permukaan 96,25 m²/gram.

Kata Kunci:

Adsorpsi, gas karbon monoksida, Zeolite, TiO₂, *Sol-gel*.

ABSTRACT

Name : Muhamad Gondang Andika Kuntoro
Major : Teknik Kimia
Title : Capacity Testing from Adsorption of Gas Carbon Monoxide (CO) Using Lampung Natural Zeolite modified TiO₂ through Sol Gel Method

Case of fire has a high content of gas carbon monoxide production which has to be solved because of the high frequency of this incident. If it happens, the potential death caused by CO poisoning will increase. Therefore, an effort is needed to reduce CO concentration. One of them is CO gas adsorption method using a volumetric method with a constant temperature (25 °C) at pressure 0 psia - 315 psia at intervals of 50 psi. It can be calculated by Gibbs adsorption isotherm using activated Lampung Natural Zeolites modified by TiO₂ via sol-gel methods. Variations of TiO₂ content is done with 10, 15, 20, 25 and 30 (wt%). From the result of this research shows that TiO₂ coating on Natural Zeolites Lampung can increase adsorption capacity. TiO₂ content of the variations that have been carried out the optimum composition of TiO₂ obtained by 20% and the greatest adsorption capacity is $n_{\max} = 0.54361$ mmol / g with a TiO₂ content of 3.58 (wt%) and the surface area 96.25 m²/gram.

Keywords:
Adsorption, carbon monoxide gas, Zeolite, TiO₂, *Sol-gel*.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	15
1.1 Latar belakang	15
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Karbon Monoksida (CO)	6
2.2 Adsorpsi	11
2.2.1 Definisi dan Sifat Adsorpsi	11
2.2.1.1 Adsorpsi Fisika	12

2.2.1.2 Adsorpsi Kimia	12
2.2.2 Adsorpsi Isotermis	13
2.2.2.1 Adsorpsi Isotermis Langmuir.....	15
2.2.2.2 Adsorpsi Isotermis BET.....	16
2.2.2.3 Model Adsorpsi Isotermis Gibbs	17
2.2.2.4 Hubungan Antara Adsorpsi Gibbs dan Adsorpsi Absolut pada Adsorpsi Gas Murni	18
2.2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi	22
2.2.3.1 Sifat adsorben.....	22
2.2.3.2 Jenis adsorbat	22
2.2.3.3 Temperatur	22
2.2.3.4 Tekanan.....	23
2.2.3.5 Pusat aktif.....	23
2.2.4 Kesetimbangan Adsorpsi.....	24
2.3 Adsorben	26
2.3.1 Zeolit.....	28
2.3.1.1 Struktur Zeolit	28
2.3.1.2 Sifat Zeolit	30
2.3.1.3 Pemanfaatan Zeolit	31
2.3.1.4 Jenis-jenis Zeolit	31
2.3.1.5 Zeolit Alam Lampung.....	32
2.3.1.6 Metode Aktivasi Zeolit	34
2.3.1.7 Zeolit sebagai penyangga katalis	36
2.3.2 TiO ₂	36

2.4 Preparasi zeolit alam termodifikasi TiO ₂ dengan Metode Sol-Gel	38
BAB 3 METODE PENELITIAN	40
3.1 Peralatan Percobaan	41
3.1.1 Alat Pembuatan Zeolit alam termodifikasi TiO ₂	41
3.1.2 Alat Karakterisasi Zeolit alam termodifikasi TiO ₂	41
3.1.3 Alat Uji Kinerja Zeolit alam termodifikasi TiO ₂	41
3.2 Bahan-Bahan Penelitian	43
3.2.1. Bahan <i>Treatment</i> Awal Zeolit	43
3.2.2 Bahan-bahan Preparasi Sol-Gel TiO ₂	43
3.2.3 Bahan-bahan Uji Kinerja Zeolit alam termodifikasi TiO ₂	44
3.4 Prosedur Penelitian	44
3.4.1 <i>Treatment</i> Awal Zeolit Alam Lampung	44
3.4.2 Preparasi Sol-Gel TiO ₂	45
3.4.3 Pelapisan TiO ₂ ke support Zeolit	46
3.4.4 Karakterisasi Zeolit alam termodifikasi TiO ₂	47
3.4.4.1 Karakterisasi BET	47
3.4.4.2 Karakterisasi XRF (X-Ray Fluorescence)	49
3.4.4.3 Karakterisasi AAS (Atomic adsorbtion Spectrofotometry)	49
3.4.5 Uji Kinerja Zeolit alam termodifikasi TiO ₂	50
3.4.5.1 Persiapan Alat Uji dan Bahan	51
3.4.5.2 Pengujian Adsorpsi karbon monoksida	51
3.4.5.3 Pembuatan Kurva Adsorpsi	53
3.4.5.4 Pembuatan Model Adsorpsi	53
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	54

4.1 Preparasi zeolite alam.....	54
4.1.1 Aktivasi zeolit Alam.....	54
4.1.2 Pelapisan TiO ₂ Pada zeolit alam Lampung yang telah diaktivasi	56
4.2 Karakterisasi zeolit alam Lampung termodifikasi TiO ₂	57
4.3 Uji Adsorpsi	59
4.3.1 Preparasi Peralatan Adsorpsi	59
4.3.2. Cek Kebocoran Alat Uji	60
4.4 Pengukuran Volume <i>Void Area</i> Sampling	61
4.5 Uji Adsorpsi Gas CO.....	64
4.5.1 Konstanta Langmuir	64
4.5.2 Perbandingan adsorpsi gas CO oleh zeolit alam belum teraktivasi dengan zeolit alam yang telah teraktivasi	65
4.5.3 Pengaruh Kandungan TiO ₂ pada Zeolit Alam Lampung Teraktivasi.....	68
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	72
5.1 Kesimpulan.....	72
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
LAMPIRAN D	
LAMPIRAN E	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Besi Pentakarbonil	14
Gambar 2. 2 Kurva Adsorpsi Langmuir dan BET	14
Gambar 2. 3 Ilustrasi keadaan fasa teradsorpsi pada suatu pori adsorben.....	18
Gambar 2. 4 Profil tipe-tipe kurva isoterm Gibbs.....	21
Gambar 2. 5 Adsorpsi gas pada material berpori pada kondisi kesetimbangan (Sudibandriyo, 2003).....	24
Gambar 2. 6 Profil kurva pengaruh tekanan terhadap jumlah zat yang diadsorp dalam temperatur berbeda (Ruthven, 1984)	25
Gambar 2. 7 Profil kurva adsorpsi isostere(Ruthven, 1984).....	25
Gambar 2. 8 Struktur zeolit.....	29
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian secara umum	40
Gambar 3. 2 Skema ruang uji	43
Gambar 3. 3 Diagram alir pembuatan dan pelapisan TiO ₂ pada zeolit.....	47
Gambar 3. 4 Diagram uji adsorpsi	50
Gambar 4. 1 Rasio Si/Al pada setiap tahapan proses preparasi zeolit alam	55
Gambar 4. 2 Proses pembentukan TiO ₂ pada zeolite (Karna Wijaya 2006).....	57
Gambar 4. 3 Rangkaian peralatan uji adsorpsi	59
Gambar 4. 4 Grafik hasil tes kebocoran pada alat uji adsorpsi.....	60
Gambar 4. 5 Grafik perbandingan uji adsorpsi CO pada ZAL dan ZAL teraktivasi ..	66
Gambar 4. 6 Grafik pengaruh kandungan TiO ₂ pada ZAL teraktivasi terhadap kapasitas adsorpsi (n Gibs) dan n model.....	69
Gambar 4. 7 Grafik loading TiO ₂ (%wt) hasil variasi pada ZAL teraktivasi	69
Gambar 4. 8 Grafik jumlah CO maksimum yang diserap pada setiap adsorben	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 ISO Klasifikasi Tingkatan Kebakaran Berdasarkan ISO 19706.....	9
Tabel 2. 2 Gas Beracun yang Terbawa Bersama Asap Pembakaran	10
Tabel 2. 3 Karakteristik adsorben beserta kegunaan dan kerugiannya.....	27
Tabel 2. 4 Komposisi Kimia Zeolit Alam Lampung (debby, 2010).....	32
Tabel 2. 5 Perbandingan sifat dari berbagai bentuk kristal TiO ₂	37
Tabel 3. 1 Komposisi TiO ₂ dan zeolit dalam zeolit alam termodifikasi TiO ₂	46
Tabel 4. 1 Hasil karakterisasi XRF	57
Tabel 4. 2 Hasil karakterisasi AAS.....	57
Tabel 4. 3 Hasil karakterisasi BET	58
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Helium Void Volume.....	62
Tabel 4. 5 Nilai n_{maks} dan b untuk masing-masing adsorben	65
Tabel 4. 6 Adsorpsi gas CO oleh zeolit alam tidak teraktivasi.....	67
Tabel 4. 7 Adsorpsi gas CO oleh zeolit alam teraktivasi	68

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Gas CO adalah polutan (zat pencemar udara) yang sangat berbahaya karena karakteristik dari gas ini adalah tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, dan beracun terutama bagi pernapasan. Gas CO utamanya dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna. Pembakaran tidak sempurna sangat mungkin terjadi terutama pada peristiwa kebakaran. Secara teori, pembakaran tak sempurna terjadi salah satunya karena kekurangan gas oksigen dalam proses pembakarannya.

Kasus kebakaran sebagai penghasil gas beracun masih menjadi salah satu permasalahan yang harus diselesaikan, mengingat seringnya terjadi kebakaran, baik di daerah penduduk maupun daerah industri. Pada kasus kebakaran, sering terdapat korban meninggal yang penyebabnya tidak selalu karena luka bakar, melainkan karena menghirup dan terinfeksi oleh gas-gas beracun yang dihasilkan selama proses kebakaran berlangsung, salah satunya adalah gas karbon monoksida yang biasa disebut gas CO. Wei W, dkk (2007). Data penelitian menyatakan 85 persen kematian pada kasus kebakaran di dunia disebabkan oleh asap berat dan gas beracun. Komponen gas buang pembakaran bergantung pada material yang dibakar.

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian yang berkaitan dengan adsorpsi CO dan penjernihan asap. Kris Tri Basuki dkk (2008), melakukan penelitian penurunan konsentrasi CO dan NO₂ Pada emisi gas buang menggunakan arang tempurung kelapa yang disisipi TiO₂ ternyata dapat menurunkan konsentrasi gas CO sebesar 91,50 % dan NO₂ sebesar 95,40 % dibandingkan media arang tempurung kelapa tanpa penyisipan TiO₂ yang hanya bisa menurunkan CO sebesar 83,10 % dan NO₂ sebesar 93,60 %.

Yadav, dkk (2007) menemukan bahwa oksida logam dapat digunakan untuk menjernihkan kabut asap buatan yang dibuat dari senyawa glikol. Kajian dilakukan

dalam skala laboratorium, menguji efektivitas struktur nano dalam menjernihkan asap pada ruang tertutup dan membandingkan dengan material yang berukuran konvensional. Material yang diuji adalah TiO_2 , MgO , MgO plus, NaHCO_3 , Ca(OH)_2 . MgO menunjukkan hasil yang paling bagus.

Selain itu, penggunaan zeolit sebagai adsorben sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Xu, Y, dkk (2003), melakukan penelitian berkaitan dengan adsorpsi asap rokok yang menunjukkan bahwa zeolit mempunyai kemampuan mengadsorpsi asap rokok lebih baik dibandingkan material lain.

P. D. Jadav, dkk (2006) melakukan penelitian adsorpsi karbon dioksida dengan adsorben zeolit 13 X menggunakan *packed column* pada temperatur 30°C dan didapatkan hasil adsorpsi sebesar 28 ml/gram. Russell dkk (1996). melakukan penelitian model adsorpsi untuk menganalisa kesetimbangan gas-padatan pada bahan berpori, adsorpsi dilakukan pada gas CO menggunakan *porous carbonaceous*, model adsorpsi isothermal (25°C) yang digunakan adalah *multiple-site Langmuir*. didapatkan kapasitas adsorpsi CO untuk *porous carbonaceous* yaitu 4,94 mmol/g.

Dari uraian di atas terlihat bahwa diperlukan suatu usaha untuk dapat mengurangi kadar CO hasil pembakaran pada kasus kebakaran, salah satunya adalah dengan metode adsorpsi menggunakan adsorben berupa zeolit alam Lampung termodifikasi oleh TiO_2 .

Zeolit merupakan bahan galian non logam atau mineral industri multi guna karena memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang unik yaitu sebagai penyerap, penukar ion, penyaring molekul dan sebagai katalisator, karena zeolit dapat menyerap molekul-molekul gas seperti CO, CO_2 , H_2S dan lainnya. Hal ini didukung dengan letak geologis Indonesia yang berada di jalur pegunungan berapi dunia membuatnya menjadi kaya akan potensi sumber daya alam, seperti batuan gunung berapi yang merupakan sumber mineral zeolit. (Herry, 2007).

Untuk kepentingan komersial, zeolit alam yang ada di Indonesia belum dimanfaatkan secara optimal. Agar dapat dimanfaatkan, terutama sebagai adsorben,

zeolit harus memiliki spesifikasi tertentu. Untuk memperoleh zeolit dengan kemampuan tinggi diperlukan beberapa pengolahan antara lain: preparasi, aktivasi, dan modifikasi.

Dari permasalahan yang telah dipaparkan dan berbagai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penulis ingin mengetahui kapasitas adsorpsi dari zeolit alam Lampung termodifikasi TiO_2 terhadap salah satu gas beracun yang dihasilkan dari peristiwa kebakaran yakni gas karbon monoksida (CO).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan diteliti adalah bagaimana gas CO yang merupakan gas beracun yang dihasilkan pada peristiwa kebakaran dapat diminimalisasi keberadaannya dengan cara diadsorpsi menggunakan Zeolit Alam Lampung termodifikasi TiO_2 .

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Memperoleh adsorben zeolit alam Lampung yang termodifikasi dengan TiO_2 , dengan komposisi optimum yang mampu mengadsorpsi karbon monoksida
2. Mendapatkan kondisi optimum kapasitas adsorpsi karbon monoksida pada zeolit alam Lampung yang termodifikasi TiO_2 .

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Katalis yang digunakan adalah Titanium dioksida yang dibuat dari Titanium Acetyl Acetonate dengan metode sol-gel
2. Adsorben yang digunakan adalah zeolit alam Lampung yang diproduksi oleh PT. Bratachem Bandung

3. Proses modifikasi zeolit alam Lampung dengan TiO_2 menggunakan metode sol-gel.
4. Gas yang diadsorpsi adalah gas karbon monoksida (CO)
5. Kondisi adsorpsi yang dilakukan pada penelitian ini adalah kondisi adsorpsi isotermis pada suhu ruang.
6. Software pengalibrasi tekanan dan temperatur uji adsorpsi adalah Adam View dengan Perangkat Data Acquisition *Advantech USB 4718*.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam makalah skripsi ini dilakukan dengan membagi tulisan menjadi tiga bab, yaitu:

BAB 1 : PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang penelitian dan penulisan, perumusan masalah yang dibahas, tujuan dilakukannya penelitian, ruang lingkup penelitian, serta sistematika penulisan skripsi ini.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka yang menjadi dasar penelitian yang meliputi pengertian proses Adsorpsi Isotermis, persamaan-persamaan kimia fisik adsorpsi, mekanisme dasar adsorpsi-desorpsi, pengaruh tekanan terhadap adsorpsi gas, kesetimbangan adsorpsi-desorpsi, karakterisasi calon adsorbent.

BAB 3 : METODE PENELITIAN

Berisi diagram alir penelitian, peralatan percobaan, bahan percobaan dan prosedur yang dilakukan dalam penelitian.

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi data-data karakterisasi adsorben, data yang diperoleh dari penelitian, hasil dan hasil pengolahannya, serta analisa dari hasil adsorpsi dan perhitungan kapasitas yang didapatkan.

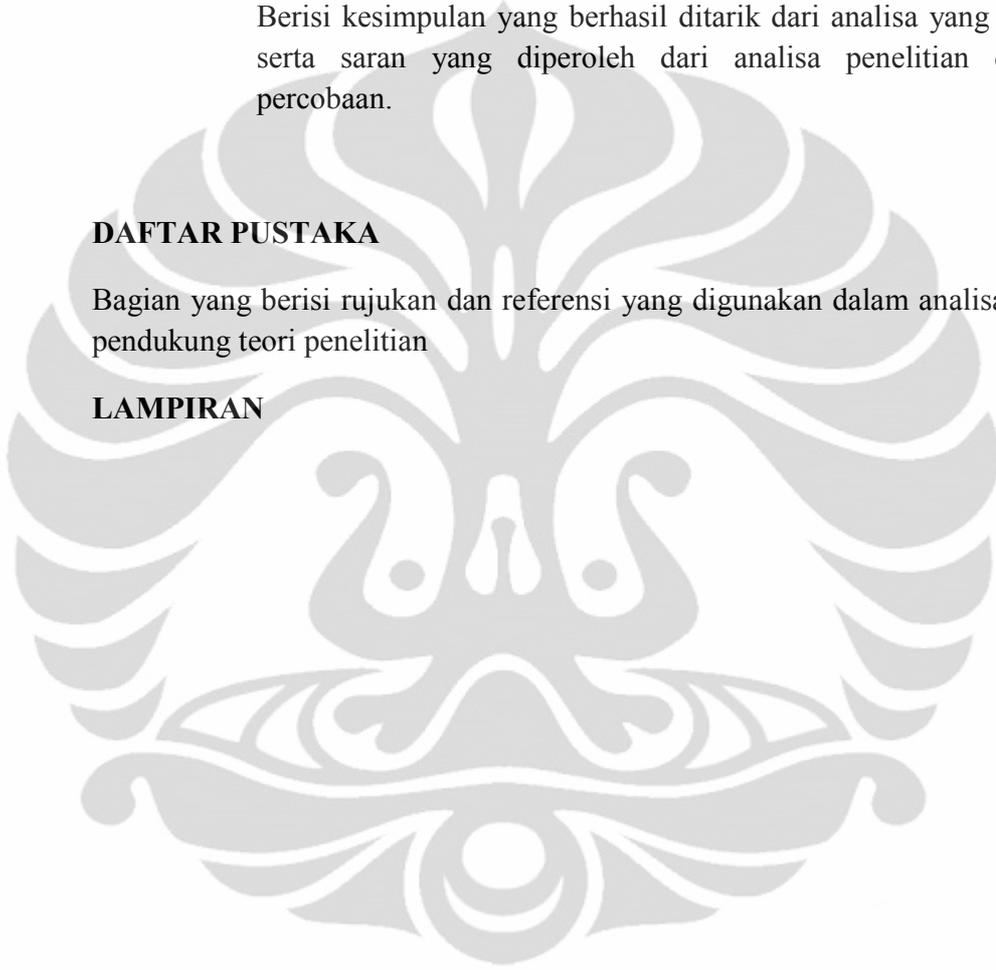
BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan yang berhasil ditarik dari analisa yang dilakukan serta saran yang diperoleh dari analisa penelitian dan hasil percobaan.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian yang berisi rujukan dan referensi yang digunakan dalam analisa data dan pendukung teori penelitian

LAMPIRAN



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) adalah polutan (zat pencemar udara) yang sangat berbahaya. CO sulit dikenali karena merupakan suatu komponen yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa. Manusia sering terkena bahaya CO tanpa menyadarinya. CO yang terdapat di alam terbentuk dari salah satu diantara tiga proses berikut:

- Pembakaran tidak sempurna terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon.
- Reaksi antara karbon dioksida (CO₂) dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi.
- Pada suhu tinggi, CO₂ terurai menjadi CO dan O.

Oksidasi tidak sempurna terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon terjadi jika jumlah oksigen yang tersedia kurang dari jumlah yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna di mana dihasilkan CO₂. Pembentukan CO hanya terjadi jika reaktan yang ada terdiri dari karbon dan oksigen murni. Jika yang terjadi adalah pembakaran komponen yang mengandung karbon di udara, prosesnya lebih kompleks dan terdiri dari beberapa tahap reaksi.

Sebagian besar pembebasan CO ke atmosfer sebagai akibat aktivitas manusia, misalnya dari transportasi, pembakaran minyak, gas, arang atau kayu, proses industri, pembuangan limbah padat, dan sumber lain termasuk kebakaran. Transportasi menghasilkan CO paling banyak di antara sumber CO lainnya, terutama dari kendaraan yang menggunakan bensin sebagai bahan bakar.

Polutan CO yang terhirup manusia pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan kematian. CO sangat berbahaya karena pada konsentrasi relatif rendah (<100 ppm) juga dapat menimbulkan gangguan kesehatan. Konsentrasi CO di udara pada umumnya kurang dari 100 ppm. Bila gas CO terhisap ke dalam paru-paru maka

akan ikut peredaran darah dan akan menghalangi masuknya oksigen yang dibutuhkan oleh tubuh. Hal ini terjadi karena CO bersifat racun metabolis yang ikut bereaksi secara metabolis dengan darah. Seperti oksigen, gas CO juga mudah bereaksi dengan hemoglobin darah.

Ikatan CO dengan hemoglobin darah (karboksihemoglobin-CO₂Hb) lebih stabil dari pada ikatan oksigen dengan hemoglobin darah (oksihemoglobin-O₂Hb). Kestabilan CO₂Hb sekitar 140 kali kestabilan O₂Hb, hal ini menyebabkan Hb darah menjadi lebih mudah menangkap gas CO dan menyebabkan fungsi vital darah sebagai pengangkut oksigen terganggu. Hb darah dalam keadaan normal berfungsi sebagai pembawa oksigen (O₂) dalam bentuk oksihemoglobin (O₂Hb) dari paru-paru untuk dibagikan kepada selsel tubuh yang memerlukannya. Selain itu, Hb darah juga berfungsi mengambil gas CO₂ hasil pembakaran di dalam sel tubuh dalam bentuk karbodioksihemoglobin (CO₂Hb) untuk dibuang keluar melalui paru-paru.

Pengaruh beracun CO terhadap tubuh manusia terutama disebabkan oleh reaksi antara CO dengan Hb di dalam darah. Dengan adanya CO menyebabkan Hb dapat membentuk karboksihemoglobin (CO₂Hb). Jika reaksi ini terjadi maka kemampuan darah untuk mentranspor oksigen menjadi berkurang. (herry rodiana, 2007)

Adapun Konsentrasi sumber CO:

- 0,1 ppm - kadar latar alami atmosfer
- 0,5 to 5 ppm - rata-rata kadar latar di rumah
- 5 to 15 ppm - kadar dekat kompor gas rumah
- 100-200 ppm - daerah pusat kota Meksiko
- 5.000 ppm - cerobong asap rumah dari pembakaran kayu
- 7.000 ppm - gas knalpot mobil yang tidak diencerkan - tanpa pengubah katalitik
- 30.000 ppm - asap rokok yang tidak diencerkan

Baku mutu keberadaan CO adalah 10.000 µg/Nm³ udara dengan rata-rata waktu pengukuran 24 jam. Konsentrasi CO sampai dengan 100 ppm dianggap aman

bila waktu kontak hanya sebentar. Jika CO sebanyak 30 ppm dihisap oleh manusia selama delapan jam akan menimbulkan rasa pusing dan mual. Konsentrasi CO sebanyak 1000 ppm dan waktu kontak selama satu jam menyebabkan pusing dan kulit berubah menjadi kemerah-merahan. Selanjutnya, untuk waktu kontak yang sama dengan konsentrasi CO sebanyak 1300 ppm menyebabkan kulit langsung berubah menjadi merah tua dan disertai rasa pusing yang hebat. Untuk keadaan yang lebih tinggi lagi dapat menimbulkan akibat lebih fatal, yaitu kematian.

Konsentrasi COHb di dalam darah dipengaruhi secara langsung oleh konsentrasi CO dari udara yang terhisap. Pada konsentrasi CO tertentu di udara maka konsentrasi COHb di dalam darah akan mencapai konsentrasi ekuilibrium setelah beberapa waktu tertentu. Konsentrasi ekuilibrium COHb tersebut akan tetap dipertahankan di dalam darah selama konsentrasi CO di dalam udara di sekelilingnya tetap tidak berubah. COHb secara perlahan-lahan akan berubah sesuai dengan perubahan konsentrasi CO di udara untuk mencapai ekuilibrium yang baru.

Pembentukan gas CO, gas yang paling beracun secara signifikan, disebabkan oleh kondisi dari *smouldering* sampai *developed flaming*. Yield CO atau CO₂/CO ratio bisa mengindikasikan kondisi pembakaran. Produksi CO dari pembakaran tidak sempurna yang sering terjadi pada kasus kebakaran, bias meningkat dengan:

1. Panas yang tidak memadai dalam fasa gas (seperti selama *smouldering*)
2. Pendinginan tiba-tiba dari reaksi nyala (seperti ketika halogen ada dalam nyala, atau ventilasi berlebihan mendinginkan nyala).
3. Keberadaan molekul yang stabil, seperti aromatik, yang tahan lebih lama dalam zona nyala, memberikan yield CO yang tinggi dalam kondisi berventilasi baik tetapi lebih rendah dibandingkan yield pada kondisi tak berventilasi.
4. O₂ yang kurang, (seperti pembakaran *tak berventilasi*, fluks panas radiant yang besar membakar bahan bakar). ISO 9706 mengidentifikasi jumlah tingkatan pembakaran yang berbeda akan memberikan perbandingan volume produk CO₂ dan berbeda, dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 ISO Klasifikasi Tingkatan Kebakaran Berdasarkan ISO 19706

Tingkatan Kebakaran	Panas (kW m ⁻²)	Suhu Maks. (oC)	Bahan Bakar	Asap	Oksigen (%)	Rasio Ekuivalen	VC O/V CO ₂	Efisiensi Pembakaran (%)
				Masuk	Keluar			
Tanpa Nyala								
1a. Pemendaman Berkelanjutan		450-800	25-85	20	0-20	-	0,1-1	50-90
1b. Radiasi Oksidasi Eksternal		300-600		20	20	<1		
1c. Radiasi Eksternal Anaerob		100-500		0	0	>>1		
2. Nyala dengan Ventilasi Baik	0-60	350-650	50-500	20	0-20	<1	<0,05	>95
Nyala Tanpa Ventilasi	0-30		50-500	15-20	5-10	>1	0,2-0,4	70-80
3a. Ventilasi rendah, Ruang Api		300-600						
3b. Melewati Nyala	50-150	350-650	600	<15	<5	>1	0,1-0,4	70-90

(Hull, 2006)

Selain gas CO, masih ada beberapa senyawa gas buang pembakaran yang bersifat racun, dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2. 2 Gas Beracun yang Terbawa Bersama Asap Pembakaran

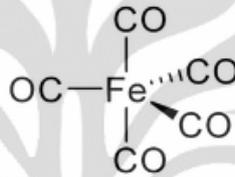
Gas Beracun	Sumber yang berpotensi	Sublethal Effects
Acrolein (CH ₂ -CHCHO)	Cellulosic materials, e.g., wood, cotton, paper; polystyrenes, ABS	A
Toluene diisocyanate (TDI)	Flexible polyurethane foams	A
Formaldehde (HCHO)	POM, polypropylenes	B
Hydrogen cyanide (HCN)	Nitrogen-containing materials, e.g., wool, silk, PAN, ABS, acrylic fibers, nylons, urea/formaldehde, melamine, polyurethanes, polyacrylamide	C
Nitrogen dioxide (NO ₂)	Nitrogen-containing materials	B
Hydrogen chloride (HCl)	PVC and chlorinated additives	B, D
Hydrogen fluoride (HF)	PTFE, other fluorinated compounds and additives	B
Hydrogen bromide (HBr)	Brominated compounds and additives	B, D
Sulfur dioxide (SO ₂)	Sulfur-containing materials, e.g., wool, vulcanized rubbers, poly(phenylene sulfide)	B
Hydrogen sulfide (H ₂ S)	Sulfur-containing materials	C
Ammonia (NH ₃)	Nitrogen-containing materials	C
Styrene (C ₈ H ₈)	Polystyrenes, ABS	C
Toluene (C ₇ H ₈)	Polystyrenes, PVC, polyurethane foams	D
Benzene (C ₆ H ₆)	Polystyrenes, PVC, polyesters, nylons	C

(hull, 2066)

Kebanyakan logam akan membentuk kompleks koordinasi yang bersifat kovalen dengan karbon monoksida. Hanya logam yang mempunyai keadaan oksidasi yang lebih rendah yang membentuk kompleks dengan ligan karbon monoksida. Hal ini dikarenakan oleh perlunya rapatan elektron yang cukup untuk memfasilitasi donasi balik dari orbital d_{xz} logam ke orbital molekul π^* CO. Pasangan elektron menyendiri dari atom karbon CO juga menyumbangkan rapatan elektron ke $d_{x^2-y^2}$ logam membentuk ikatan sigma. Pada nikel karbonil, Ni(CO)₄ terbentuk dari kombinasi langsung karbon monoksida dan logam nikel pada temperatur ruangan. Nikel karbonil dapat mengurai kembali menjadi Ni dan CO seketika bersentuhan

dengan permukaan yang panas. Proses ini juga pernah digunakan dalam proses pemurnian nikel pada proses Mond.

Pada nikel karbonil dan karbonil-karbonil lainnya, pasangan elektron pada karbon berinteraksi dengan logam; karbon monoksida menyumbangkan pasangan elektronnya kepada logam. Dalam situasi ini, karbon monoksida disebut sebagai ligan karbonil. Salah satu logam karbonil yang paling penting adalah besi pentakarbonil, $\text{Fe}(\text{CO})_5$:



Gambar 2.1 struktur Besi Pentakarbonil

2.2 Adsorpsi

Istilah adsorpsi biasa digunakan untuk menggambarkan keberadaan suatu bahan tertentu (cairan atau padatan) dengan konsentrasi yang lebih tinggi pada permukaannya dari pada di dalam medium fasa ruahnya. Secara singkat, adsorpsi menunjukkan kelebihan konsentrasi pada permukaan.

2.2.1 Definisi dan Sifat Adsorpsi

Proses adsorpsi adalah peristiwa tertariknya suatu molekul tertentu dari fluida (cair atau gas) pada permukaan zat padat (adsorben) (Maron Lando, 1988). Hal ini terjadi karena adanya ketidakseimbangan gaya-gaya molekul pada zat padat, yang cenderung menarik molekul lain yang bersentuhan pada permukaannya. Zat yang terserap pada permukaan padatan disebut fasa teradsorpsi (adsorbat) sedangkan zat yang menarik disebut adsorben.

Langkah-langkah dapat diringkas:

- larutan berdifusi melalui fluida ke area dekat permukaan partikel padat
- partikel terlarut berdifusi ke dalam pori-pori partikel
- larutan berdifusi ke dinding pori
- adsorpsi zat terlarut pada permukaan dinding pori

2.2.1.1 Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika adalah adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya Van Der Waals (gaya tarik-menarik yang relatif lemah) antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorpsi ini terjadi apabila suatu adsorbat dialirkan pada permukaan adsorben yang bersih. Pada adsorpsi fisika, adsorbat tidak terikat kuat pada permukaan adsorben, sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lainnya, dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat yang satu dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorpsi fisika adalah suatu peristiwa yang reversibel, sehingga jika kondisi operasinya diubah akan membentuk kesetimbangan baru. Peristiwa adsorpsi gas terjadi sangat cepat. Proses adsorpsi disertai dengan pengeluaran panas sesuai dengan prinsip *Le Chatelier*. Panas yang terjadi atau dikeluarkan pada peristiwa adsorpsi disebut panas adsorpsi. Panas adsorpsi fisika umumnya rendah (5 – 10 kkal/gr-mol gas) dan terjadi pada temperatur rendah, yaitu di bawah temperatur didih adsorbat. Hal ini yang menyebabkan kesetimbangan dari proses adsorpsi fisika reversibel dan berlangsung sangat cepat. Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi, sehingga pada prosesnya akan membentuk lapisan *multilayer* pada permukaan adsorben. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah, yaitu dengan cara pemanasan pada temperatur 150 – 200 °C selama 2 – 3 jam.

2.2.1.2 Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia adalah adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kovalen dan ion antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk adalah lapisan *monolayer*. Untuk adsorpsi kimia, yang paling penting adalah spesifikasi dan kepastian pembentukan *monolayer*. Pendekatannya dengan menentukan kondisi reaksi, sehingga hanya adsorpsi kimia yang terjadi dan hanya terbentuk *monolayer*. Adsorpsi kimia bersifat tidak reversibel dan umumnya terjadi pada temperatur tinggi di atas temperatur kritis adsorbat, sehingga panas adsorpsi yang dilepaskan juga tinggi (10 – 100 kkal/g.mol). Sedangkan untuk dapat terjadinya peristiwa desorpsi

dibutuhkan energi lebih tinggi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorben dan adsorbat. Energi aktivasi pada adsorpsi kimia berkisar antara 10 – 60 kkal/g.mol.

Adsorpsi gas biasa menggunakan zat padat. Gas terdiri atas molekul-molekul yang bergerak bebas ke segala arah dan saling bertabrakan. Setiap kali bertabrakan, molekul-molekul tersebut mengalami perubahan kecepatan dan arah pergerakan. Dalam pergerakannya, molekul-molekul gas mungkin pula bertabrakan dengan permukaan suatu padatan. Pada saat bertabrakan dengan permukaan padatan, ada dua kemungkinan yang akan dialami oleh molekul gas. Pertama, molekul gas tersebut akan dipantulkan secara elastis dengan sudut refleksi sama dengan sudut datang. Kemungkinan kedua, molekul gas tersebut akan melekat beberapa saat sebelum kembali terlepas, sehingga konsentrasi gas pada permukaan padatan menjadi lebih besar daripada konsentrasi gas di udara.

Adsorpsi gas oleh zat padat ditandai oleh fakta:

- Adsorpsi bersifat selektif
- Adsorpsi terjadi sangat cepat
- Jumlah gas yang diserap tergantung temperatur
- Adsorpsi tergantung dari luas permukaan adsorben
- Adsorpsi tergantung jenis adsorben dan pembuatan adsorben
- Jumlah gas yang diadsorpsi per satuan berat adsorben tergantung tekanan
- Parsial gas, makin besar tekanan makin banyak pula gas yang diserap

2.2.2 Adsorpsi Isotermis

Adsorpsi isotermis adalah hubungan antara jumlah zat yang diadsorpsi dengan kesetimbangan tekanan pada suhu tetap. Persamaan matematika pertama untuk kondisi isothermal diberikan oleh Freundlich dan Küster, 1984, dan ini merupakan formula empiris murni untuk adsorbat fasa gas.

$$\frac{x}{m} = kP^n \quad (2.1)$$

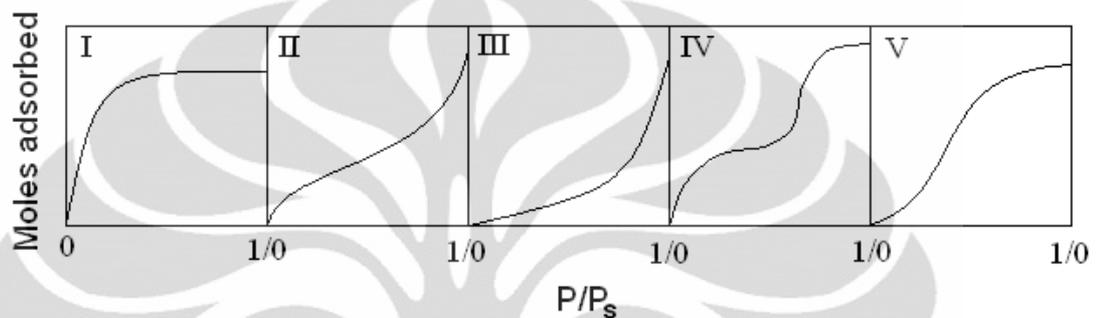
dengan x = kuantitas adsorben

m = massa adsorben

P = tekanan adsorbat

k dan n = konstanta empiris untuk setiap pasangan adsorbat-adsorben pada suhu tertentu

Brunauer mengklasifikasikan adsorpsi isoterms ke dalam lima jenis kurva seperti gambar berikut (Maron and Lando, 1974).



Gambar 2. 2 Kurva Adsorpsi Langmuir dan BET

a. 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 (mikropori) kurang dari 2 nm dan luas area eksternal yang sangat sedikit. Kurva jenis ini biasanya diperoleh dari adsorben karbon aktif dan *zeolit molecular sieve*.

b. Tipe II

Jenis ini adalah bentuk normal isoterm pada adsorben tak berpori (nonpori) atau padatan berpori besar (*macropores*) dengan ukuran lebih besar dari 50 nm 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.

c. 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*).

d. 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).

e. 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.

2.2.2.1 Adsorpsi Isotermis Langmuir

Model yang paling sederhana untuk adsorpsi *monolayer* adalah Langmuir. Model Langmuir pertama kali dikembangkan untuk menunjukkan adsorpsi kimia pada kumpulan tempat adsorpsi yang dilokalisasi. Persamaan umum yang digunakan pada Langmuir adalah (Yang, 1987)

$$\theta = \frac{\omega}{L} = \frac{BP}{1 + BP} \quad (2.2)$$

dimana:

- ω = jumlah mol gas teradsorpsi per satuan massa adsorbent
- θ = fraksi luas permukaan yang tertutup oleh lapisan *monolayer*
- B = konstanta adsorpsi Langmuir yang besarnya bergantung pada temperatur
- P = tekanan adsorpsi
- L = maksimum kapasitas adsorpsi pada model Langmuir dan Model BET

Pada tekanan rendah, persamaan isoterm dapat disederhanakan menjadi bentuk linier mengikuti hukum Henry's sebagai berikut :

$$\theta = BP \quad (2.3)$$

Parameter B dinamakan konstanta afinitas atau konstanta Langmuir. Parameter B mengukur seberapa besar molekul adsorbat yang terserap ke permukaan. Parameter B ini berhubungan dengan kalor adsorpsi (Q), dengan persamaan sebagai berikut:

$$B = \frac{\alpha}{\beta(2\pi mkT)^{1/2}} e^{Q/RT} \quad (2.4)$$

dengan:

α = koefisien *nonperfect sticking*

$k_{d\infty}$ = koefisien kecepatan desorpsi pada temperatur tak terhingga

Persamaan Langmuir di atas didasarkan pada asumsi (Foo and Hameed, 2010):

1. Adsorben dilapisi satu lapisan molekul gas adsorbat (unimolekular atau *monolayer*)
2. Molekul teradsorpsi tidak bebas bergerak pada permukaan
3. Tidak ada interaksi lateral di antara molekul-molekul adsorbat
4. Entalpi adsorpsi sama untuk semua molekul

2.2.2.2 Adsorpsi Isotermis BET

Brunauer, Emmett, dan Teller (BET) mengembangkan model isotermis sederhana untuk menghitung adsorpsi *multilayer* dan model ini digunakan untuk mengetahui kapasitas *monolayer* dan juga luas permukaan spesifik. Konsep teori ini adalah pengembangan dari teori langmuir yang digunakan untuk adsorpsi molekular *monolayer* menjadi teori adsorpsi molekular *multilayer* dengan hipotesis sebagai berikut: molekul gas yang teradsorpsi secara fisik pada permukaan solid pada banyak lapisan dan tanpa adanya interaksi antar tiap lapisan adsorpsi. Model persamaan isotermal dari BET adalah dapat ditulis sebagai berikut (Yang, 1987):

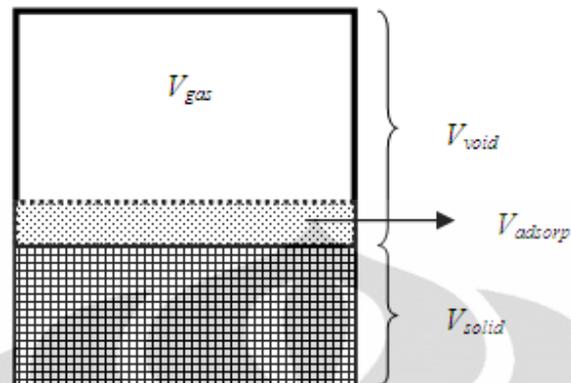
$$\frac{\omega}{L} = \frac{CP}{(P_s - P) \left[1 + (C - 1) \left(\frac{P}{P_s} \right) \right]} \quad (2.5)$$

dimana:

- ω = jumlah mol gas teradsorpsi per satuan unit massa adsorbent
- L = maksimum kapasitas adsorpsi pada model Langmuir dan Model BET
- P = tekanan gas saat teradsorpsi
- P_s = tekanan jenuh adsorbat gas hingga mencapai kapasitas maksimum adsorpsi
- C = parameter adsorpsi isothermis model BET

2.2.2.3 Model Adsorpsi Isothermis Gibbs

Adsorpsi isotherm Gibbs (dikenal juga sebagai *excess adsorption*) merupakan kurva adsorpsi yang diperoleh langsung dari data eksperimen yang didapat. Perbedaan mendasar antara adsorpsi Gibbs dan absolut terletak pada pendekatan perhitungan dari jumlah zat yang tidak teradsorpsi pada suatu adsorben, n_{unads} . Gambar 2.2 mengilustrasikan gas dalam keadaan teradsorpsi serta fasa yang tidak teradsorpsi yang digunakan dalam perhitungan jumlah zat teradsorpsi. Dalam eksperimen, n_{unads} dihitung dengan cara mengabaikan nilai dari volume gas fasa teradsorpsi pada permukaan adsorben (V_{adsorp}) karena sulitnya mengetahui volum gas dalam fasa teradsorpsi tersebut. Sehingga dalam perhitungannya, adsorpsi Gibbs (eksperimen) menggunakan keseluruhan V_{void} , sementara itu, untuk menghitung jumlah zat teradsorpsi yang sebenarnya (adsorpsi absolut) seharusnya menggunakan Volume *bulk gas*, V_{gas} , dalam menghitung jumlah zat yang tidak teradsorpsi.



Gambar 2. 3 Ilustrasi keadaan fasa teradsorpsi pada suatu pori adsorben

$$n_{injection} = \left[\frac{PV}{ZRT} \right]_{\text{dosing cylinder}} \quad (2.6)$$

$$n_{unads} = \left[\frac{PV_{void}}{ZRT} \right]_{\text{adsorption cell}} \quad (2.7)$$

$$n_{ads}^{Gibbs} = n_{injection} - n_{unads} - n_{solute} \quad (2.8)$$

$n_{soluble}$ merupakan jumlah zat yang terlarut pada pelarut yang ada pada adsorben, misalnya pada adsorben yang memiliki kandungan air atau zat pelarut lainnya, namun jika adsorben merupakan adsorben kering, maka $n_{soluble}$ dapat diabaikan. Z merupakan faktor kompresibilitas gas murni yang dihitung berdasarkan kondisi temperatur dan tekanan pada saat diambilnya data.

2.2.2.4 Hubungan Antara Adsorpsi Gibbs dan Adsorpsi Absolut pada Adsorpsi Gas Murni

Berdasarkan Gambar 2.2 dimana terdapat dua fasa homogen, yaitu fasa gas dan fasa teradsorpsi, maka total volume sistem adalah penjumlahan dari volume adsorben, gas, dan volume fasa teradsorpsi.

$$V_{total} = V_{solid} + V_{gas} + V_{ads} \quad (2.9)$$

Volume kosong (V_{void}) yang dihitung menggunakan kalibrasi Helium berhubungan dengan persamaan :

$$V_{void} = V_{gas} - V_{ads} = V_{total} - V_{solid} \quad (2.10)$$

$$n_{ads} = n_{injection} - n_{unads} \quad (2.11)$$

Dalam perhitungan Gibbs, dalam menentukan n_{unads} , mengabaikan volum yang ditempati fasa terkondensasi (teradsorpsi), sehingga dalam perhitungannya menggunakan V_{void} . Persamaan 2.11 menjadi :

$$n_{ads}^{Gibbs} = n_{injection} - \frac{V_{void} \cdot \rho_{gas}}{M_{rgas}} \quad (2.12)$$

Sedangkan pada adsorpsi absolut, persamaan menjadi :

$$n_{ads}^{Abs} = n_{injection} - \frac{V_{gas} \cdot \rho_{gas}}{M_{rgas}} \quad (2.13)$$

Persamaan 2.11, 2.12 dan 2.13 dikombinasikan untuk menghilangkan variabel $n_{injection}$ sehingga menghasilkan hubungan :

$$n_{ads}^{Gibbs} = n_{ads}^{abs} - \frac{V_{ads} \cdot \rho_{gas}}{M_{rgas}} \quad (2.14)$$

$$V_{ads} = \frac{n_{ads}^{abs} \cdot M_{rgas}}{\rho_{ads}} \leftrightarrow n_{ads}^{abs} = \frac{V_{ads} \cdot \rho_{ads}}{M_{rgas}} \quad (2.15)$$

ρ_{ads} merupakan desitas gas fasa teradsorpsi. Persamaan 2.14 dikombinasikan dengan persamaan 2.15, menjadi

$$n_{ads}^{Gibbs} = V_{ads} \left[\frac{\rho_{ads} - \rho_{gas}}{Mr_{gas}} \right] \quad (2.16)$$

Maka hubungan adsorpsi Gibbs dengan adsorpsi absolut dan densitas gas didapat dari kombinasi substitusi persamaan 2.15 terhadap persamaan 2.16, menjadi

$$n_{ads}^{Gibbs} = n_{ads}^{Absolute} \times \left[1 - \frac{\rho_{gas}}{\rho_{ads}} \right] \quad (2.17)$$

n_{adsorp}^{Gibbs} : jumlah gas yang teradsorpsi

$n_{injection}$: jumlah gas yang diinjeksikan ke dalam dozing cylinder

$n_{unadsorp}^{Gibbs}$: jumlah gas yang tak teradsorpsi

V_{void} : volum kosong yang terdapat pada adsorption cell

n_{solute} : jumlah mol gas yang larut (bila ada)

P : tekanan adsorpsi

T : temperatur adsorpsi/operasi

Z : faktor kompresibilitas

R : konstanta gas ideal

Mr : Molecular weight

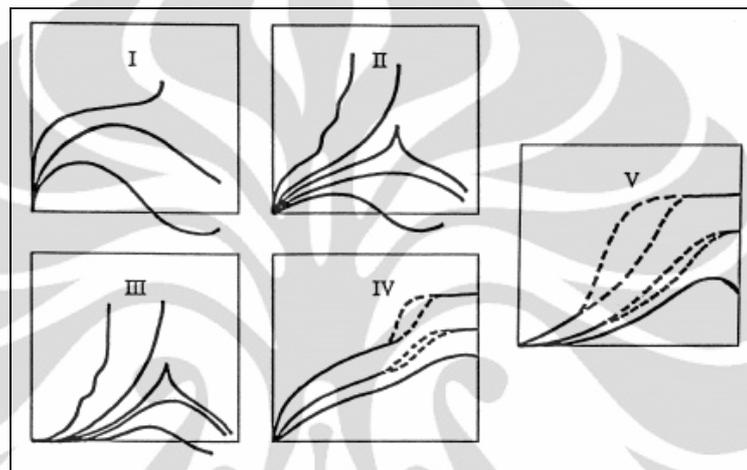
Pada tekanan rendah, profil adsorpsi absolut akan mendekati/hampir identik dengan adsorpsi Gibbs karena densitas gas sangat kecil (jauh lebih kecil daripada

densitas adsorpsi) sehingga $\frac{\rho_{gas}}{\rho_{ads}}$ bisa dianggap 0 dan n_{Gibbs} sama dengan $n_{absolute}$,

sedangkan pada tekanan tinggi, densitas gas akan mendekati densitas gas fasa teradsorpsi/terkondensasi, sehingga n_{Gibbs} akan menurun seiring dengan kenaikan tekanan (walaupun harga $n_{absolut}$ naik) sampai menyentuh sumbu x, dan pada saat itulah proses regresi grafik dapat dilakukan untuk mencari nilai densitas gas dalam fasa teradsorpsi, ρ_{ads} . Untuk menghitung adsorpsi absolut yang didapatkan dari data

adsorpsi Gibbs, maka diperlukan suatu estimasi nilai dari densitas fasa teradsorpsi, ρ_{ads} .

Adsorpsi Gibbs juga terdiri dari 5 tipe (hampir sama seperti tipe adsorpsi Langmuir dan BET). Gambar berikut ini adalah tipe-tipe adsorpsi isotermis Gibbs secara kualitatif (Donohue dan Aranovic, 1999) :



Gambar 2. 4 Profil tipe-tipe kurva isoterm Gibbs

Pada gambar di atas, tekanan merupakan absis dan jumlah zat yang teradsorpsi merupakan ordinatnya, pada klasifikasi ini, tipe I menunjukkan adsorpsi isotermis pada adsorben mikropori untuk kondisi subkritis, dekat dengan dengan titik kritis, dan super kritis. Pada kondisi superkritis, adsorpsi isotermis tidak monoton. Tipe II dan III menunjukkan adsorpsi isotermis pada adsorben makopori dengan afinitas kuat dan lemah. Pada temperature rendah, tipe II dan tipe III mempunyai *step*, tetapi dengan temperatur yang lebih tinggi, kurva tersebut menjadi monoton (seperti pada tipe II dan tipe III adsorpsi isotermis BET), tetapi didekat temperatur kritis, adsorpsi isotermis tipe II dan III ini berubah secara signifikan menjadi tidak monoton yang menunjukkan adanya titik maksimum yang tajam dan pada temperatur yang lebih tinggi menunjukkan adanya titik maksimum yang *smooth*. Tipe IV dan V

menunjukkan adsorpsi isotermis pada adsorben mesopori dengan afinitas yang kuat dan lemah (Donohue dan Aranovic, 1999)

2.2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi, seperti yang tersebut di bawah ini:

2.2.3.1 Sifat adsorben

a. Kemurnian adsorben

Adsorben yang lebih murni memiliki daya adsorpsi yang lebih baik

b. Luas permukaan dan volume/jumlah pori adsorben.

Semakin besar luas permukaan adsorben, maka semakin besar pula jumlah adsorbat yang dapat diserap. Dengan jumlah pori-pori mikro yang sangat banyak pada karbon aktif, akan menimbulkan gejala kapiler yang menyebabkan adanya daya serap.

2.2.3.2 Jenis adsorbat

a. Kepolaran adsorbat

Apabila berdiameter sama, maka molekul-molekul polar lebih kuat diadsorpsi daripada molekul-molekul yang kurang polar. Molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar, yang telah diserap terlebih dahulu.

b. Ukuran molekul adsorbat

Rongga tempat terjadinya adsorpsi dapat dicapai melewati ukuran yang sesuai. Sehingga molekul-molekul yang bisa diadsorpsi adalah molekul-molekul yang berdiameter sama atau lebih kecil dari diameter pori adsorben.

2.2.3.3 Temperatur

Ketika molekul-molekul adsorbat melekat pada permukaan adsorben terjadi pembebasan sejumlah energi (panas). Oleh karena itu, adsorpsi adalah peristiwa

eksotermis. Sesuai dengan azas *Le Chatelier* pada proses fisika, dengan berkurangnya temperatur akan menambah jumlah adsorbat yang teradsorpsi, demikian pula sebaliknya. Adsorpsi fisika yang substansial, biasanya terjadi pada temperatur di bawah titik didih adsorbat terutama 50°C.

2.2.3.4 Tekanan

Peningkatan tekanan adsorbat pada adsorpsi fisika, dapat menaikkan jumlah adsorbat yang diadsorpsi. Sebaliknya pada adsorpsi kimia, peningkatan tekanan adsorbat justru mengurangi jumlah yang diadsorpsi.

2.2.3.5 Pusat aktif

Pada permukaan yang beragam, hanya sebagian permukaan yang mempunyai daya serap. Hal ini dapat terjadi, disebabkan oleh permukaan yang heterogen. Sehingga hanya beberapa jenis zat yang dapat diserap oleh bagian permukaan yang aktif, disebut sebagai pusat aktif (*active center*).

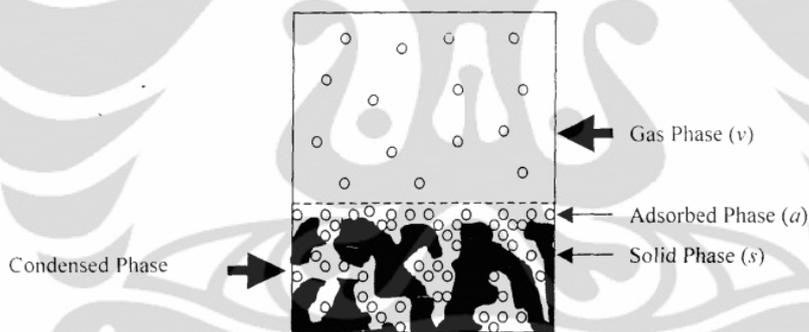
Kelajuan adsorpsi bertambah dengan berkurangnya ukuran partikel adsorben. Sehingga kelajuan ditentukan oleh proses difusi. Ada dua proses difusi yang menentukan proses adsorpsi, yaitu:

- a. Proses difusi pada suatu lapisan tipis cairan di sekeliling partikel adsorben, yang disebut dengan difusi film.
- b. Proses adsorpsi dalam partikel adsorben, yang disebut difusi partikel.

Proses difusi ditentukan oleh beberapa faktor yang meliputi besar dari muatan partikel adsorben, besar dari muatan molekul atau ion adsorbat dari konsentrasi larutan adsorbat. Parameter fisis yang berpengaruh pada proses adsorpsi, biasanya dinyatakan sebagai jenis adsorben, waktu adsorpsi, konsentrasi awal larutan adsorbat, komposisi adsorbat, ukuran partikel adsorben, dosis partikel, dan temperatur larutan adsorbat.

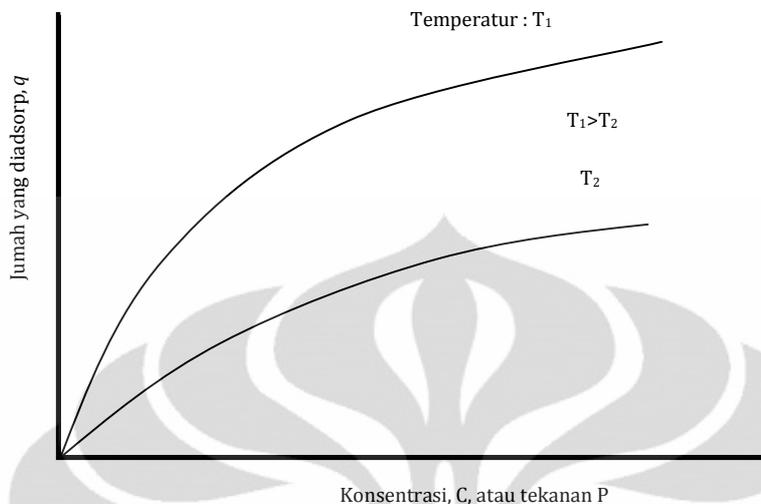
2.2.4 Kestimbangan Adsorpsi

Proses adsorpsi, kapasitas maksimum dari adsorben tidak pernah tercapai dikarenakan adanya efek dari proses perpindahan massa yang terjadi pada kontak zat padat dan gas. Untuk memperkirakan proses dinamika kapasitas adsorpsi diperlukan studi tentang kestimbangan yang terjadi pada proses adsorpsi. Gambar 2.4 mengilustrasikan keadaan pada proses adsorpsi terjadi. Kestimbangan adsorpsi meliputi aspek kemampuan/kapasitas adsorben untuk menyerap adsorbat pada kondisi tertentu (temperatur dan tekanan) dan bagaimana proses adsorpsi jika fluida yang digunakan berupa campuran dari beberapa komponen. Dalam studi ini, banyak sekali studi empirik dan teoritis yang dicapai, beberapa ilmuwan telah banyak meneliti tentang kestimbangan adsorpsi diantaranya Ross dan Oliver (1964), Ruthven (1984), dan Myers (1988)



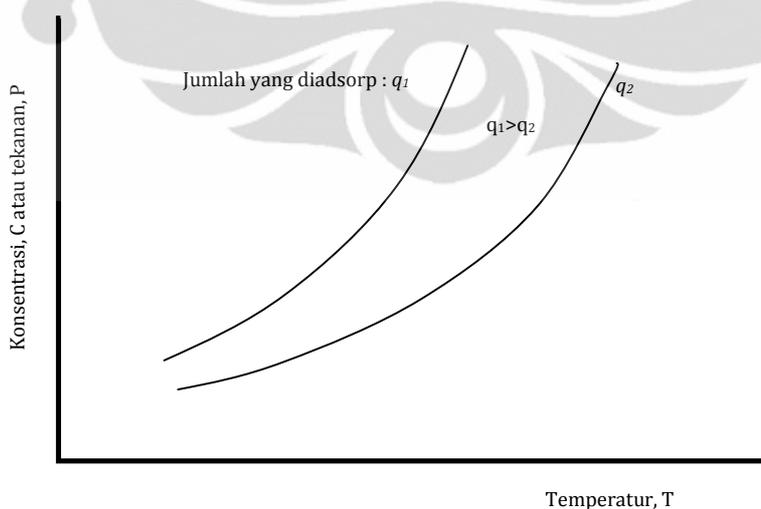
Gambar 2. 5 Adsorpsi gas pada material berpori pada kondisi kestimbangan (Sudibandriyo, 2003)

Pada saat adsorben dikontakan pada fluida pada komposisi tertentu, adsorpsi terjadi. Adsorben dan fluida adsorbat mencapai kestimbangan antara adsorpsi dan desorpsinya. Profil adsorpsi gas pada permukaan mikropori dapat dilihat dibawah ini



Gambar 2. 6 Profil kurva pengaruh tekanan terhadap jumlah zat yang diadsorp dalam temperatur berbeda (Ruthven, 1984)

Gambar 2.7 menunjukkan hubungan antara jumlah zat yang teradsorpsi, q , dan konsentrasi dari fluida, C , pada temperatur T disebut adsorpsi isoterms pada suhu T , sedangkan adsorpsi yang ditunjukkan oleh hubungan antara konsentrasi dan temperatur yang menghasilkan sejumlah zat yang teradsorpsi seperti pada Gambar 2.8 disebut adsorpsi isostere.



Gambar 2. 7 Profil kurva adsorpsi isostere(Ruthven, 1984)

Data kesetimbangan yang dihasilkan pada temperatur yang konstan, menunjukkan hubungan antara jumlah zat yang teradsorpsi per unit massa padatan dan tekanan sistemnya (tekanan adsorbat). Adsorpsi isoteremis dapat dihitung dengan mengukur tekanan adsorbat pada saat awal (sebelum terjadi kesetimbangan) dan pada saat terjadi kesetimbangan (Bahl, *et al*, 1997; Ruthven, 1993; Sundstorm dan Herbert, 1979).

2.3 Adsorben

Berdasarkan struktur dari unsur pembangunnya, adsorben dapat digolongkan menjadi dua, yaitu adsorben tak berpori (*non porous adsorbents*) dan adsorben berpori (*porous adsorbents*).

1. Adsorben tak berpori

Adsorben tak berpori dapat diperoleh dengan cara presipitasi deposit kristalin seperti BaSO₄ atau penghalusan padatan kristal. Luas permukaan spesifiknya kecil, tidak lebih dari 10 m²/g. Umumnya luas permukaan spesifiknya antara 0,1-1 m²/g. Bahan tak berpori seperti filer karet (*rubber filler*) dan karbon hitam bergrafit (*graphitized carbon blacks*) adalah jenis adsorben tak berpori yang telah mengalami perlakuan khusus, sehingga luas permukaannya dapat mencapai ratusan m²/g.

2. Adsorben berpori

Luas permukaan spesifik adsorben berpori berkisar antara 100-1000 m²/g. Biasanya dipergunakan sebagai penyangga katalis, dehidrator dan penyeleksi komponen, umumnya berbentuk granular. Beberapa jenis adsorben berpori yang terkenal adalah : silika gel, alumina, karbon aktif, zeolit (*molecular sieves*), dan *porous glasses*.

Tabel 2. 3 Karakteristik adsorben beserta kegunaan dan kerugiannya.

Tipe	Karakteristik	Kegunaan	Kerugian
Karbon aktif	Hidrofobik	Pemisahan polutan organik	Sulit untuk diregenerasi
Zeolite	Hidrofilik, polar	Pemisahan udara	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

Kebanyakan adsorben industri termasuk salah satu dari tiga kelas di bawah ini:

- Senyawa yang mengandung oksigen – biasanya hidrofilik dan polar, termasuk material seperti jel silika dan zeolite
- Senyawa berbasis karbon – biasanya hidrofobik dan non-polar, termasuk material seperti karbon teraktivasi dan grafit,
- Senyawa berbasis polimer – merupakan gugus fungsi polar dan non-polar di dalam matriks polimer.

Kriteria kinerja adsorbent dapat dilihat dari parameter berikut ini (Deng, Shuguang, 2008):

1. Selektivitas tinggi
2. Kapasitas adsorpsi besar
3. Kinetika adsorpsi cepat
4. Mudah digenerasi

5. Kekuatan mekanik tinggi
6. Murah

Untuk mencapai kinerja di atas adsorben harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Volume pori internal besar
2. Luas permukaan besar
3. Distribusi pori mikro
4. Ikatan adsorbat dan adsorben lemah (adsorpsi fisika)
5. Stabil secara mekanik
6. Bahan baku murah

2.3.1 Zeolit

Zeolit alam terbentuk dari reaksi antara batuan tufa asam berbutir halus dan bersifat riolitik dengan air pori atau air meteorik. Penggunaan zeolit adalah untuk bahan baku *water treatment*, pembersih limbah cair dan rumah tangga, untuk industri pertanian, peternakan, perikanan, industri kosmetik, industri farmasi, dan lain-lain. Zeolit terdapat di beberapa daerah di Indonesia yang diperkirakan mempunyai cadangan zeolit sangat besar dan berpotensi untuk dikembangkan, yaitu Jawa Barat dan Lampung.

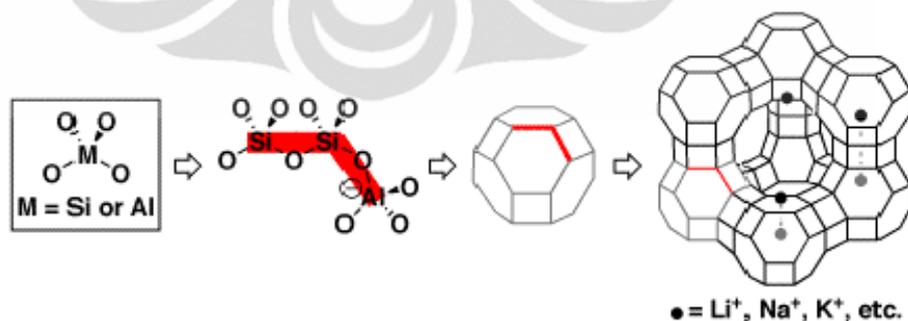
2.3.1.1 Struktur Zeolit

Zeolit adalah hasil dari pengkristalan alumino silikat yang terbentuk Kristal yang memiliki pori-pori yang seragam. Zeolit terdiri dari SiO_4 dan AlO_4 tetrahedra, dimana tetrahedra tersusun oleh 4 anion oksigen yang menyebar mengelilingi suatu ion silikon dan ion aluminium. Setiap atom oksigen bermuatan -2, tiap atom silikon bermuatan +4 dan akan membentuk silika tetrahedral yang tidak bermuatan (netral) sedangkan atom aluminium akan membentuk juga alumina tetrahedral dengan mengikat sisa muatan -1 dari tiap atom oksigen sehingga terjadi keseimbangan ion dan membentuk kristal yang mempunyai pori-pori dimensi molekular dan menjadi molekul-molekul yang dapat menetrasi.

Pertukaran ion-ion ini terjadi menuju ke posisi susunan rangka yang lebih cocok sehingga menjadi komposisi yang kuat sebagai adsorben. Pertukaran kation-kation dengan menggunakan ion exchange akan sangat membantu menjadi adsorben yang kuat. Struktur mikropori yang membentuk kristal akan mempunyai ukuran pori yang seragam tanpa diketahui ukuran pori semula. Permukaan ini yang membedakan zeolit sebagai adsorben dari permukaan pori yang dimiliki oleh adsorben lainnya.

Seperti halnya mineral kwarsa dan felspar, maka mineral zeolit mempunyai struktur kristal 3 dimensi tetrahedra silikat yang biasa disebut *tectosilicate*. Dalam struktur ini sebagian silikon (tidak bermuatan atau netral) terkadang diganti oleh aluminium bermuatan listrik, sehingga muatan listrik kristal zeolit tersebut bertambah. Kelebihan muatan ini biasanya diimbangi oleh kation-kation logam K, Na, dan Ca yang menduduki tempat tersebar dalam struktur zeolit alam yang bersangkutan. Dalam susunan kristal zeolit terdapat dua jenis molekul air, yaitu molekul air yang terikat kuat dan molekul air yang bebas.

Berbeda dengan struktur kisi kristal kwarsa yang kuat dan pejal, maka struktur kisi kristal zeolit terbuka dan mudah terlepas. Volume ruang hampa dalam struktur zeolit cukup besar hingga mencapai 50 Angstrom, sedangkan garis tengah ruang hampa tersebut bermacam-macam, berkisar antara 2A hingga lebih dari 8A, tergantung dari jenis mineral zeolit yang bersangkutan. Dibawah ini struktur dari zeolit.



Gambar 2. 8 Struktur zeolit (Sivaguru, 2004)

Rasio Si terhadap Al pada suatu zeolit tidak kurang dari 1. Komposisi adsorben akan mengalami transisi atom-atom aluminium secara sistematis dan kaya akan atom aluminium, sehingga menjadi bersifat afinitas tinggi terhadap air dan senyawa polar lainnya, sedangkan struktur mikropori silika seperti silikalite menyebabkan sifat *hydrophobic* dan menyerap n-parafin terhadap air. Transisi dari *hydrophilic* menjadi *hydrophobic* akan terjadi jika rasio Si terhadap Al antara 8 hingga 10. Setiap adsorben zeolite akan memiliki jenis yang berbeda-beda tergantung pada struktur rangka dari rasio perbandingan Si terhadap Al dan bentuk susunan kation, dengan perbedaan komposisi tersebut akan pula menjadi adsorben yang selektif dalam pemilihan molekul yang akan dipisahkan.

2.3.1.2 Sifat Zeolit

Zeolit mempunyai sifat dehidrasi (melepaskan molekul H₂O) apabila dipanaskan. Pada umumnya struktur kerangka zeolit akan menyusut. Tetapi kerangka dasarnya tidak mengalami perubahan secara nyata. Disini molekul H₂O seolah-olah mempunyai posisi yang spesifik dan dapat dikeluarkan secara reversibel. Sifat zeolit sebagai adsorben dan penyaring molekul, dimungkinkan karena struktur zeolit yang berongga, sehingga zeolit mampu menyerap sejumlah besar molekul yang berukuran lebih kecil atau sesuai dengan ukuran rongganya. Selain itu kristal zeolit yang telah terdehidrasi merupakan adsorben yang selektif dan mempunyai efektivitas adsorpsi yang tinggi.

Zeolit juga sering disebut sebagai *molecular sieve/molecular mesh* (saringan molekuler) karena zeolit memiliki pori-pori berukuran molekuler sehingga mampu memisahkan/menyaring molekul dengan ukuran tertentu. Zeolit mempunyai beberapa sifat antara lain : mudah melepas air akibat pemanasan, tetapi juga mudah mengikat kembali molekul air dalam udara lembab. Oleh sebab sifatnya tersebut maka zeolit banyak digunakan sebagai bahan pengering. Disamping itu zeolit juga mudah melepas kation dan diganti dengan kation lainnya, misal zeolit melepas natrium dan digantikan dengan mengikat kalsium atau magnesium. Sifat ini pula menyebabkan zeolit dimanfaatkan untuk melunakkan air. Zeolit dengan ukuran rongga tertentu

digunakan pula sebagai katalis untuk mengubah alkohol menjadi hidrokarbon sehingga alkohol dapat digunakan sebagai bensin.

Kemampuan zeolit sebagai katalis berkaitan dengan tersedianya pusat-pusat aktif dalam saluran antar zeolit. Pusat-pusat aktif tersebut terbentuk karena adanya gugus fungsi asam tipe Bronsted maupun Lewis. Perbandingan kedua jenis asam ini tergantung pada proses aktivasi zeolit dan kondisi reaksi. Pusat pusat aktif yang bersifat asam ini selanjutnya dapat mengikat molekul-molekul basa secara kimiawi. Sedangkan sifat zeolit sebagai penukar ion karena adanya kation logam alkali dan alkali tanah. Kation tersebut dapat bergerak bebas di dalam rongga dan dapat dipertukarkan dengan kation logam lain dengan jumlah yang sama. Akibat struktur zeolit berongga, anion atau molekul berukuran lebih

2.3.1.3 Pemanfaatan Zeolit

Pemanfaatan zeolit telah mengalami pengembangan sedemikian rupa sehingga dapat digunakan untuk beberapa keperluan dalam industry, pertanian, dan lingkungan, terutama untuk menghilangkan bau, karena zeolit dapat menyerap molekul-molekul gas seperti CO, CO₂, H₂S dan lainnya.

Kemampuan zeolit aktif untuk mengadsorb gas ditentukan oleh ukuran diameter saluran yang berkisar antara 2,5 Å sampai 4,3 Å (tergantung pada jenis zeolit). Pada ukuran saluran tertentu, memungkinkan zeolit untuk bertindak sebagai *molecular gas sieves* dan secara selektif mengadsorb gas seperti ammonia, hidrogen sulfida, karbon monoksida, karbon dioksida, sulfur dioksida, uap air, oksigen, nitrogen, formaldehid, dan lain sebagainya. Terdapat suatu hasil penelitian yang dilakukan oleh Youchang Xie, dkk bahwa gas CO dapat diserap dengan sangat efektif menggunakan zeolit yang dimodifikasi dengan CuCl pada suhu 30°C. (Xie, Youchang, 1996).

2.3.1.4 Jenis-jenis Zeolit

Zeolit tersusun atas tetrahedral alumina dan silika sehingga kandungan Si dan Al turut mempengaruhi struktur yang terbentuk. Berdasarkan perbandingan Si/Al tersebut beberapa zeolit dikelompokkan sebagai berikut (Riberio, dkk, 1984)

- Zeolit dengan kadar Si/Al rendah (1-1,5) Yaitu zeolit Adan X
- Zeolit dengan kadar Si/Al menengah (1,5-10)
 - a. Zeolit alam
 - Erionit, chabazit, clinoptilolit, mordenit.
 - b. Zeolit sintetis
 - Y, L, omega, mordenit dengan pori besar.
- Zeolit dengan kadar Si/Al tinggi (10-100)
 - a. Dari modifikasi kerangka Y dari jenis yang kaya akan silika, mordenit, erionit
 - b. Hasil sintetis langsung ZSM-5

2.3.1.5 Zeolit Alam Lampung

Zeolit, disamping dapat menyerap senyawa *carcinogenic nitrosamines* (NDMA and NPYR) tetapi juga secara katalitik mendegradasi karsinogenik berbahaya menjadi senyawa dengan tingkat karsinogenik lebih rendah pada suhu tertentu, meskipun ada gas N₂. Terlihat dari penemuan peneliti sebelumnya bahwa zeolit merupakan salah satu material yang berpotensi digunakan sebagai adsorben.

Zeolit alam Lampung memiliki komposisi 78% klinoptilolit, analsim 14% dan modernit 8%. Klinoptilolit memiliki persamaan kimia (NaK)₆(Al₆Si₃₀O₇₂).20H₂O. Rumus molekul zeolit alam Lampung adalah Na_{2,94}K_{1,35}Ca_{0,63}Mg_{0,21}Al_{6,25}Si_{29,74}O₇₂.24H₂O. Komposisi kimia zeolit alam Lampung dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 2. 4 Komposisi Kimia Zeolit Alam Lampung (debby, 2010)

Senyawa	Prosentase
SiO ₂	72,6
Al ₂ O ₃	12,4
Fe ₂ O ₃	1,19
Na ₂ O	0,45
TiO ₂	0,16
MgO	1,15
K ₂ O	2,17
CaO	3,56
Lain-lain	6,32

Klinoptilolit memiliki atom Al sedikit sehingga kapasitas pertukaran ionnya kecil. Hal ini berarti bahwa sebagian besar ion pusat struktur adalah silica yang bermuatan +4 dan mengikat empat atom oksigen sehingga netral. Adanya ion Al yang bermuatan +3 menjadikan struktur tidak stabil dan menarik kationkation di sekitarnya untuk menetralkan muatan.

Selain itu Al dapat ditukar dengan ion-ion lain untuk menghasilkan zat padat baru yang berpori. Jenis klinoptilolit sangat baik digunakan sebagai penapis molekul yaitu penyerap molekul-molekul dari udara, limbah (Lab. Pertamina Pulogadung).

Pada umumnya zeolit yang didapatkan dari alam masih mengandung banyak zat pengotor dan masih berbentuk batuan yang dapat mengurangi kegunaan dari zeolit itu. Untuk meningkatkan nilai tambah zeolit dan pemanfaatannya untuk proses adsorpsi, dibutuhkan suatu perlakuan awal dan pengaktifan zeolit alam tersebut. Zeolit alam harus dibuat menjadi butiran-butiran agar luas permukaan serapannya lebih besar kemudian dibersihkan dari senyawa pengotornya.

Zeolit merupakan aluminosilikat kristalin dari elemen alkali dan alkali tanah dengan stoikiometrinya :



Pada saat adsorben mencapai kapasitas adsorpsi maksimum, (ditandai dengan mulai jenuhnya adsorben) maka perlu dilakukan suatu proses untuk mendapatkan kembali kemampuan adsorpsi dari adsorben yang telah jenuh tersebut. Proses ini disebut dengan nama regenerasi.

1. Regenerasi fisika

Metode yang paling umum untuk regenerasi fisika adalah membersihkan pengotor atau adsorbat dengan meletakkan adsorben dalam unggun yang dilalui gas panas. Suhu dan tekanan operasi dalam proses ini disesuaikan dengan karakteristik adsorben. Suhu keluaran gas umumnya lebih tinggi sekitar 10°C daripada suhu pada ujung unggun.

2. Regenerasi kimia

Regenerasi kimia dilakukan dengan cara pertukaran ion berdasarkan deret keaktifan ion. Berbeda dengan regenerasi fisika, regenerasi kimia dapat meningkatkan daya adsorpsi dari adsorben. Hal ini disebabkan oleh ion regeneran yang bukan saja mampu mengusir ion adsorbat, namun ion tersebut juga dapat meningkatkan *driving force* adsorben sehingga kinerja adsorben setelah diregenerasi menjadi baik.

2.3.1.6 Metode Aktivasi Zeolit

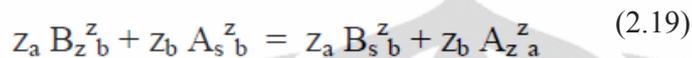
Proses aktivasi zeolit dilakukan untuk menghasilkan zeolit dengan sifat-sifat yang diinginkan sehingga dapat digunakan sebagai katalis. Terdapat beberapa tahap dalam melakukan aktivasi terhadap zeolit. Adapun tahapan tersebut adalah dealuminasi, pertukaran ion, dan kalsinasi (Scott, Kathleen, Prabir, 2003).

1. Dealuminasi

Metode ini adalah teknik yang digunakan untuk mengurangi kandungan alumunium zeolit. Teknik ini merupakan kalsinasi bentuk amonium zeolit dalam sistem uap air. Proses ini menyebabkan pergeseran tetrahedral alumunium dari posisi rangka ke posisi non rangka tetapi tidak menghilangkan alumunium dari zeolit. Pada proses ini dilakukan pencucian zeolit dengan asam kuat. Larutan asam yang umumnya digunakan adalah asam florida (HF) dan asam klorida (HCl). Florida maupun klorida adalah zat yang sangat sensitif terhadap zeolit, dimana hal tersebut tergantung pada kondisi perlakuannya seperti konsentrasi, lamanya pencucian, kadar air, dan temperatur pencucian. Alumina dan silika dapat bereaksi dengan florida dan klorida pada kondisi yang tidak terlalu pekat dan lingkungan biasa (temperatur kamar). Dealuminasi zeolit dengan florin akan menghasilkan $AlF_x(OH)_y$ dan dengan klorin akan menghasilkan $AlCl_x(OH)_y$.

2. Pertukaran Ion

Pertukaran ion dalam zeolit adalah proses dimana kation yang ada dalam sistem pori intrakristalin ditutup dengan kation lain yang berasal dari larutan. Larutan zeolit akan mencapai kesetimbangan sesuai dengan persamaan berikut:



Keterangan : A dan B : kation yang dipertukarkan
 Za dan Zb : muatan masing-masing kation
 Z dan S : zeolit dan larutan

Pertukaran ion tersebut tidak akan berlangsung sempurna jika konsentrasi larutan yang digunakan tidak sangat besar atau temperatur sistem dinaikkan sehingga menggeser kesetimbangan. Dalam pertukaran ion tersebut, terdapat dua hal penting yaitu jenis dan konsentrasi dari larutan pertukaran ion yang digunakan (Royae, dkk, 2007).

3. Kalsinasi

Kalsinasi adalah perlakuan panas terhadap zeolit pada temperatur yang relatif tinggi dalam *furnace*. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan zat organik yang dikandung zeolit, juga untuk menguapkan amoniak zeolit sehingga diperoleh H-zeolit. Mekanismenya adalah sebagai berikut:



Dimana K adalah kation (umumnya logam alkali). Persamaan (2.21) merupakan hasil dari pertukaran ion, yaitu antara K-zeolit dengan larutan NH_4NO_3 , sedangkan persamaan (2.20) merupakan proses kalsinasi. Pada proses kalsinasi ini terjadi penyusunan kembali alumina silika yang tidak stabil menjadi bentuk yang lebih stabil dan menghasilkan susunan kristal yang lebih baik.

2.3.1.7 Zeolit sebagai penyangga katalis

Penyangga katalis memiliki berbagai fungsi. Namun fungsi utama dari penyangga adalah untuk menyediakan luas permukaan yang besar bagi inti aktif contohnya adalah platina yang merupakan katalis logam pada berbagai proses katalisis akan memiliki aktivitas yang tinggi apabila luas permukaan Kristal platinumnya ditingkatkan dengan penambahan penyangga. Penyangga yang sering digunakan dengan luas permukaan yang besar adalah: α - Al_2O_3 , SiO_2 , Karbon aktif Tanah liat diatom, SiO_2 - AlO_3 . Untuk menentukan logam apa yang memiliki aktivitas baik, maka dapat dianalisis dari orbital elektronnya karena kekuatan adsorpsi antara logam katalis dan dengan adsorbat tergantung hal tersebut. Namun ada beberapa hal penting yang harus mendapatkan perhatian setelah menentukan katalis berdasarkan berdasarkan orbital elektronnya, yaitu : termodinamika reaksi, geometri, selektivitas dan faktor keracunan katalis.

Aktivitas katalitik mencapai maksimum apabila logam memiliki satu orbital d kosong, dengan demikian unsur-unsur Co, Ni, Rh, Pd, Ir dan Pt umumnya logam paling aktif pada reaksi sedangkan unsur-unsur dengan banyak orbital d yang kosong seperti Ti, V, Cr, Cb, Mo dan W cenderung tidak aktif pada reaksi dikarenakan adsorbs kuat mereka pada reaktan-reaktan atau produk reaksi

2.3.2 TiO_2

TiO_2 termasuk salah satu jenis oksida logam yang merupakan katalis semikonduktor pada proses fotokatalisis. Diantara sekian banyak jenis semikonduktor, hingga saat ini TiO_2 memegang peranan utama dalam proses-proses fotokatalisis karena berbagai kelebihan sifat-sifat kimia fisiknya seperti aktivitas fotokatalisisnya yang tinggi, stabil, dan tidak beracun. Secara komersil, TiO_2 juga memiliki kelebihan dibandingkan dengan fotokatalis lainnya kerana mudah didapat dan diproduksi dalam jumlah besar. Hal ini dapat dibandingkan dengan oksida logam lainnya seperti ZnO yang aktivitasnya berkurang seiring berjalannya waktu karena mengalami proses korosi, CdS yang beracun, ataupun Fe_2O_3 yang daya oksidasinya

lemah. Terdapat beberapa kelebihan TiO_2 dibandingkan bahan semikonduktor lainnya yaitu :

1. Secara umum memiliki aktivitas fotokatalisis yang lebih tinggi daripada fotokatalis lain seperti ZnO , CdS , WO_3 , dan SnO_2 .
2. Tidak beracun dan tidak larut dalam kondisi eksperimen
3. Bersifat inert dalam reaksi
4. Mempunyai sifat stabil terhadap cahaya (fotostabil)
5. Mampu menyerap dengan baik cahaya ultraviolet.
6. Memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi, termasuk zat organik yang sulit terurai sekalipun seperti haloaromatik, polimer, herbisida, dan pestisida.
7. Relatif murah jika digunakan dalam jumlah besar

Ada tiga jenis struktur kristal TiO_2 yaitu *anatase*, *rutile*, dan *brookite*. Kristal-kristal ini terkadang memiliki pengotor seperti besi, kromium, ataupun vanadium dalam jumlah yang kecil (Othmer, 1997). Perbedaan diantara ketiga bentuk kristal dari TiO_2 dapat dilihat pada Tabel 2.7. Anatase merupakan bentuk alotrofik yang paling aktif dibandingkan bentuk lainnya. Secara termodinamika, bentuk anatase lebih stabil dan pembentukannya secara kinetik lebih baik pada suhu rendah. Temperatur rendah ini dapat menjelaskan luas permukaan yang tinggi untuk adsorpsi dan untuk katalisis.

Tabel 2. 5 Perbandingan sifat dari berbagai bentuk kristal TiO_2

Sifat	Anatase	Brookite	Rutile
Bentuk Kristal	Tetragonal	Orthorombik	Tetragonal
Band gap, eV	3,25	3,05	3,0
Banyaknya TiO_2 /unit sel	4	8	2
Volume per TiO_2 , nm^3	0,03407	0,03211	0,03122
Massa jenis teoritis, kg/m^3	3895	4133	4250
Tingkat kekerasan, skala Moh	5,5-6		7-7,5

(Othmer, 1997)

2.4 Preparasi zeolit alam termodifikasi TiO₂ dengan Metode Sol-Gel

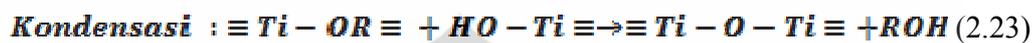
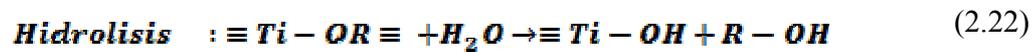
Pada penelitian ini, TiO₂ akan diimobilisasi pada penyangga. Dengan imobilisasi fotokatalis, maka tidak diperlukan pemisahan fotokatalis serbuk dari suspensi setelah reaksi. Salah satu teknik immobilisasi yang sering digunakan adalah metode sol-gel.

Metode sol-gel merupakan salah satu metode preparasi yang paling luas penggunaannya karena kapabilitasnya dalam mengontrol tekstural dan sifat-sifat permukaan mixed oxide. Sol gel merupakan teknik yang paling banyak digunakan pada preparasi mikrostruktur (nanosized catalys) dengan aktifitas fotokatalitik yang tinggi. Metode ini dapat menghasilkan fotokatalis yang transparan, dengan disperse/penyebaran fotokatalis berstruktur tetrahedral yang tinggi.

Sol merupakan suatu sistem yang memungkinkan spesies kimia padat tersuspensi stabil dalam larutan, sedangkan gel merupakan cairan yang terjebak dalam jaringan partikel padat. Pembentukan gel terjadi ketika sol terdestabilisasi. Keadaan sol yang tidak stabil ini juga dapat membentuk endapan spesies sol sebagai partikel agregat maupun endapan sol sebagai partikel bukan agregat.

Proses sol-gel dapat diperbaharui oleh beberapa faktor seperti konsentrasi dan tipe prekursor yang digunakan, temperatur, bentuk geometrid an ukuran bejana serta ada atau tidaknya pengadukan. Pembentukan gel dari sol dapat berlangsung dalam beberapa detik hingga beberapa hari. Proses sol gel meliputi reaksi hidrolisis dan kondensasi yang berlangsung lebih dominan dari tahapan yang lain. Keuntungan proses sol-gel antara lain, materi yang terbentuk memiliki homogenitas dan kemurnian yang tinggi, proses pembentukan struktur dapat diatur, kondisi sintesis dapat divariasikan, serta dapat diaplikasikan untuk pembuatan katalis. Proses sol-gel meliputi reaksi hidrolisis dan kondensasi yang berlangsung lebih dominan dari tahapan yang lain Proses sol-gel dimulai dari melarutkan senyawa precursor (misalnya alkoksida) dalam pelarut organik, kemudian dihidrolisis secara perlahan

untuk memperoleh gel. Sol yang sedang membentuk gel ini dilapiskan ke permukaan padatan sebelum terhidrolisis sempurna dan proses kalsinasi.



Pelapisan sol pada permukaan padatan dapat dilakukan dengan penyemprotan (sputtering), pemutaran (spin coating) dan pencelupan (dip coating). Pada penelitian ini pelapisan sol pada permukaan zeolit akan dilakukan dengan cara dip coating termodifikasi.

Hal-hal yang mempengaruhi keaktifan katalis dengan metode sol-gel adalah:

- Pengaruh suhu saat pembuatan katalis

Suhu kalsinasi saat pembuatan katalis mempengaruhi struktur Kristal yang terbentuk. Pada fotokatalis TiO_2 , bentuk Kristal anatase terbentuk mulai dari suhu 120°C hingga 500°C . sedangkan pada suhu 700°C mulai terbentuk Kristal rutil. Struktur Kristal mempengaruhi keaktifan fotokatalis tersebut.

- Pengaruh ketebalan katalis film

Keaktifan katalis meningkat seiring meningkatnya ketebalan katalis hingga mencapai ketebalan optimum, kemudian keaktifan katalis akan menurun meskipun ketebalan katalis bertambah.

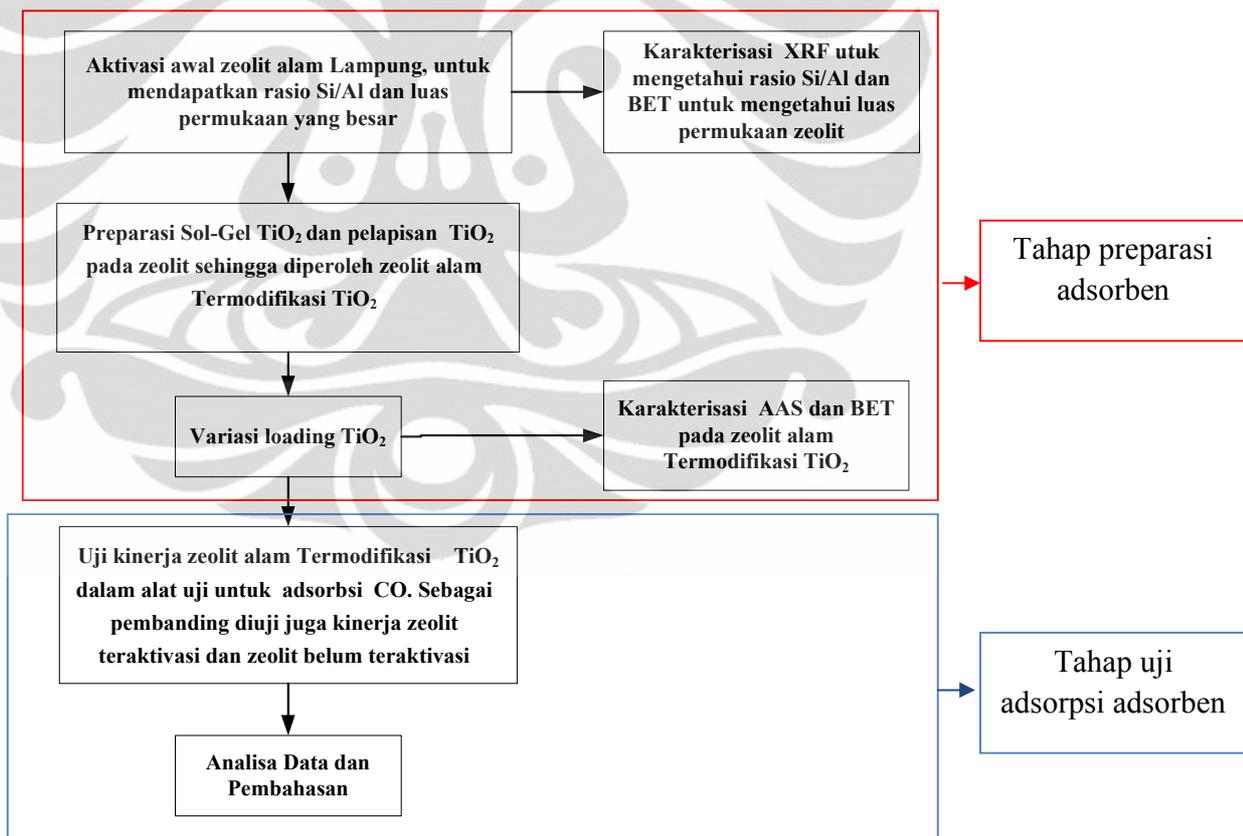
BAB 3

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Alam (RPKA) dan kimia Dasar, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, yang terdiri dari 2 tahap yaitu:

1. Preparasi adsorben
2. Uji adsorpsi adsorben

Diagram alir penelitian secara umum dapat dilihat pada diagram 3.1



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian secara umum

3.1 Peralatan Percobaan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini dikelompokkan menjadi alat untuk pembuatan zeolit alam termodifikasi TiO_2 , alat untuk uji kinerja zeolit alam termodifikasi TiO_2 , alat untuk karakterisasi zeolit alam termodifikasi TiO_2 dan alat untuk analisa sampel.

3.1.1 Alat Pembuatan Zeolit alam termodifikasi TiO_2

Alat-alat yang digunakan untuk pembuatan zeolit alam termodifikasi TiO_2 yaitu:

1. Beaker glass
2. Spatula kaca
3. *Magnetic stirrer*
4. Kertas saring dan corong
5. *Atmospheric furnace*
6. Cawan
7. Pipet tetes dan pipet volume
8. pH meter
9. Timbangan mekanik
10. Alat ultrasonikasi

3.1.2 Alat Karakterisasi Zeolit alam termodifikasi TiO_2

1. AAS di Fakultas MIPA Ilmu Material Universitas Indonesia.
2. XRF di INTERTEK
2. BET Autosorb-6 merk QUANTACROME di lab RPKA Departement Teknik Kimia Universitas Indonesia.

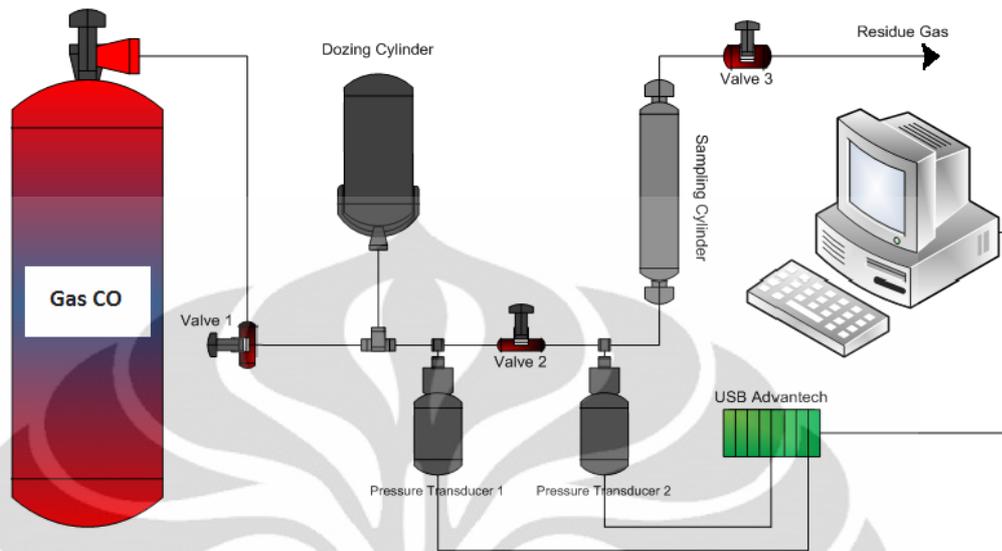
3.1.3 Alat Uji Kinerja Zeolit alam termodifikasi TiO_2

Alat-alat yang digunakan untuk uji aktivasi zeolit alam termodifikasi TiO_2 meliputi:

1. *Dozing Cylinder*

2. *Pressure Transducer (Omegadyne)*
3. Oven
4. CO storage
5. Termometer/termokopel
6. Timbangan
7. Pengontrol suhu
8. *USB Data Acquisition (Advantech USB 4718)*
9. *Power Supply Regulator*
10. Perangkat komputer

Alat uji yang akan digunakan adalah alat uji adsorpsi gas tekanan tinggi yang ada di Lab. RPKA DTK UI. *Adsorption Storage* berbentuk silinder berdiameter 1 cm yang dilengkapi dengan *pressure transducer* pada pipa penyelurnya yang dihubungkan dengan komputer dengan *software* Adam View dan USB Data Acquisition. Pembacaan parameter tekanan dan temperatur merupakan suatu kalibrasi tegangan listrik yang dihasilkan dari *pressure transducers* dan diterjemahkan sebagai besaran tekanan dan temperatur oleh computer dengan bantuan USB Data Acquisition.



Gambar 3. 2 Skema ruang uji

3.2 Bahan-Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi bahan untuk preparasi awal zeolite, bahan preparasi TiO_2 , bahan uji kinerja zeolit alam termodifikasi TiO_2 dan bahan analisa sampel.

3.2.1. Bahan *Treatment* Awal Zeolit

Bahan-bahan yang digunakan untuk treatment awal zeolit alam Lampung adalah:

- Zeolit alam Lampung
- HF 2 % (Merck)
- HCL 6 M (Merck)
- NH_4Cl 0,1 M (Merck)
- Demineralized water

3.2.2 Bahan-bahan Preparasi Sol-Gel TiO_2

Bahan-bahan yang digunakan untuk preparasi Sol-Gel TiO_2 yaitu:

- Titanium Isopropoxide bis Acetis Acetonat [$\text{Ti}(\text{Opr})_4$ Acac] 75% berat

- Ethanol (Merck)
- Demineralized water
- HCl 37 % (Merck)

3.2.3 Bahan-bahan Uji Kinerja Zeolit alam termodifikasi TiO₂

Bahan-bahan yang digunakan untuk uji Kinerja zeolit alam termodifikasi TiO₂ adalah:

1. Zeolit alam termodifikasi TiO₂
2. Gas Helium *High Purity (99,995%)*
3. Gas Carbon monoksida (CO) *High Purity (99,995%)*
4. *Glass woll (Merck)*

3.3 Variable Dalam Penelitian

Variasi kandungan TiO₂ pada zeolit alam termodifikasi TiO₂. Variasi ini dilakukan untuk mendapatkan material zeolit dengan jumlah loading TiO₂ yang optimum dalam penyerapan CO. Variasi loading ini dilakukan dengan cara memvariasikan konsentrasi [Ti(Opr)₄ Acac] terhadap pelarutnya sehingga diperoleh jumlah loading TiO₂ (% berat) yang dilakukan yaitu 10 %, 15 %, 20 %, 25 %, 30 %.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 *Treatment* Awal Zeolit Alam Lampung

Pada penelitian ini dilakukan *treatment* awal zeolit alam Lampung dengan metode dealuminasi. Prosedurnya yaitu:

1. Penghalusan Zeolit untuk menghasilkan ukuran partikel adsorben pada ukuran 37 - 50 µm.
2. Merendam setiap 100 gram zeolit alam dengan 200 ml larutan HF 2% selama 10 menit disertai pengadukan menggunakan magnetik stirrer. Kemudian zeolit dibilas dengan aquades lalu disaring. Perendaman zeolit alam ini menggunakan larutan HF 2% dengan tujuan melarutkan oksida-oksida

pengotor yang terdapat dalam zeolit. Selain itu, hal ini juga dapat mengurangi senyawa organik pengotor yang dapat menurunkan daya adsorpsi zeolit

3. Merendam zeolit alam dengan 200 ml larutan HCl 6 M selama 30 menit yang disertai pengadukan. Kemudian zeolit ini dibilas dengan aquades dan disaring. Perendaman zeolit dalam larutan HCl bertujuan agar aluminium dalam zeolit dapat terekstrak dan aluminium dalam kerangka menjadi aluminium luar kerangka sehingga rasio Si/Al dapat meningkat sehingga dapat meningkatkan pula daya adsorpsi zeolit alam tersebut
4. Merendam zeolit alam tersebut dalam 200 ml larutan NH_4Cl 0,1 M selama 5 hari dengan diaduk selama 3 jam per hari. Perendaman zeolit alam dengan NH_4Cl bertujuan untuk memperkuat struktur baru yang terbentuk karena proses dealuminasi oleh HCl
5. Mengkalsinasi atau memanaskan zeolit alam tersebut dalam furnace pada suhu 500°C selama 5 jam. Kalsinasi zeolit bertujuan untuk menguapkan kandungan air yang terperangkap dalam kristal zeolit

3.4.2 Preparasi Sol-Gel TiO_2

Pada penelitian ini dilakukan preparasi fotokatalis TiO_2 dengan prosedurnya yaitu :

1. Mencampurkan 5,2 ml Titanium Isopropoxide bis Acetis Acetonat [$\text{Ti}(\text{Opr})_4\text{Acac}$] 75 % berat kedalam 12,6 ml $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
2. Mencampurkan 0,38 ml H_2O dan 0,04 ml HCl ke dalam 8,41 ml etanol
3. Mencampurkan kedua larutan diatas, kemudian campuran larutan disonikasi selama 30 menit. Larutan ini selanjutnya dibiarkan selama 1 jam sebelum digunakan untuk melapisi zeolit.

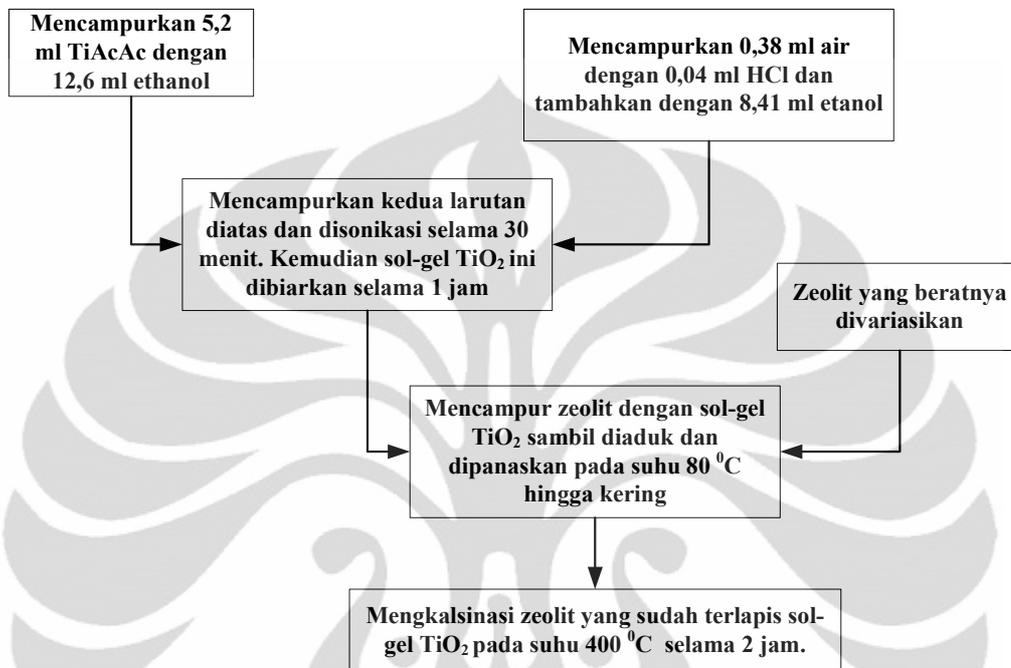
3.4.3 Pelapisan TiO₂ ke support Zeolit

Pelapisan TiO₂ ke support zeolit dilakukan dengan mencampurkan serbuk zeolit dalam sol fotokatalis TiO₂ yang dibuat berdasarkan prosedur 3.5.2. Campuran tersebut kemudian dipanaskan pada suhu 80 °C sambil diaduk menggunakan magnetik stirer hingga kering. zeolit yang sudah terlapisi fotokatalis tersebut kemudian dikalsinasi pada suhu 400 °C selama 2 jam. Pada penelitian ini loading TiO₂ dalam zeolit alam termodifikasi TiO₂ akan divariasikan dengan cara memvariasikan berat zeolit dalam volume sol gel yang tetap. Sol gel yang dibuat berdasarkan prosedur 3.5.2 mengandung 0,857 g TiO₂.

Komposisi TiO₂ dan zeolit dalam zeolit alam termodifikasi TiO₂ dapat dilihat pada Tabel 3.1. Diagram alir pembuatan dan pelapisan fotokatalis TiO₂ pada zeolit dijelaskan pada Gambar 3.3.

Tabel 3. 1 Komposisi TiO₂ dan zeolit dalam zeolit alam termodifikasi TiO₂

Kandungan TiO ₂ dalam zeolit alam termodifikasi TiO ₂	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
Zeolit : TiO ₂	9 : 1	8,5 : 1,5	8 : 2	7,5 : 2,5	7 : 3
Berat Zeolit (gram)	7,713	4,856	3,428	2,571	2
Berat TiO ₂ (gram)	0,857	0,857	0,857	0,857	0,857



Gambar 3. 3 Diagram alir pembuatan dan pelapisan TiO₂ pada zeolit

3.4.4 Karakterisasi Zeolit alam termodifikasi TiO₂

3.4.4.1 Karakterisasi BET

Karakterisasi ini dilakukan untuk perhitungan luas permukaan zeolit yang telah dipreparasi dan luas permukaan zeolit alam termodifikasi TiO₂. Selain itu, karakterisasi BET ini penting untuk melihat pengaruh loading TiO₂ pada zeolit terhadap permukaannya. Melalui karakterisasi BET kita juga dapat mengetahui volume dan diameter pori-pori rata-rata. Karakterisasi ini dilakukan dengan Autosorb-6 merk QUANTACROME yang ada di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Alam (RPKA) jurusan Teknik Kimia FTUI Depok. Tahapan analisisnya sebagai berikut :

- Persiapan sampel
 1. Sampel ditimbang

2. Kemudian sampel dimasukkan kedalam *cell* sampel, lalu stick dimasukkan
 3. Selanjutnya sampel dipasang pada degasser mengikuti prosedur
- *Degassing* sampel
1. UHP Helium dipasang pada tekanan 5 psi = 34,47 kPa
 2. Kemudian pasang *power cable* dan pasang " *cold trap tube* "
 3. Liquid N₂ diisikan pada *Dewar Flash*
 4. *Circuit breaker* dihidupkan (*Vacum dan electronic*)
 5. Heating mantle dipasang dan cell dimasukkan dengan *ferrule* dan *o-ring station* 3, 4, 5, 6
 6. Temperatur diatur pada T = 200 °C
 7. Tutup semua bable termasuk " *Fine vacuum Adjust* "
 8. Buka helium bable kira-kira 5 detik dan tutup kembali
 9. " *Stasion buble* " 5 dan 6 dibuka
 10. Buka " *Fine vacuum buble* " (karena sampel berupa powder halus)
 11. Kemudian " *Fine vacuum adjust* " dibuka perlahan-lahan. Bila tekanannya mulai berkurang maka " *Fine vacuum adjust* " dapat diputar lebih besar
 12. Lalu " *coarse valve* " dibuka perlahan-lahan, setelah tekanan turun baru dibuka semua
 13. Testing sampel, dengan cara :
 - Tutup " *Fine dan Coarse* " valve
 - Tutup semua *station* yang tidak pakai
 - *Vacuum gauge* diamati (90 torr). Jika tekanan tidak bertambah berarti sampel belum benar-benar bersih)
- Persiapan analisis sampel
1. Semua *station valve* dan *vacum ditutup*
 2. Buka *stasion valve* dimana sampel tersebut akan dipindahkan dan yang lainnya tertutup
 3. *Helium valve* dibuka selama 5 detik dan ditutup kembali

4. *Stasion valve* sampel ditutup
5. Kemudian *heating mantle* dipindahkan dan *sampel cell* dipindahkan untuk dianalisa
 - Analisa sampel
 1. Sel sampel dipasang pada *stasion* 1, 2, 3, 4, 5, 6, di unit *autosorb*
 2. Kemudian gas helium dan N_2 dipasang pada tekanan 60 kPa
 3. N_2 cair diisikan pada *Dewar Flash* untuk setiap stasion yang digunakan
 4. Komputer dinyalakan, lalu buka program *Autosorb 6*
 5. Kemudian *vacuum pump* dan *elektrik switch* dihidupkan
 6. Analisa luas permukaan pori padatan zeolit berjalan secara otomatis yang diolah komputer yang dihubungkan langsung dengan *autosorb*.

3.4.4.2 Karakterisasi XRF (X-Ray Fluorescence)

Karakterisasi XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi zeolit dan material zeolit alam termodifikasi TiO_2 yang dibuat. Karakterisasi XRF ini dilakukan juga untuk mengetahui rasio Si/Al zeolit, mengetahui kandungan TiO_2 dalam zeolit alam termodifikasi TiO_2 yang telah dibuat.

Sampel yang akan dikarakterisasi dihaluskan hingga berbentuk serbuk. Kemudian serbuk yang terbentuk dikompres hingga membentuk pelet tipis. Sampel yang telah berbentuk pelet tipis ini dimasukkan kedalam alat XRF. Kemudian alat XRF akan mengirimkan sejumlah data kedalam komputer yang berisi grafik data-data yang dihasilkan oleh sampel. Setelah itu komputer akan menunjukkan komposisi sampel tersebut.

3.4.4.3 Karakterisasi AAS (Atomic adsorbtion Spectrofotometry)

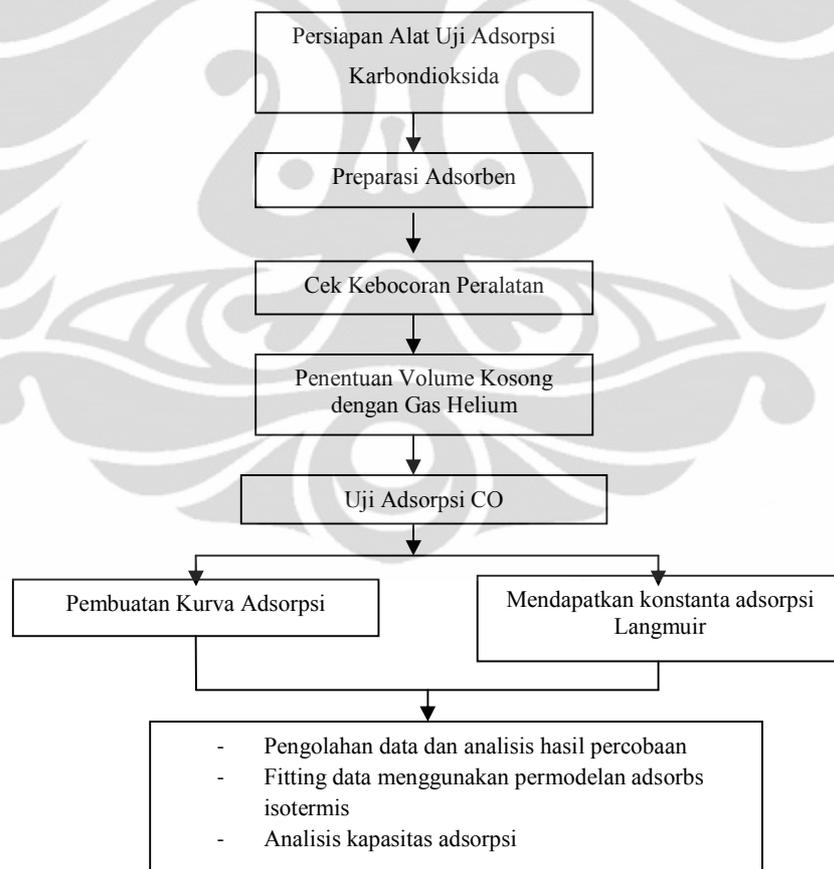
Karakterisasi AAS dilakukan untuk mengetahui komposisi TiO_2 sebenarnya pada zeolit alam termodifikasi TiO_2 yang dibuat. Sampel yang akan dikarakterisasi dilarutkan dalam pelarut hingga konsentrasi tertentu. Kemudian larutan tersebut dianalisa dengan menggunakan alat AAS.. Kemudian alat AAS akan mengirimkan sejumlah data kedalam komputer yang berisi grafik peak-peak yang dihasilkan oleh

sampel. Setelah itu komputer akan menunjukkan komposisi sampel tersebut.

3.4.5 Uji Kinerja Zeolit alam termodifikasi TiO₂

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui informasi kondisi optimum kapasitas adsorpsi gas karbon monoksida pada zeolit alam termodifikasi TiO₂ yang divariasikan kandungan TiO₂ dengan pendekatan Adsorpsi Gibbs (eksperimen). Prinsip yang digunakan adalah prinsip Adsorpsi Gibbs dengan menggunakan zeolit alam termodifikasi TiO₂ sebagai adsorben utama dan zeolit alam teraktifasi sebagai pembanding.

Penelitian akan dilakukan seperti yang diterangkan pada diagram alur dibawah ini. Untuk langkah yang lebih jelas dan detail, diterangkan pada prosedur penelitian.



Gambar 3. 4 Diagram uji adsorpsi

3.4.5.1 Persiapan Alat Uji dan Bahan

Zeolit alam termodifikasi TiO₂ dimasukkan kedalam *Sampling Cylinder* dan dipadatkan didalamnya, masing-masing akan dimasukkan kedalam storage penguji untuk kemudian diuji kemampuan adsorpsi CO-nya serta diamati perilaku dinamis adsorpsi. Sebelum dimasukkan ke storage, zeolit alam termodifikasi TiO₂ selalu dikeringkan didalam oven pada suhu 120 °C selama 1 jam.

3.4.5.2 Pengujian Adsorpsi karbon monoksida

1) Kalibrasi Void Volume *Sampling Cylinder* Menggunakan Helium

Pada *sampling cylinder (adsorption cell)* terdapat zeolit alam Lampung termodifikasi TiO₂ sebagai adsorben dengan massa karbon yang dimasukkan sekitar 2 gram. Volume void dari *sampling cylinder* adalah volume total dari ruang kosong yang terdapat pada *sampling cylinder*

$$V_{void} = V_{sc} - V_{\text{ruang yang terisi zeolit}} + V_{\text{porouszeolit}} \quad (3.1)$$

Prosedur perhitungan void volume sebagai berikut :

- a) *Dozing cylinder* diisi dengan gas He sampai penuh dengan cara membuka valve V1 dan mengalirkan gas He ke dalam alat tersebut. Valve V2 tertutup dan semua pompa vakum dalam keadaan mati. Valve V1 ditutup ketika *dozing cylinder* terisi penuh. temperatur (T_i) dan tekanan (P_i) *dozing cylinder* dicatat. Jumlah mol He pada *dozing cylinder* dihitung dengan persamaan :

$$n_{He} = \frac{P_i V_{\text{dozing cylinder}}}{Z_{He_i} RT_i} \quad (3.2)$$

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

- b) Valve V2 dibuka dan mengalirkan gas He tersebut ke *Sampling Cylinder*. Ketika semua gas He telah masuk semua, temperatur (T_f) dan tekanan (P_f) *dozing cylinder* dicatat. Dengan data ini dapat diketahui jumlah mol (n_i) dari He yang dimasukkan ke *Sampling cylinder*

$$n_i = \left(\frac{P_i}{Z_{He_i} RT_i} - \frac{P_f}{Z_{He_f} RT_f} \right) V_{\text{dozing cylinder}} \quad (3.3)$$

- c) Temperatur (T_{sf}) dan tekanan akhir *sampling cylinder* (P_{sf}) dicatat setelah 15 menit agar stabil. *Void Volume Sampling Cylinder* dihitung dengan persamaan :

$$V_{\text{void}} = \frac{n_i Z_{He} RT_{sf}}{P_{sf}} \quad (3.4)$$

2) **Adsorpsi gas Karbon monoksida Oleh Zeolit alam Lampung teraktifasi TiO_2**

- a) *Dozing cylinder* diisi dengan gas Karbon monoksida dengan membuka valve V1 dan mengalirkannya ke *dozing cylinder* sampai penuh. Setelah penuh, V1 ditutup. Temperatur (T_i) dan tekanan (P_i) CO di *dozing cylinder* dicatat. Semua pompa dalam keadaan mati
- b) Gas CO dialirkan ke *sampling cylinder* dengan membuka valve V2. Ketika gas CO telah masuk ke dalam *sampling cylinder*, Temperatur (T_f) dan tekanan (P_f) gas CH_4 pada *dozing cylinder* dicatat.
- c) Tekanan akhir dari *sampling cylinder* (P_{sf}) dicatat setelah 30 menit agar besarnya stabil.
- d) Mol zat teradsorb dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$n_{CO \text{ teradsorb}} = n_{CO} - n_{CO \text{ tidak teradsorb}}$$

$$n_{CO \text{ teradsorb}} = \left[\left(\frac{P_i}{Z_{CO_i} RT_i} - \frac{P_f}{Z_{CO_f} RT_f} \right) V_{\text{dozing cylinder}} \right] - \left(\frac{P_{sf} V_{\text{void}}}{Z_{CO_{sf}} RT_f} \right) \quad (3.5)$$

- 3) Prosedur diatas dilakukan untuk setiap adsorben zeolit alam Lampung yang telah dilapisi TiO₂. Zeolit teraktifasi, dan zeolit tidak teraktifasi sampai diperoleh kurva adsorpsi isothermal untuk kenaikan tekanan 1 – 315 psia dengan interval sebesar 50 psi.

3.4.5.3 Pembuatan Kurva Adsorpsi

Kurva adsorpsi CO dibuat dengan cara menghubungkan jumlah mol CO yang teradsorp (didapat dari persamaan 3.5) per gram zeolit terhadap tekanan silinder penyimpanan CO yaitu 0 sampai 350 psia.

3.4.5.4 Pembuatan Model Adsorpsi

Model adsorpsi gas CO yang digunakan dalam penelitian ini adalah model adsorpsi Langmuir. Pengolahan data dalam membuat model ini menggunakan program *Microsoft Excel*. Adapun langkah-langkah dalam menentukan konstanta model adsorpsi Langmuir sebagai berikut :

- Menentukan jumlah mol adsorpsi Gibbs ($n_{\text{ads}}^{\text{gibbs}}$) pada setiap tekanan adsorpsi dengan memasukkan harga coba-coba konstanta b dan kapasitas adsorpsi maksimum (n_{maks}) ke dalam persamaan berikut :

$$n_{\text{gibbs}} = n_{\text{maks}} \frac{bP}{1+bP} \quad (3.6)$$

- Menentukan % AAD (*absolute average deviation*) dari jumlah mol adsorpsi Gibbs yang didapat dari persamaan model di atas (n_{model}) dengan jumlah mol adsorpsi Gibbs dari data eksperimen (n_{eksp}). Persamaannya sebagai berikut :

$$\%AAD = \frac{\sum_i^N \left| \frac{n_{\text{eksp}} - n_{\text{model}}}{n_{\text{eksp}}} \right| \times 100}{N} \quad (3.7)$$

Dengan bantuan program *Solver*, dilakukan minimalisasi nilai % AAD dengan merubah konstanta b dan n_{maks} sehingga didapat jumlah mol adsorpsi Gibbs dari model yang sama dengan jumlah mol adsorpsi Gibbs dari eksperimen.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab 4 pembahasan ini dibagi dalam 3 sub bahasan pokok yaitu; preparasi, pelapisan TiO_2 , karakterisasi zeolit alam dan uji adsorpsi. Data yang diambil adalah tekanan dan suhu kemudian diolah menggunakan rumus adsorpsi *Gibbs* menjadi mol yang teradsorpsi, pengambilan data analisa XRF untuk mengetahui nilai rasio Si/Al, pengambilan data analisa kandungan TiO_2 pada zeolit alam Lampung teraktivasi yang telah dilapisi TiO_2 serta pengujian analisa luas permukaan menggunakan metode analisa *BET*.

4.1 Preparasi zeolite alam

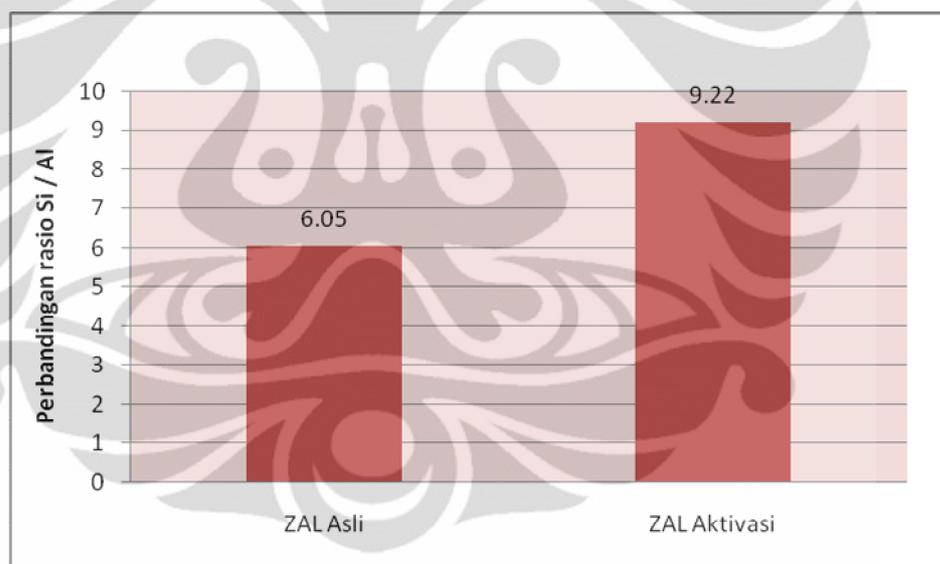
4.1.1 Aktivasi zeolit Alam

Zeolit alam yang digunakan dalam proses preparasi ukuran partikelnya tidak sama yaitu berkisaran 0,1 mm hingga 2,5 mm. Sehingga perlu dihaluskan terlebih dahulu hingga ukuran 37-50 μm atau setara dengan 400-270 mesh, kemudian dilanjutkan dengan proses pelarutan oksida pengotor (CaO , MgO , Na_2O , K_2O) yang berada dipermukaan zeolit dengan merendam zeolite alam dalam larutan HF 2 % selama 10 menit yang disertai pengadukan, dilanjutkan dengan proses dealuminasi dengan merendam zeolite alam dalam larutan HCL 6 M selama 30 menit, kemudian merendam zeolite alam dalam larutan NH_4Cl 0,1 M selama 5 hari yang disertai pengadukan selama 3 jam perhari. Pada akhir kalsinasi zeolite alam dilakukan proses kalsinasi pada temperatur 500°C.

Selama proses preparasi dari pengamatan visual terlihat bahwa pada waktu menggunakan larutan HF 2% terjadi perubahan warna pada larutan, pada awalnya bening menjadi larutan putih keabu-abuan dan keruh, hal ini menunjukkan adanya senyawa yang larut (pengotor) selama proses penambahan HF 2%. Selama proses dealuminasi menggunakan larutan HCL 6 M terjadi perubahan warna pada larutan

menjadi kuning pekat setelah ditambahkan HCl 6 M. Sedangkan pada proses perendaman menggunakan larutan NH_4Cl 0,1 M terjadi perubahan warna pada larutan yang awalnya bening menjadi larutan putih keruh. Dan pada proses tahapan kalsinasi 500°C terjadi perubahan warna zeolit menjadi coklat muda, lebih kering dan lebih kokoh.

Tujuan aktivasi zeolit alam Lampung ini adalah untuk meningkatkan nilai rasio Si/Al zeolit alam Lampung, rasio Si/Al yang terkandung dalam zeolit alam berpengaruh daya adsorpsi zeolit. Makin besar rasio Si/Al secara umum zeolit akan bersifat lebih *hydrophobic*, lebih suka terhadap senyawa non polar. Sebaliknya semakin kecil rasio Si/Al, maka zeolit akan bersifat *hydrophylic*, lebih suka menyerap senyawa polar seperti air.



Gambar 4. 1 Rasio Si/Al pada setiap tahapan proses preparasi zeolit alam

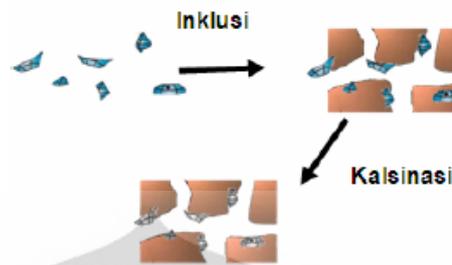
Pada Gambar 4.1 dapat disimpulkan bahwa dari serangkaian aktivasi Zeolit Alam Lampung yang telah dilakukan dapat meningkatkan nilai rasio Si/Al dari 6,05 sampai 9,22

4.1.2 Pelapisan TiO₂ Pada zeolit alam Lampung yang telah diaktivasi

Pada proses ini dilakukan pelapisan TiO₂ pada ZAL yang telah diaktivasi, terlebih dahulu mempersiapkan larutan sol-gel sebelum dilapiskan pada ZAL yang telah diaktivasi yang telah diterangkan pada Bab 3, larutan sol-gel yang dibuat mengalami penurunan volume dan menjadi lebih kental setelah dilakukan sonikasi selama 20 menit, karena proses sonikasi yang dilakukan menimbulkan panas sehingga sebagian etanol yang terdapat pada larutan sol-gel menguap tujuan dari sonikasi ini agar larutan sol-gel lebih homogen.

Pelapisan larutan sol-gel pada ZAL dilakukan dengan cara pencelupan (dip coating) molekul TiO₂ yang menyisip kedalam struktur ZAL teraktivasi memiliki ukuran molekul yang lebih besar dari ukuran kation yang terdapat dalam struktur ZAL teraktivasi. Menyisipnya TiO₂ dalam ZAL teraktivasi terjadi pada saat dilakukannya pengadukan dan pemanasan setelah dicampur dengan larutan sol-gel. Pengadukan ini bertujuan untuk mencampur rata padatan TiO₂ dengan zeolit hingga keduanya homogen.

Molekul TiO₂ yang menyisip ke struktur ZAL teraktivasi yang terbentuk masih rapuh, sehingga media perlu dikalsinasi. Proses kalsinasi ini selain bertujuan untuk menstabilkan struktur zeolit alam Lampung teraktivasi, juga untuk penghilangan kadar air dalam zeolit alam Lampung teraktivasi. Kalsinasi dilakukan pada suhu 400 °C selama tiga jam. Melalui kalsinasi, molekul air yang juga menempati ruang antarlapis zeolit akan hilang. Dengan demikian luas permukaan spesifik antarlapis ZAL teraktivasi setelah proses penyisipan TiO₂ akan bertambah besar sebagai akibat dari menyisipnya molekul TiO₂ dan menghilangnya molekul air. Fenomena pembentukan TiO₂ pada Zeolit ditunjukkan pada Gambar 4.1



Gambar 4. 2 Proses pembentukan TiO_2 pada zeolite (Karna Wijaya 2006)

4.2 Karakterisasi zeolit alam Lampung termodifikasi TiO_2

Karakterisasi dilakukan pada zeolit alam Lampung, zeolit alam Lampung teraktivasi, zeolit alam Lampung termodifikasi TiO_2 menggunakan XRF, AAS dan BET. Hasil karakterisasi XRF dapat dilihat pada Tabel 4.1, data hasil karakterisasi AAS dapat dilihat pada Tabel 4.2, dan karakterisasi BET dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4. 1 Hasil karakterisasi XRF

Adsorben	Al_2O_3 (wt%)	SiO_2 (wt%)	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	Na_2O	Total (wt%)	Rasio Si/Al
ZAL	11,90	72,09	2,76	1,17	2,34	0,70	1,77	93,04	6,05
ZAL teraktivasi	8,67	79,94	1,44	1,05	2,42	0,45	0,61	94,57	9,22

Karakterisasi XRF dilakukan untuk mengetahui komposisi Al_2O_3 dan SiO_2 sebelum dan sesudah aktivasi dan juga untuk mengetahui rasio Si/Al. Ternyata setelah dilakukan aktivasi terhadap ZAL kandungan alumina berkurang.

Tabel 4. 2 Hasil karakterisasi AAS

No	Sampel	Jumlah TiO_2 (wt%)
1	ZAL (TiO_2 10%)	1,98 %
2	ZAL (TiO_2 15%)	3,06 %
3	ZAL (TiO_2 20%)	3,58 %
4	ZAL (TiO_2 25%)	6,55 %
5	ZAL (TiO_2 30%)	6,41 %

Karakterisasi AAS dilakukan untuk mengetahui kandungan TiO_2 yang terdapat pada zeolit alam Lampung setelah proses preparasi zeolit alam termodifikasi TiO_2 dengan metode sol-gel. Ternyata terjadi peningkatan kandungan TiO_2 dari variasi ZAL (TiO_2 10%) hingga ZAL (TiO_2 25%) yaitu sebesar 1,98% hingga 6,55%, namun pada variasi ZAL (TiO_2 30%) kandungan TiO_2 tidak ada perbedaan yang signifikan dari 6,55 % menjadi 6,41%. Peningkatan kandungan TiO_2 dari hasil variasi yang dilakukan menunjukkan bahwa proses sintesis zeolit- TiO_2 relatif berhasil. Kandungan TiO_2 tersebut merupakan jumlah total TiO_2 yang ada dalam Zeolit.

Tabel 4. 3 Hasil karakterisasi BET

No	Sampel	Luas Permukaan (m^2/g)
1	ZAL	46,13
2	ZAL teraktivasi	92,02
3	ZAL (TiO_2 20%)	96,25
4	ZAL (TiO_2 30%)	69,94

Dari hasil uji BET yang dilakukan peningkatan luas permukaan pada ZAL yang telah termodifikasi TiO_2 pada komposisi TiO_2 20% dibandingkan dengan ZAL teraktivasi, hal ini membuktikan bahwa penambahan TiO_2 pada ZAL dapat menambah luas permukaan ZAL dikarenakan pori-pori yang terdapat pada ZAL diisi oleh TiO_2 . Sedangkan pada ZAL (TiO_2 30%) luas permukaan mengalami penurunan yaitu sebesar $69.94 \text{ m}^2/\text{g}$ dibandingkan ZAL teraktivasi sebesar $92,02 \text{ m}^2/\text{g}$. Penurunan luas permukaan diperkirakan berasal dari akumulasi TiO_2 yang terdistribusi di permukaan zeolit. Peningkatan sifat-sifat fisikokimia Zeolit akibat pembentukan TiO_2 diharapkan dapat menaikkan performa kapasitas adsorpsi karbon monoksida bahan tersebut

4.3 Uji Adsorpsi

4.3.1 Preparasi Peralatan Adsorpsi

Alat uji adsorpsi yang digunakan dalam penelitian ini terangkai seperti Gambar 4.6 di bawah ini. Secara garis besar, alat uji ini terbagi dalam dua area yang terpisah, yaitu area *dozing* dan area *sampling*. Kedua area ini sama-sama diletakkan dalam sebuah kotak kayu agar temperaturnya dapat dikontrol dengan mudah sehingga kondisi isotermis dapat dicapai. Di antara kedua area ini diletakkan satu buah termokopel untuk membaca temperatur ruang dalam kotak yang juga merupakan temperatur adsorpsi.

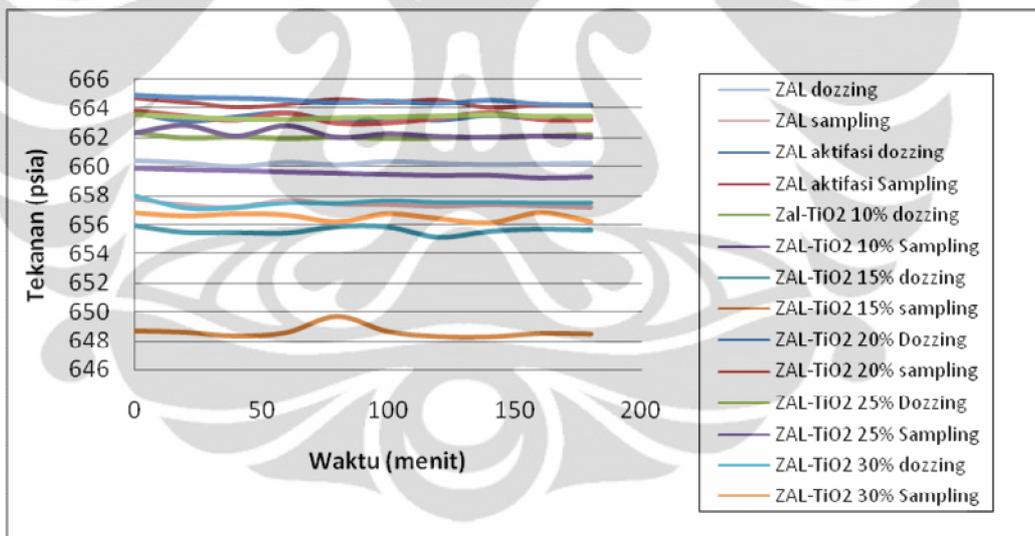


Gambar 4. 3 Rangkaian peralatan uji adsorpsi

Volume area *dozing* sangat ditentukan oleh volume *dozing cylinder*. Volume *dozing cylinder* yang digunakan pada alat uji kira-kira dua kali lebih besar dari volume *sampling cylinder*. Hal ini dimaksudkan agar perubahan tekanan pada area *dozing* setelah injeksi ke *sampling cylinder* tidak terlalu kecil atau terlalu besar. Bila perubahan terlalu kecil, maka kesalahan pembacaan tekanan yang kecil menghasilkan *error* yang besar sehingga akurasi hasil uji rendah. Sedangkan bila terlalu besar, maka dibutuhkan tekanan awal area *dozing* yang jauh lebih tinggi untuk injeksi ke *sampling cylinder*. Hasil pengukuran dengan menggunakan air didapat volume area *dozing* sebesar 23 ml. Volume ini digunakan dalam menentukan jumlah mol gas yang terdapat dalam area *dozing*.

4.3.2. Cek Kebocoran Alat Uji

Cek kebocoran alat uji penting dilakukan untuk melihat kesiapan alat uji yang digunakan. Hal ini disebabkan karena pada uji adsorpsi dilakukan dengan menggunakan gas berbahaya yaitu CO. Cek kebocoran alat dilakukan dengan memonitor tekanan baik pada area *dozing* maupun *sampling* selama kurang lebih 3 jam pada tekanan tertinggi yang digunakan untuk uji adsorpsi yaitu sekitar 630 psia. Pengambilan lama waktu tes 3 jam, karena pengambilan data adsorpsi lebih kurang 3 jam, sementara itu tekanan diambil sekitar 630 psia, karena pada proses adsorpsi gas CO dimasukkan ke dalam *dozing* pada tekanan sekitar 600 psia. Gas yang digunakan untuk cek ini adalah gas helium yang diketahui merupakan gas inert yang tidak berbahaya. Gambar 4.3 adalah contoh kurva penurunan tekanan pada saat uji kebocoran



Gambar 4. 4 Grafik hasil tes kebocoran pada alat uji adsorpsi

Cek kebocoran awal dilakukan dengan menggunakan busa sabun untuk mengidentifikasi langsung letak kebocoran sehingga dapat segera di atasi. Biasanya kebocoran yang lebih kecil, kadang kala tidak terdeteksi jika menggunakan busa sabun saja oleh karena itu cek kebocoran dilanjutkan menggunakan air, dengan merendam titik yang diprediksi rawan kebocoran kecil, yaitu titik pada *sampling*. Setelah tidak ditemukan kebocoran dengan menggunakan air, proses cek kebocoran

diamati melalui penurunan tekanan pada dozing dan sampling selama 3 jam. Jika penurunan tekanan selama 3 jam tidak lebih dari 3 psia, maka alat dapat digunakan untuk proses adsorpsi. Cek kebocoran dilakukan setiap akan melakukan uji adsorpsi untuk masing-masing adsorben yang digunakan.

4.4 Pengukuran Volume *Void Area Sampling*

Secara pengukuran langsung, *sampling cylinder* yang dipakai memiliki ID = 0,63 cm (1/4 “), OD = 0,955 cm, panjang = 28,415 cm, sehingga diperoleh volume silinder yang dapat diisi gas sebesar 8,85 ml, sedangkan volume ruang kosong/volume *void* pada area *sampling cylinder* pada saat diisi adsorben perlu diketahui dengan cara mengalirkan gas yang bersifat inert kedalam *sampling cylinder* dengan memvariasikan tekanan pada temperatur tetap (isotermal). Variasian tekanan dilakukan untuk memastikan volume kosong yang dihitung, sehingga tidak ada kesalahan perhitungan volumetrik pada saat pengujian adsorpsi, pengukuran helium *void volume* dilakukan pada range tekanan dari uji adsorpsi, yaitu 0-320 psia. Berapapun tekanan yang diberikan, perhitungan volume *void* harus menghasilkan nilai yang sama atau memiliki deviasi yang sangat kecil pada setiap perhitungan volume *void* diberbagai tekanan.

Volume *void* pada *sampling cylinder* sangat tergantung oleh banyaknya adsorben dan *glass woll* yang dimasukkan. Pengujian *void volume* ini ditentukan dengan menggunakan gas Helium. Selain bersifat inert sehingga tidak berinteraksi dengan atom-atom pada zeolit, gas ini juga memiliki diameter molekul yang kecil sehingga dapat mengisi ruang kosong dari pori-pori adsorben yang diantaranya memiliki pori berukuran mikropori.

Tabel berikut ini menunjukkan hasil kalibrasi atau uji Helium Volume *Void* pada area *sampling cylinder* untuk adsorben zeolit dan zeolit yang telah dimodifikasi dengan TiO₂.

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Helium Void Volume

Zeolit alam						
Tekanan, psia	66,25	115,46	163,98	213,47	264,2	315,53
He Void volume, ml	15,65	15,43	15,35	15,04	15,01	15,04
He Void volume rata-rata, ml	15,52					
Standar deviasi	0,15887					
Zeolit alam teraktivasi						
Tekanan, psia	65,51	115,51	165,46	216,45	267,46	316,87
He Void volume, ml	14,77	14,55	14,48	14,42	14,40	14,38
He Void volume rata-rata, ml	14,50					
Standar deviasi	0,04125					
Zeolit alam teraktivasi + TiO₂ 10 %						
Tekanan, psia	66,66	115,99	165,38	215,17	265,12	315,02
He Void volume, ml	14,78	14,81	14,74	14,73	14,69	14,77
He Void volume rata-rata, ml	14,75					
Standar deviasi	0,03510					
Zeolit alam teraktivasi + TiO₂ 15 %						
Tekanan, psia	67,65	117,33	167,32	216,23	267,95	316,95
He Void volume, ml	14,76	14,77	14,73	14,80	14,68	14,73
He Void volume rata-rata, ml	14,75					
Standar deviasi	0,050821					

Tabel 4.4 lanjutan

Zeolit alam teraktivasi + TiO₂ 20 %						
Tekanan, psia	65,87	116,27	167,19	217,74	268,58	319,04
He Void volume, ml	14,51	14,47	14,57	14,57	14,55	14,54
He Void volume rata-rata, ml	14,54					
Standar deviasi	0,01616					
Zeolit alam teraktivasi + TiO₂ 25 %						
Tekanan, psia	66,3	116,99	167,01	217,08	267,16	317,31
He Void volume, ml	14,98	14,76	14,70	14,64	14,62	14,61
He Void volume rata-rata, ml	14,72					
Standar deviasi	0,03948					
Zeolit alam teraktivasi + TiO₂ 30 %						
Tekanan, psia	65,53	116,48	168,36	218,3	268,66	319,01
He Void volume, ml	15,42	14,97	14,92	14,90	14,88	14,81
He Void volume rata-rata, ml	14,98					
Standar deviasi	0,04947					

Pengujian yang dilakukan lebih dari satu kali bertujuan untuk menghindari kesalahan pembacaan atau perhitungan pada tekanan tinggi. Perhitungan volume *void* di atas dihitung secara volumetrik dengan persamaan 3.3 dan 3.4.

$$n_i = \left(\frac{P_i}{Z_{He_i} RT_i} - \frac{P_f}{Z_{He_f} RT_f} \right) V_{\text{dozing cylinder}} \quad (3.3)$$

dengan

$$V_{\text{void}} = \frac{n_i Z_{He} RT_{sf}}{P_{sf}} \quad (3.4)$$

Dimana n_i = Jumlah mol gas He yang diinjeksikan ke *sampling cylinder* (mol)

i = keadaan awal *dozing cylinder*

f = keadaan akhir *dozing cylinder*

sf = keadaan akhir *sampling cylinder*

T = temperatur ($^{\circ}\text{R}$)

P = tekanan (psi)

Z_{He} = kompresibilitas gas He

R = 669,954 (psi cm³)/(mol. $^{\circ}\text{R}$)

Tabulasi perhitungan uji Helium volume *void* secara detail dari masing-masing sampel adsorben dapat dilihat pada bagian Lampiran 1 dan 2.

Dari hasil uji Helium volume *void* di atas, terlihat volume *void sampling area* pada saat percobaan adsorpsi gas karbon monoksida pada zeolit alam Lampung teraktivasi dan Zeolit alam Lampung yang telah termodifikasi TiO₂ mempunyai rentang nilai 14,50 ml – 15,25 ml, hal ini menunjukkan bahwa kandungan TiO₂ dalam zeolit alam Lampung teraktivasi tidak mempengaruhi nilai Helium volume *void* secara signifikan.

4.5 UJI ADSORPSI GAS CO

4.5.1 Konstanta Langmuir

Pembahasan adsorpsi gas CO oleh adsorben akan banyak merujuk pada konstanta adsorpsi dari persamaan Langmuir (persamaan 3.7), oleh karena itu data konstanta ini ditampilkan sebelum pembahasan adsorpsi gas CO oleh adsorben.

$$n_{\text{gibbs}} = n_{\text{maks}} \frac{bP}{1 + bP}$$

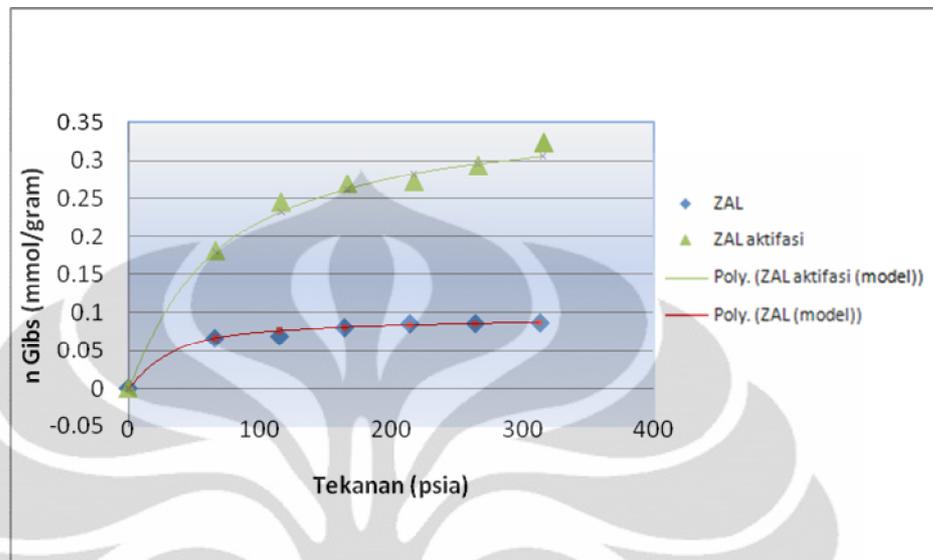
Persamaan model di atas menghubungkan jumlah mol gibbs zat yang teradsorpsi terhadap tekanan dan temperatur percobaan. Konstanta n_{maks} menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum dari adsorben yang sebanding dengan banyaknya permukaan aktif yang dimiliki oleh adsorben. Sedangkan b adalah konstanta Langmuir yang merupakan fungsi dari temperatur dan menggambarkan besarnya interaksi yang terjadi antara adsorbat dan permukaan aktif dari adsorben. Nilai konstanta tersebut terlihat pada Tabel 4.5 berikut ini

Tabel 4. 5 Nilai n_{maks} dan b untuk masing-masing adsorben

Adsorben	n_{maks} (mmol/gr sampel)	b	% AAD
ZAL	0,09370	0,03613	2,22
ZAL teraktivasi	0,37636	0,01397	2,92
ZAL (TiO ₂ 10%)	0,43752	0,00959	5,47
ZAL (TiO ₂ 15%)	0,54192	0,00468	0,87
ZAL (TiO ₂ 20%)	0,54361	0,00765	2,47
ZAL (TiO ₂ 25%)	0,33949	0,00764	2,74
ZAL (TiO ₂ 30%)	0,34080	0,00791	2,69

4.5.2 Perbandingan adsorpsi gas CO oleh zeolit alam belum teraktivasi dengan zeolit alam yang telah teraktivasi

Banyaknya gas CO yang teradsorpsi pada zeolit tidak teraktivasi dan zeolit alam teraktivasi dari hasil uji ini direpresentasikan dalam bentuk mol adsorpsi Gibbs. Proses pengambilan data pada setiap kenaikan tekanan adsorpsi dilakukan setelah 20 menit dimana tekanan tidak berubah secara signifikan yang menandakan kesetimbangan adsorpsi telah tercapai. Hasil pengujian adsorpsi gas CO pada kedua sampel zeolit ini dapat dilihat pada Gambar 4.4 di bawah ini. Data perhitungan pengujian adsorpsi pada kedua zeolit secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran.



Gambar 4. 5 Grafik perbandingan uji adsorpsi CO pada ZAL dan ZAL teraktivasi

Tabel 4.4 dan 4.5 menunjukkan pengaruh tekanan terhadap jumlah gas CO yang bisa teradsorpsi oleh zeolit alam dan zeolit alam teraktivasi. Semakin tinggi tekanan di fasa ruah gas maka semakin banyak pula molekul CO berdifusi mendekati ke permukaan dan masuk ke pori zeolit untuk berinteraksi dengan atom-atom sehingga jumlah mol CO yang teradsorpsi juga semakin besar. Pada zeolit alam tidak teraktivasi tekanan paling tinggi 313,02 psia, jumlah gas CO yang teradsorpsi mencapai 0.09370 mmol/gr zeolit alam. Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa zeolit alam mempunyai kemampuan mengadsorpsi gas CO, karena dengan struktur yang berpori dan sifat permukaannya menyebabkan zeolit alam mampu mengadsorpsi gas CO. sedangkan pada zeolit alam teraktivasi tekanan paling tinggi 315,73 psia, jumlah gas CO yang teradsorpsi mencapai 0.37636 mmol/gram.

Kapasitas adsorpsi pada zeolit alam lebih kecil dari zeolit alam yang telah diaktivasi hal ini disebabkan karena zeolit alam ini belum diaktivasi, sehingga masih banyak pengotor, disamping akan menutupi bidang aktif pada zeolit alam juga menutupi pori sehingga mengurangi luas permukaan dari zeolit, akan menghalangi adsorpsi gas CO pada permukaan zeolit alam. Hal ini juga ditunjukkan oleh hasil uji

BET dan XRF, pengujian BET menunjukkan kecilnya luas permukaan zeolit alam yang belum diaktivasi yaitu 46,13 m²/gr, sedangkan pada zeolit alam teraktivasi kapasitas adsorpsi gas CO lebih besar dikarenakan proses aktivasi dapat membersihkan pengotor baik pengotor organik maupun mineral, yang dapat menutupi pori, sehingga meningkatkan luas permukaan. Disamping itu pengotor yang ada pada permukaan pun dapat dibersihkan dengan proses aktivasi sehingga permukaan menjadi aktif, dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi. Jadi dengan meningkatnya luas permukaan zeolit yang teraktivasi, maka molekul CO yang teradsorpsi pada permukaan zeolit akan semakin meningkat. Luas permukaan zeolit alam teraktivasi meningkat dari 46,13 m²/gr menjadi 92,02 m²/gr. Peningkatan kapasitas adsorpsi disebabkan juga karena perbandingan Si/Al semakin meningkat dari hasil uji XRF rasio Si/Al zeolit alam teraktivasi meningkat dari 6,05 menjadi 9,22, dimana permukaan zeolit menjadi bersifat *hydrophobic*, yaitu suka terhadap molekul non polar (Sabina, 1998).

Tabel 4. 6 Adsorpsi gas CO oleh zeolit alam tidak teraktivasi

n gibs (mmol/gram)	P (Psia)	n model (mmol/gram)
0,00000	0,00	0,00000
0,06597	65,84	0,06597
0,06871	115,10	0,07554
0,07984	164,39	0,08020
0,08505	214,08	0,08297
0,08525	263,86	0,08481
0,08609	313,02	0,08609

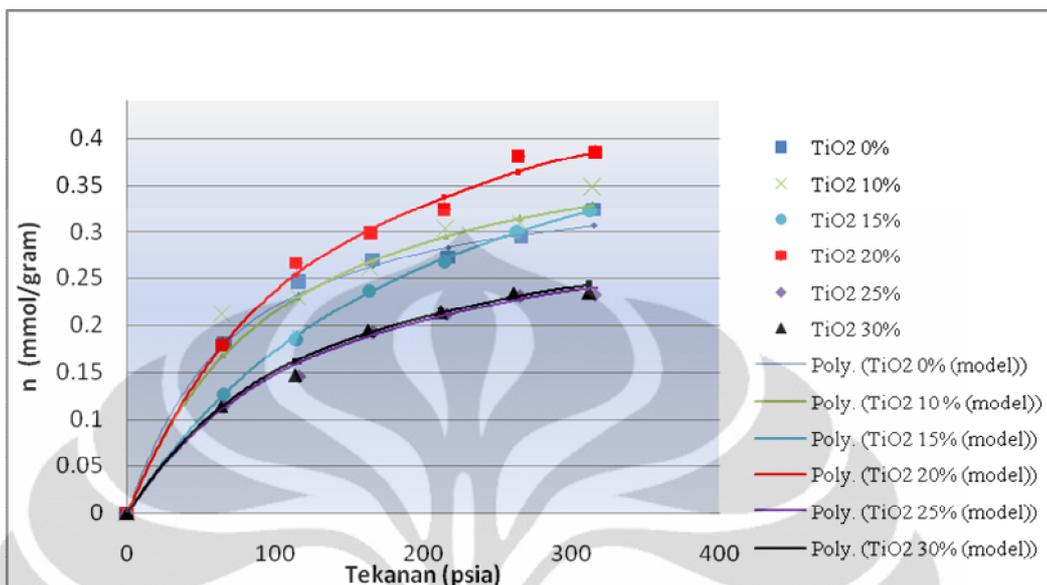
Tabel 4. 7 Adsorpsi gas CO oleh zeolit alam teraktivasi

n gibs (mmol/gram)	P (Psia)	n model (mmol/gram)
0,00000	0,00	0,00000
0,18099	66,3	0,18099
0,24559	116,17	0,23288
0,26995	166,5	0,26322
0,27261	217,13	0,28306
0,29414	265,86	0,29653
0,32384	315,73	0,30681

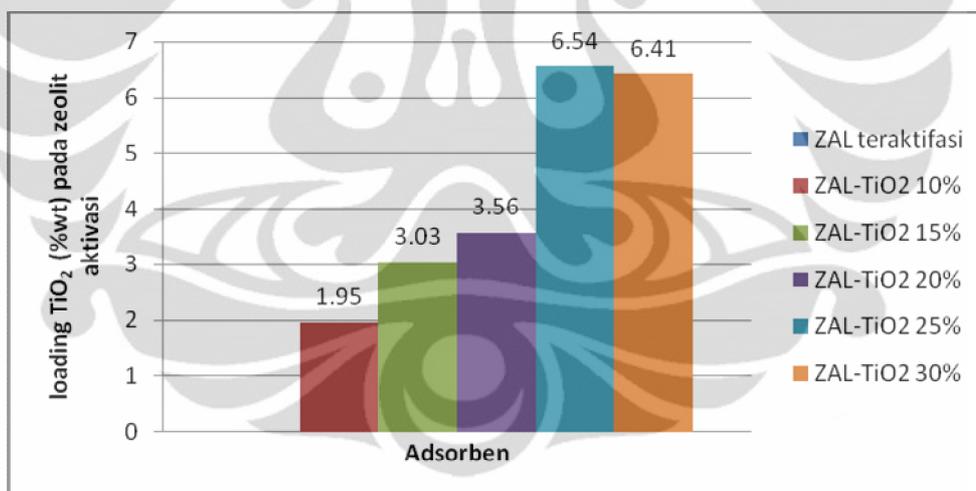
4.5.3 Pengaruh Kandungan TiO₂ pada Zeolit Alam Lampung Teraktivasi

Pada percobaan ini dilakukan uji kinerja kapasitas adsorpsi karbon monoksida pada katalis ZAL teraktivasi yang telah dilapisi TiO₂. Variasi kandungan TiO₂ pada ZAL teraktivasi yaitu 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Berat katalis yang digunakan yaitu sebesar 2 gram. Banyaknya gas CO yang teradsorpsi pada zeolit alam teraktivasi yang telah terlapis TiO₂ dari hasil uji ini direpresentasikan dalam bentuk mol adsorpsi Gibbs

Kapasitas adsorpsi karbon monoksida pada katalis ZAL teraktivasi yang telah dilapisi TiO₂ dapat dilihat pada Gambar 4.6. Terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi seiring penambahan kandungan TiO₂, kemudian kapasitas adsorpsi menurun setelah jumlah TiO₂ lebih besar dari 20%.



Gambar 4. 6 Grafik pengaruh kandungan TiO_2 pada ZAL teraktivasi terhadap kapasitas adsorpsi (n Gibs) dan n model

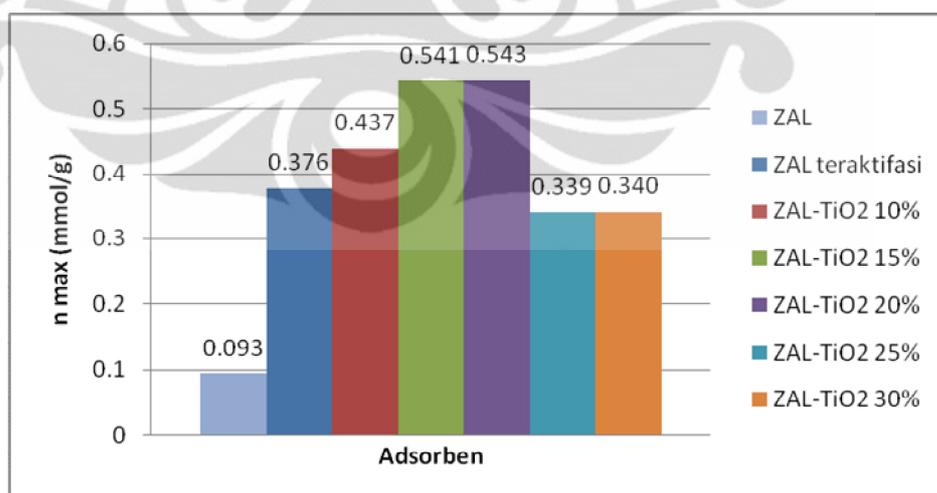


Gambar 4. 7 Grafik loading TiO_2 (%wt) hasil variasi pada ZAL teraktivasi

Pada variasi TiO_2 0%-20%, terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi karbon monoksida seiring makin banyaknya jumlah TiO_2 pada ZAL teraktivasi terlihat pada Gambar 4.7, % TiO_2 hasil pengujian AAS pada variasi TiO_2 pada ZAL teraktivasi, peningkatan ini terjadi karena pengaruh kandungan TiO_2 menyerap gas karbon monoksida dalam pori-pori ZAL teraktivasi, dari Gambar 4.6 kapasitas adsorpsi

paling besar didapatkan pada variasi loding TiO_2 20 % dengan kandungan TiO_2 sebesar 3,56 (wt%) dan luas permukaannya sebesar $96,25 \text{ m}^2/\text{gram}$ yang dapat dilihat pada hasil uji BET pada Tabel 4.2 dibandingkan pada ZAL teraktivasi saja tanpa penambahan TiO_2 yang mempunyai luas permukaan sebesar $92,02 \text{ m}^2/\text{gram}$, dimana TiO_2 dalam zeolit berperan sebagai katalis (Kris Tri Basuki, 2007). Pada variasi TiO_2 25% dan 30% dengan semakin banyaknya jumlah TiO_2 terjadi penurunan kapasitas adsorpsi karbon monoksida hal ini dikarenakan banyak TiO_2 yang menggrombol pada bagian tertentu zeolit sehingga pori-pori zeolit tertutupi dan keaktifan TiO_2 berkurang, dilihat dari hasil uji BET luas permukaannya menurun pada variasi TiO_2 30 % yaitu sebesar $69,94 \text{ m}^2/\text{gram}$. Sehingga bila penambahan TiO_2 terlalu banyak akan mengurangi jumlah zeolit alam teraktivasi yang berfungsi sebagai adsorben gas karbon monoksida. Dengan berkurangnya jumlah ZAL teraktivasi, maka zona adsorpsi akan berkurang pula.

Dari persamaan model Langmuir yang digunakan didapatkan kapasitas adsorpsi maksimum dari masing-masing adsorben sebanding dengan banyaknya permukaan aktif yang dimiliki oleh adsorben yang dapat dilihat pada gambar grafik 4.8.



Gambar 4. 8 Grafik jumlah CO maksimum yang diserap pada setiap adsorben

Dari grafik di atas didapatkan kondisi optimum untuk kapasitas adsorpsi karbon monoksida pada variasi TiO_2 20 % dengan jumlah mol maksimal yang dapat diadsorpsi sebesar 0.543 mmol/g dengan kandungan TiO_2 sebesar 3,58 %.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

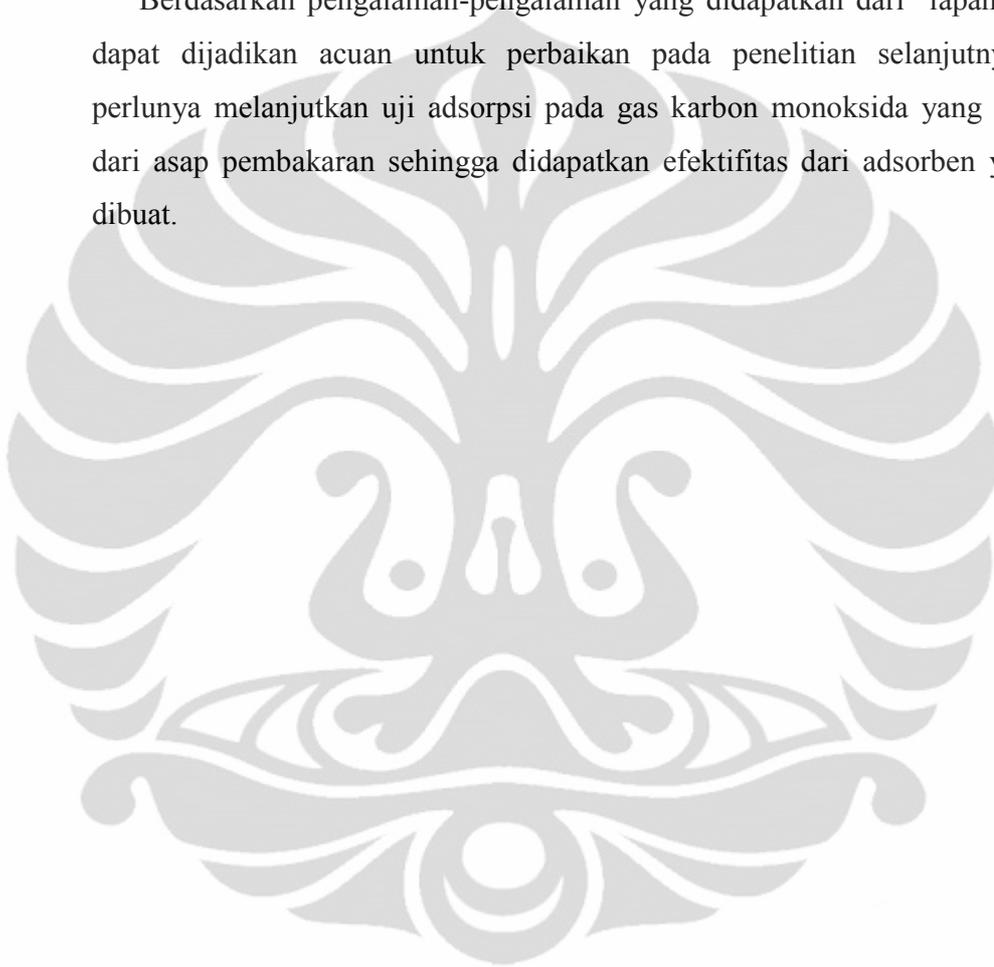
Dari penelitian yang telah dilakukan serta pembahasannya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil Uji analisa X-Ray Fluorescence, rasio Si/Al mengalami peningkatan setelah dilakukan proses aktivasi Zeolit Alam Lampung dari 6,05 menjadi 9,22
2. Hasil uji analisa metode BET, terjadi peningkatan luas permukaan pada zeolit alam yang telah dilakukan aktivasi. Zeolit alam sebelum preparasi dengan luas permukaan sebesar 46,13 m²/gram dan zeolit setelah aktivasi 92,02 m²/gram, pada pelapisan TiO₂ sebesar 20 % luas permukaan bertambah menjadi 96,25 m²/gram sedangkan pada pelapisan TiO₂ sebesar 30 % luas permukaan berkurang menjadi 69,94 m²/gram.
3. Hasil Analisa AAS, variasi komposisi TiO₂ (10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%) yang diimobilisasi kedalam zeolit alam Lampung meningkat seiring kenaikan komposisi TiO₂ yaitu 1,98, 3,06, 3,58, 6,55, 6,41(wt%), namun pada komposisi TiO₂ 30 % tidak ada perbedaan kandungan TiO₂ yang signifikan dengan komposisi TiO₂ 25 %.
4. Hasil Uji Adsorpsi Zeolit Alam Lampung termodifikasi TiO₂
 - a. Kapasitas adsorpsi karbon monoksida pada zeolit alam Lampung teraktivasi lebih besar yaitu $n_{\max} = 0.37636$ mmol/gram dibandingkan dengan zeolit alam Lampung tidak teraktivasi yaitu $n_{\max} = 0.09370$ mmol/gram
 - b. Dengan dilakukannya pelapisan TiO₂ pada zeolit alam Lampung dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi, dari variasi kandungan TiO₂ yang telah

dilakukan didapatkan komposisi optimum TiO_2 sebesar 20 % dan didapatkan kapasitas adsorpsi paling besar yaitu $n_{\text{max}} = 0,54361$ mmol/gram.

5.2 Saran

Berdasarkan pengalaman-pengalaman yang didapatkan dari lapangan, yang dapat dijadikan acuan untuk perbaikan pada penelitian selanjutnya adalah perlunya melanjutkan uji adsorpsi pada gas karbon monoksida yang dihasilkan dari asap pembakaran sehingga didapatkan efektifitas dari adsorben yang telah dibuat.



DAFTAR PUSTAKA

- Apriawan. (2009), *Adsorpsi Gas CO Pada Kasus Kebakaran Menggunakan Zeolite Alam Teraktivasi*. Skripsi Jurusan Teknik Kimia FTUI.
- A. Sirkecio_glu, Y. Altav, and A. Erdem-Şenatarlar. (1995). *Sep. Sci.Technol.* 30, 2747.
- Ackley, M.W., Rege, S.U., and S. Himanshu. (2002). *Application of natural zeolites in the purification and separation of gases*. ScienceDirect Journals.
- Alaire, Yves. (2002). *Toxicity of Fire Smoke*. *Critical Reviews in Toxicology*; 32, 4; ProQuest Science Journals pg. 259.
- Anderson, R.A., Watson, A.A., and Harland, W.A. (1981a). *Fire Deaths in the Glasgow Area. I. General Consideration and Pathology*. *Med. Sci. Law* 21, 51-59.
- Anonim. *Sulphur Dioxide (SO₂)*. <http://www.airqualityontario.com/science/pollutants/sulphur.cfm>. (di akses tanggal 18 Juni 2010).
- Butler, Kathryn M. and Mulholland, George W. (2004). *Generation and Transport of Smoke Components*. Kluwer Academic Publishers.
- C.J. Hilado. (1982). *Flammability Handbook for Electrical Insulation*, Westport, CN: Technomic Publishing Co.
- Davidson, Clive. (2003). *"Marine Notice: Carbon Dioxide: Health Hazard"*. Australian Maritime Safety Authority.
- Drago, Russell S., Burns, Douglas S., and Lafrenz, Todd. J. (1996). *A New Adsorption Model for Analyzing Gas-Solid Equilibria in Porous Materials*. Department of Chemistry, University of Florida.
- Ellyana, M. (2005), *Modifikasi Zeolit Alam Lampung Dengan Fotokatalis TiO₂ Melalui Metode Sol Gel Untuk Penyisihan Fenol*, Skripsi Jurusan TGP FTUI.
- F.H. Tezel, dan G. Apolonatos. (1993). *Gas Sep. Purif.* 7 (1), 11.
- Foo, K.Y and Hameed, B.H. (2010). Insight Into Modeling of Adsorption Isotherm System. *Chemical Engineering Journal*, 156, 2-10.

- Granholm, J.M. and Chester, S.E. (2007). *How Do I Become Certified to Evaluate Visible Emissions (Opacity) in Accordance with EPA Reference Method 9?*. www.eta-is-opacity.com. (diakses tanggal 4 Juni 2010).
- Matsuoka, M., Anpo, M. (2003), *Local structures, excited states, and photocatalytic reactivities of highly dispersed catalyst constructed within zeolites*. J. Photochem. And Photobiol. C: Photochem. Rev., 3, 225-252.
- Menner, R. (2010), *Kapasitas Adsorpsi Tekanan Tinggi Gas Metana Pada Carbon Nanotube Untuk Aplikasi Adsorptive Storage*. Skripsi Jurusan Teknik Kimia FTUI
- Maron and Lando. 1983. *Fundamental of Physical Chemistry*. New York: Macmillan Publishing.
- Mulukutla, R.S., Malchesky, S.P., Maghirang, R., Klahunde, J.S., Klahunde, K.J. and Koper, O. (2005). *Metal Oxide Nanoparticles for Smoke Clearing and Fire Suppression*. Manhattan: NanoScale Corporation
- R.H. Huesca, L. Diaz, and G.A. Armenta. (1999). *Separ. Purif. Technol.* 15, 163.
- Rodrigues. C.F., and Lemos de Sousa. M.J. (2002). *The measurement of coal porosity with different gases*. International Journal of Coal Geology, Elsevier.
- Tim Penyusun Kamus Pusat Bahasa. (2002). *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Ed. 3 cetakan ke-2. Jakarta: Balai Pustaka.
- Wang, Wei, Zhang He Ping and Wan Yu Tian. (2007). “*Experimental Study on CO₂/CO of Typical Lining Materials in Full-Scale Fire Test*”. Chinese Science Bulletin, Springer-Verlag.
- Xu, Yang, Jian Hua Zhu, Li Li Ma, An Ji, Yi Lun Wei, dan Xi Yong Shang. 2003. *Removing Nitrosamines from Mainstream Smoke of cigarettes by Zeolites*. Elsevier Science Inc. Microporous and Mesoporous Materials, 60, 125–138.
- Yadav R, R.G. Maghirang, L.E., Ericson, B. Kakumanu, S.G., Castro, 2007. *Laboratory Evaluation of the effectiveness of Nanostructured and Conventional particles in Clearing smoke in enclosed space*, Elsevier.



LAMPIRAN A
DATA PENELITIAN

Lampiran 1. Tabulasi Pengujian He *Volume Void* Pada Sampel

- Satuan tekanan menggunakan Psia
- Satuan temperatur menggunakan °F
- Satuan volume menggunakan mL

Volume Dozing : 23

TempPmp : 86 (calibrated), 86 (readout@calibrated)

Water, grams : 0

R : 669.954289337

1. Zeolit Alam Lampung tidak teraktifasi

Ini Press	15.8	66.25	115.46	163.98	213.47	264.2
Fin Press	66.25	115.46	163.98	213.47	264.2	315.53
Cal Ini Pre	15.8	66.3	115.5	164.0	213.5	264.2
Cal Fin Pre	66.25	115.46	163.98	213.47	264.20	315.53
P Dozing ini	662.89	662.89	662.89	662.89	662.89	662.89
Cal P Dozing ini	662.89	662.89	662.89	662.89	662.89	662.89
P Dozing fin	616	582.56	549.68	518.81	485.45	451.17
Cal P Dozing fin	616	582.56	549.68	518.81	485.45	451.17
Helium Sol	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
V (mL)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
T dozing	77.918	77.9	77.954	77.936	77.9	77.936
T sampling ini	77.918	77.9	77.954	77.936	77.9	77.936
T sampling fin	77.9	77.954	77.936	77.9	77.936	77.936
Z dozing ini	1.021766694	1.021767524	1.021765034	1.021765864	1.021767524	1.021765864
Z dozing fin	1.020227011	1.019129703	1.018047947	1.017035025	1.015940872	1.014814079
Z sampling init	1.000517825	1.002175472	1.003790962	1.005384251	1.00700978	1.008674955
Z sampling final	1.002175472	1.003790962	1.005384251	1.00700978	1.008674955	1.010360366
Vvoid	15.65	15.43	15.35	15.04	15.01	15.04
Average	15.52					
Std. Dev	0.158875					
99% Confidence	0.204618					

2. Zeolit Alam Lampung teraktifasi

Ini Press	15.8	65.51	115.51	165.46	216.45	267.46
Fin Press	65.51	115.51	165.46	216.45	267.46	316.87
Cal Ini Pre	15.8	65.5	115.5	165.5	216.5	267.5
Cal Fin Pre	65.51	115.51	165.46	216.45	267.46	316.87
P Dozing ini	662.84	662.84	662.84	662.84	662.84	662.84
Cal P Dozing ini	662.84	662.84	662.84	662.84	662.84	662.84
P Dozing fin	619.08	587.06	555.07	522.8	490.51	459.48
Cal P Dozing fin	619.08	587.06	555.07	522.8	490.51	459.48
Helium Sol	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
V (mL)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
T dozing	77.972	77.9	77.99	77.954	77.936	77.954
T sampling ini	77.972	77.9	77.99	77.954	77.936	77.954
T sampling fin	77.9	77.99	77.954	77.936	77.954	78.008
Z dozing ini	1.021762562	1.021765882	1.021761733	1.021763392	1.021764222	1.021763392
Z dozing fin	1.020325821	1.019277471	1.01822353	1.017165381	1.0161058	1.015086361
Z sampling init	1.000517765	1.002151172	1.003792314	1.00543264	1.007107094	1.008781662
Z sampling final	1.002151172	1.003792314	1.00543264	1.007107094	1.008781662	1.010402778
Vvoid	14.77	14.55	14.48	14.42	14.40	14.38
Average	14.50					
Std. Dev	0.041253					
99% Confidence	0.053131					

3. Zeolit Alam Lampung aktifasi terlapis TiO₂ 10%

Ini Press	15.8	66.66	115.99	165.38	215.17	265.12
Fin Press	66.66	115.99	165.38	215.17	265.12	315.02
Cal Ini Pre	15.8	66.7	116.0	165.4	215.2	265.1
Cal Fin Pre	66.66	115.99	165.38	215.17	265.12	315.02
P Dozing ini	661.49	661.49	661.49	661.49	661.49	661.49
Cal P Dozing ini	661.49	661.49	661.49	661.49	661.49	661.49
P Dozing fin	616.94	584.01	551.82	519.34	487.23	453.81
Cal P Dozing fin	616.94	584.01	551.82	519.34	487.23	453.81
Helium Sol	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
V (mL)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
T dozing	77.918	77.936	77.936	77.954	77.954	78.936
T sampling ini	77.918	77.936	77.936	77.954	77.954	78.936
T sampling fin	77.936	77.936	77.954	77.954	77.936	78.9
Z dozing ini	1.021720723	1.021719895	1.021719895	1.021719067	1.021719067	1.021673949
Z dozing fin	1.020257877	1.019175854	1.018118902	1.017051777	1.015997492	1.014869242
Z sampling init	1.000517825	1.002188768	1.003808509	1.005430013	1.007064796	1.008686749
Z sampling final	1.002188768	1.003808509	1.005430013	1.007064796	1.008705164	1.010322526
Vvoid	14.78	14.81	14.74	14.73	14.69	14.77
Average	14.75					
Std. Dev	0.035101					
99% Confidence	0.045207					

4. Zeolit Alam Lampung aktifasi terlapis TiO₂ 15%

Ini Press	15.8	67.65	117.33	167.32	216.23	267.95
Fin Press	67.65	117.33	167.32	216.23	267.95	316.95
Cal Ini Pre	15.8	67.7	117.3	167.3	216.2	268.0
Cal Fin Pre	67.65	117.33	167.32	216.23	267.95	316.95
P Dozing ini	658.21	658.21	658.21	658.21	658.21	658.21
Cal P Dozing ini	658.21	658.21	658.21	658.21	658.21	658.21
P Dozing fin	613.05	580.07	547.37	514.64	482.27	450
Cal P Dozing fin	613.05	580.07	547.37	514.64	482.27	450
Helium Sol	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
V (mL)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
T dozing	77.972	77.9	77.99	77.954	77.936	77.954
T sampling ini	77.972	77.9	77.99	77.954	77.936	77.954
T sampling fin	77.9	77.99	77.954	77.936	77.954	78.008
Z dozing ini	1.021610549	1.021613845	1.021609725	1.021611373	1.021612197	1.021611373
Z dozing fin	1.020127842	1.019047938	1.017970731	1.01689746	1.015835241	1.014775099
Z sampling init	1.000517765	1.002221444	1.003852067	1.00549371	1.00709987	1.008797751
Z sampling final	1.002221444	1.003852067	1.00549371	1.00709987	1.008797751	1.010405404
Vvoid	14.76	14.77	14.73	14.80	14.68	14.73
Average	14.75					
Std. Dev	0.050821					
99% Confidence	0.065453					

5. Zeolit Alam Lampung aktifasi terlapisi TiO₂ 20%

Ini Press	15.8	65.87	116.27	167.19	217.74	268.58
Fin Press	65.87	116.27	167.19	217.74	268.58	319.04
Cal Ini Pre	15.8	65.9	116.3	167.2	217.7	268.6
Cal Fin Pre	65.87	116.27	167.19	217.74	268.58	319.04
P Dozing ini	660.55	660.55	660.55	660.55	660.55	660.55
Cal P Dozing ini	660.55	660.55	660.55	660.55	660.55	660.55
P Dozing fin	617.32	584.67	550.95	518.3	485.7	453.61
Cal P Dozing fin	617.32	584.67	550.95	518.3	485.7	453.61
Helium Sol	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
V (mL)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
T dozing	77.9	77.9	77.9	77.9	77.954	77.918
T sampling ini	77.9	77.9	77.9	77.9	77.954	77.918
T sampling fin	77.9	77.9	77.9	77.954	77.918	77.9
Z dozing ini	1.021690685	1.021690685	1.021690685	1.021690685	1.021688203	1.021689858
Z dozing fin	1.020271128	1.01919899	1.018091716	1.017019577	1.015947257	1.014894764
Z sampling init	1.000517844	1.002162994	1.003817994	1.00549007	1.007149178	1.008819108
Z sampling final	1.002162994	1.003817994	1.00549007	1.007149178	1.008819108	1.010476415
Vvoid	14.51	14.47	14.57	14.57	14.55	14.54
Average	14.54					
Std. Dev	0.016165					
99% Confidence	0.020820					

6. Zeolit Alam Lampung aktifasi terlapisi TiO₂ 25%

Ini Press	15.8	66.3	116.99	167.01	217.08	267.16
Fin Press	66.3	116.99	167.01	217.08	267.16	317.31
Cal Ini Pre	15.8	66.3	117.0	167.0	217.1	267.2
Cal Fin Pre	66.30	116.99	167.01	217.08	267.16	317.31
P Dozing ini	659.23	659.23	659.23	659.23	659.23	659.23
Cal P Dozing ini	659.23	659.23	659.23	659.23	659.23	659.23
P Dozing fin	614.32	581.36	548.84	516.65	484.46	452.44
Cal P Dozing fin	614.32	581.36	548.84	516.65	484.46	452.44
Helium Sol	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
V (mL)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
T dozing	77.972	77.918	77.936	77.954	77.954	77.936
T sampling ini	77.972	77.918	77.936	77.954	77.954	77.936
T sampling fin	77.918	77.936	77.954	77.954	77.936	77.918
Z dozing ini	1.021644038	1.021646514	1.021645689	1.021644863	1.021644863	1.021645689
Z dozing fin	1.020169539	1.01908957	1.018021054	1.016963455	1.015906543	1.014855779
Z sampling init	1.000517765	1.002177031	1.003841344	1.005483532	1.007127508	1.008772147
Z sampling final	1.002177031	1.003841344	1.005483532	1.007127508	1.008772147	1.010419209
Vvoid	14.98	14.76	14.70	14.64	14.62	14.61
Average	14.72					
Std. Dev	0.0394886					
99% Confidence	0.050858					

7. Zeolit Alam Lampung aktifasi terlapisi TiO₂ 30%

Ini Press	15.8	65.53	116.48	168.36	218.3	268.66
Fin Press	65.53	116.48	168.36	218.3	268.66	319.01
Cal Ini Pre	15.8	65.5	116.5	168.4	218.3	268.7
Cal Fin Pre	65.53	116.48	168.36	218.30	268.66	319.01
P Dozing ini	665.53	665.53	665.53	665.53	665.53	665.53
Cal P Dozing ini	665.53	665.53	665.53	665.53	665.53	665.53
P Dozing fin	619.83	586.86	552.55	519.57	486.69	455.07
Cal P Dozing fin	619.83	586.86	552.55	519.57	486.69	455.07
Helium Sol	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
V (mL)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
T dozing	77.9	77.99	77.9	77.9	77.9	77.936
T sampling ini	77.9	77.99	77.9	77.9	77.9	77.936
T sampling fin	77.954	77.9	77.9	77.9	77.936	78.746
Z dozing ini	1.021854215	1.021850048	1.021854215	1.021854215	1.021854215	1.021852548
Z dozing fin	1.020353549	1.019267229	1.018144255	1.017061281	1.01598159	1.014942135
Z sampling init	1.000517844	1.002151419	1.00382489	1.005528489	1.007168385	1.008821399
Z sampling final	1.002151583	1.00382489	1.005528489	1.007168385	1.008821399	1.010456678
Vvoid	15.42	14.97	14.92	14.90	14.88	14.81
Average	14.98					
Std. Dev	0.049475					
99% Confidence	0.063720					

Lampiran 2. Tabulasi Hasil Uji Adsorpsi Pada Sampel

1. Zeolit Alam Lampung tidak teraktifasi

	Uncalibrated*	Calibrated
Vvoid	15.25	
V dozing	23	
Dozing Temp	77	86
Mass ZAL aktivasi(TiO2 10%)	1.92	
%moisture sample, mol H2O	0	0.0000
R, gas constant	669.9542893	(psi cm ³)/(mol °R)

	H2
MW	28.00
Ads.phase dens (g/cm ³)	0.998

Density Pump, mol/cc	0	56.10	56.10	56.10	56.10	56.10	56.10
Dead Pump Volume							
Sampling Press*	15.77	65.84	115.1	164.39	214.08	263.86	313.02
Calibrated	14.3	64.5	113.8	163.2	213.0	262.9	312.1
Initial P dozing	663.45	663.45	618.57	586.25	553.6	520.79	487.99
Final P dozing	663.45	618.57	586.25	553.6	520.79	487.99	455.43
Cal Final P dozing	664.1962943	619.2800457	586.9312094	554.249756	521.4057966	488.5694911	455.9711209
Sampling Temp*	86.00	78.82	78.89	78.82	78.94	78.98	78.764
Calibrated	86.00	78.82	78.89	78.82	78.94	78.98	78.764
density _{cell} , (g/cm ³)	1.21E-03	5.12E-03	8.96E-03	1.28E-02	1.67E-02	2.06E-02	2.45E-02
Z dozing awal	0.987362944	0.987362944	0.987791296	0.988101402	0.988509666	0.988903455	0.989335447
Z dozing final	0.987362944	0.987791296	0.988101402	0.988509666	0.988903455	0.989335447	0.989804839
Z _{cell}	0.999527127	0.998069418	0.99670847	0.995437927	0.994235949	0.993167629	0.992151677
n _{inj}	0.00000	0.00292	0.00501	0.00713	0.00926	0.01139	0.01350
n _{unads}	0.00060	0.00279	0.00488	0.00698	0.00910	0.01123	0.01334
n _{solub}	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
n _{ads}	0.00000	0.00013	0.00013	0.00015	0.00016	0.00016	0.00017
n _{adsgibbs} (mmol/g _{dryzeolitel})	0.0000	0.0660	0.0687	0.0798	0.0851	0.0853	0.0861

2. Zeolit Alam Lampung teraktifasi

	Uncalibrated*	Calibrated
Vvoid	14.5	
V dozing	23	
Dozing Temp	77	86
Mass ZAL aktivasi(TiO2 10%)	1.9	
%moisture sample, mol H2O	0	0.0000
R, gas constant	669.9542893	(psi cm ³)/(mol °R)

	H2
MW	28.00
Ads.phase dens (g/cm ³)	0.998

Density Pump, mol/cc	0	56.10	Dead Pump Volume				
Sampling Press*	15.77	66.3	116.17	166.5	217.13	265.86	315.73
Calibrated	14.3	64.9	114.9	165.3	216.1	264.9	314.8
Initial P dozing	657.91	657.91	611.5	578.57	546.48	514.77	483.62
Final P dozing	657.91	611.5	578.57	546.48	514.77	483.62	451.37
Cal Final P dozing	658.6520584	612.2039333	579.2440209	547.1225868	515.3793097	484.1944762	451.9061736
Sampling Temp*	86.00	78.82	78.89	78.82	78.94	78.98	78.764
Calibrated	86.00	78.82	78.89	78.82	78.94	78.98	78.764
density _{cell} , (g/cm ³)	1.21E-03	5.16E-03	9.04E-03	1.30E-02	1.69E-02	2.08E-02	2.47E-02
Z dozing awal	0.987362944	0.987362944	0.987791296	0.988101402	0.988509666	0.988903455	0.989335447
Z dozing final	0.987362944	0.987791296	0.988101402	0.988509666	0.988903455	0.989335447	0.989804839
Z _{cell}	0.999527127	0.998069418	0.99670847	0.995437927	0.994235949	0.993167629	0.992151677
n _{inj}	0.00000	0.00301	0.00515	0.00724	0.00929	0.01131	0.01341
n _{unads}	0.00057	0.00267	0.00468	0.00672	0.00878	0.01076	0.01279
n _{solub}	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
n _{ads}	0.00000	0.00034	0.00047	0.00051	0.00052	0.00056	0.00062
n _{adsgibbs} (mmol/g _{dryzeolite})	0.0000	0.1810	0.2456	0.2700	0.2726	0.2941	0.3238

3. Zeolit Alam Lampung aktifasi terlapisi TiO₂ 10%

	Uncalibrated*	Calibrated
Vvoid	14.75	
V dozing	23	
Dozing Temp	77	86
Mass ZAL aktivasi(TiO ₂ 10%)	1.94	
%moisture sample, mol H ₂ O	0	0.0000
R, gas constant	669.9542893	(psi cm ³)/(mol °R)

	CO
MW	28.00
Ads.phase dens (g/cm ³)	0.998

Density Pump, mol/cc	0	56.10	56.10	Dead Pump Volume			
Sampling Press*	15.77	64.67	115.15	164.77	215.36	265.17	314.79
Calibrated	14.3	63.3	113.9	163.6	214.3	264.2	313.9
Initial P dozing	649.77	649.77	602.67	570.18	537.78	504.37	472.4
Final P dozing	649.77	602.67	570.18	537.78	504.37	472.4	439.52
Cal Final P dozing	650.5057126	603.3661454	570.8460201	538.4136761	504.9679162	472.9614088	440.0415275
Sampling Temp*	86.00	78.82	78.89	78.82	78.94	78.98	78.764
Calibrated	86.00	78.82	78.89	78.82	78.94	78.98	78.764
density _{cells} (g/cm ³)	1.21E-03	5.03E-03	8.97E-03	1.28E-02	1.68E-02	2.07E-02	2.46E-02
Z dozing awal	0.987428898	0.987428898	0.98787645	0.988229887	0.988611806	0.989040861	0.989491658
Z dozing final	0.987428898	0.98787645	0.988229887	0.988611806	0.989040861	0.989491658	0.989976607
Z _{cell}	0.999527005	0.998114582	0.996743191	0.995423648	0.994276467	0.993180336	0.992163261
n _{inj}	0.00000	0.00306	0.00517	0.00727	0.00944	0.01151	0.01365
n _{unads}	0.00058	0.00265	0.00472	0.00677	0.00885	0.01091	0.01297
n _{solub}	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
n _{ads}	0.00000	0.00041	0.00045	0.00050	0.00059	0.00060	0.00067
n _{adsgibbs} (mmol/g _{dryzeolite})	0.0000	0.2111	0.2297	0.2599	0.3023	0.3100	0.3471

4. Zeolit Alam Lampung aktifasi terlapisi TiO₂ 15%

	Uncalibrated*	Calibrated
Vvoid	14.75	
V dozing	23	
Dozing Temp	77	86
Mass ZAL aktivasi(TiO ₂ 10%)	1.9	
%moisture sample, mol H ₂ O	0	0.0000
R, gas constant	669.9542893	(psi cm ³)/(mol °R)

	CO
MW	28.00
Ads.phase dens (g/cm ³)	0.998

Density Pump, mol/cc	0	56.10	56.10	Dead Pump Volume			
Sampling Press*	15.77	65.11	114.72	163.57	214.13	263.95	313.03
Calibrated	14.3	63.7	113.5	162.4	213.1	263.0	312.1
Initial P dozing	650.99	650.99	606.21	573.12	540.6	507.6	474.87
Final P dozing	650.99	606.21	573.12	540.6	507.6	474.87	442.8
Cal Final P dozing	651.7266729	606.9092881	573.7888413	541.2365825	508.2014801	475.4343092	443.3256122
Sampling Temp*	86.00	78.82	78.89	78.82	78.94	78.98	78.764
Calibrated	86.00	78.82	78.89	78.82	78.94	78.98	78.764
density _{cells} (g/cm ³)	1.21E-03	5.06E-03	8.93E-03	1.28E-02	1.67E-02	2.06E-02	2.45E-02
Z dozing awal	0.987426816	0.987426816	0.987848474	0.988192693	0.988587018	0.989001292	0.989446335
Z dozing final	0.987426816	0.987848474	0.988192693	0.988587018	0.989001292	0.989446335	0.98992291
Z _{cell}	0.999556973	0.998103239	0.996753644	0.995511268	0.994306265	0.993200493	0.992195146
n _{inj}	0.00000	0.00291	0.00506	0.00717	0.00931	0.01143	0.01351
n _{unads}	0.00058	0.00267	0.00471	0.00672	0.00880	0.01086	0.01290
n _{solub}	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
n _{ads}	0.00000	0.00024	0.00035	0.00045	0.00051	0.00057	0.00061
n _{adsgibbs} (mmol/g _{dryzeolite})	0.0000	0.1268	0.1848	0.2370	0.2666	0.3000	0.3223

5. Zeolit Alam Lampung aktifasi terlapis TiO₂ 20%

	Uncalibrated*	Calibrated
Vvoid	14.54	
V dozing	23	
Dozing Temp	77	86
Mass ZAL aktivasi(TiO ₂ 10%)	1.86	
%moisture sample, mol H ₂ O	0	0.0000
R, gas constant	669.9542893	(psi cm ³)/(mol °R)

	CO
MW	28.00
Ads.phase dens (g/cm ³)	0.998

	Density Pump, mol/cc	0	56.10	Dead Pump Volume			
Sampling Press*	15.77	64.29	114.19	164.36	214.03	264.1	316.02
Calibrated	14.3	62.9	112.9	163.2	213.0	263.1	315.1
Initial P dozing	656.02	656.02	610.91	577.3	544.98	513.16	480.06
Final P dozing	656.02	610.91	577.3	544.98	513.16	480.06	447.2
Cal Final P dozing	656.7605979	611.6134182	577.9728197	545.6210623	513.7675614	480.6303599	447.7310547
Sampling Temp*	86.00	78.82	78.89	78.82	78.94	78.98	78.764
Calibrated	86.00	78.82	78.89	78.82	78.94	78.98	78.764
density _{cell} , (g/cm ³)	1.21E-03	5.00E-03	8.89E-03	1.28E-02	1.67E-02	2.06E-02	2.47E-02
Z dozing awal	0.987387705	0.987379068	0.987797178	0.988146563	0.988531432	0.988931523	0.989378979
Z dozing final	0.987387705	0.987797178	0.988146563	0.988531432	0.988931523	0.989378979	0.989855543
Z _{cell}	0.99952737	0.998125733	0.996767608	0.9954918	0.99431014	0.99319562	0.992135152
n _{inj}	0.00000	0.00293	0.00511	0.00721	0.00928	0.01142	0.01355
n _{unads}	0.00057	0.00260	0.00462	0.00665	0.00867	0.01071	0.01284
n _{solub}	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
n _{ads}	0.00000	0.00033	0.00049	0.00056	0.00060	0.00071	0.00072
n _{ads} _{gibbs} (mmol/g _{dryzeolite})	0.0000	0.1793	0.2661	0.2990	0.3237	0.3811	0.3846

6. Zeolit Alam Lampung aktifasi terlapisi TiO₂ 25%

	Uncalibrated*	Calibrated
Vvoid	14.72	
V dozing	23	
Dozing Temp	77	86
Mass ZAL aktivasi(TiO ₂ 10%)	1.9	
%moisture sample, mol H ₂ O	0	0.0000
R, gas constant	669.9542893	(psi cm ³)/(mol °R)

	CO
MW	28.00
Ads.phase dens (g/cm ³)	0.998

Density Pump, mol/cc	0	56.10	56.10	56.10	56.10	56.10	56.10
Dead Pump Volume							
Sampling Press*	15.77	65.11	116.3	165.86	215.81	265.6	315.78
Calibrated	14.3	63.7	115.0	164.7	214.7	264.6	314.9
Initial P dozing	659.89	659.89	615.06	581.59	549.76	517.56	485.57
Final P dozing	659.89	615.06	581.59	549.76	517.56	485.57	453.03
Cal Final P dozing	660.63358	615.7670248	582.266863	550.4059033	518.1723259	486.1467191	453.5682008
Sampling Temp*	86.00	78.82	78.89	78.82	78.94	78.98	78.764
Calibrated	86.00	78.82	78.89	78.82	78.94	78.98	78.764
density _{cells} (g/cm ³)	1.21E-03	5.06E-03	9.05E-03	1.29E-02	1.68E-02	2.07E-02	2.47E-02
Z dozing awal	0.987346172	0.987341832	0.987751942	0.988103361	0.988462955	0.988863647	0.989301452
Z dozing final	0.987346172	0.987751942	0.988103361	0.988462955	0.988863647	0.989301452	0.989770405
Z _{cell}	0.999527127	0.998102245	0.99671295	0.99545118	0.994264564	0.993169272	0.99214388
n _{inj}	0.00000	0.00291	0.00508	0.00715	0.00924	0.01132	0.01343
n _{unads}	0.00058	0.00266	0.00476	0.00680	0.00885	0.01091	0.01299
n _{solub}	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
n _{ads}	0.00000	0.00025	0.00032	0.00035	0.00039	0.00041	0.00044
n _{adsgibbs} (mmol/g _{dryzeolite})	0.0000	0.1313	0.1707	0.1857	0.2036	0.2149	0.2315

7. Zeolit Alam Lampung aktifasi terlapisi TiO₂ 30%

	Uncalibrated*	Calibrated
Vvoid	14.98	
V dozing	23	
Dozing Temp	77	86
Mass ZAL aktivasi(TiO ₂ 10%)	2.01	
%moisture sample, mol H ₂ O	0	0.0000
R, gas constant	669.9542893	(psi cm ³)/ (mol °R)

	CO
MW	28.00
Ads.phase dens (g/cm ³)	0.998

Density Pump, mol/cc	0	56.10	56.10	Dead Pump Volume			
Sampling Press*	15.77	63.45	113.12	162.84	211.87	261.43	312.19
Calibrated	14.3	62.1	111.9	161.7	210.8	260.5	311.3
Initial P dozing	663.6	663.6	619.46	586.55	553.04	520.82	488.12
Final P dozing	663.6	619.46	586.55	553.04	520.82	488.12	455.1
Cal Final P dozing	664.346408	620.1708074	587.2314876	553.6891961	521.4358287	488.6996396	455.6407202
Sampling Temp*	86.00	78.82	78.89	78.82	78.94	78.98	78.764
Calibrated	86.00	78.82	78.89	78.82	78.94	78.98	78.764
density _{cells} (g/cm ³)	1.21E-03	4.93E-03	8.81E-03	1.27E-02	1.65E-02	2.04E-02	2.44E-02
Z dozing awal	0.987319435	0.987319435	0.987717132	0.988053586	0.988424003	0.988828681	0.989259179
Z dozing final	0.987319435	0.987717132	0.988053586	0.988424003	0.988828681	0.989259179	0.989736172
Z _{cell}	0.999527249	0.998149512	0.996797537	0.995525628	0.994358231	0.993254266	0.992212063
n _{inj}	0.00000	0.00287	0.00500	0.00718	0.00927	0.01139	0.01353
n _{unads}	0.00059	0.00264	0.00471	0.00679	0.00885	0.01093	0.01307
n _{solub}	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
n _{ads}	0.00000	0.00023	0.00029	0.00039	0.00042	0.00047	0.00047
n _{adsgibbs} (mmol/g _{dryzeolite})	0.0000	0.1128	0.1451	0.1924	0.2114	0.2317	0.2327

Lampiran 3.Representasi Permodelan Langmuir

$$\theta = \frac{q}{q_s} = \frac{bp}{1+bp}$$

$$q = q_s \frac{bp}{1+bp}$$

q : Jumlah mol teradsorpsi (adsorpsi absolut)

q_s : Jumlah mol maksimal yang dapat teradsorpsi (n maks)

b : Konstanta Langmuir

P : tekanan sampling

1. Zeolit Alam Lampung tidak teraktifasi

n gibbs	p	n model	deviasi
0	0	0	0
0.065973948	65.84	0.06597381	2.07E-06
0.068711911	115.1	0.07554204	0.099402
0.079849097	164.39	0.08020361	0.00444
0.085053807	214.08	0.08297899	0.024394
0.085257193	263.86	0.08481074	0.005237
0.086094346	313.02	0.08609435	2.67E-08
%ADD			2.224585

Langmuir Constant	
n maks	0.093706
b	0.036131

2. Zeolit Alam Lampung teraktifasi

n gibbs	p	n model	deviasi
0	0	0	0
0.18099	66.3	0.18099	1.08E-07
0.245595	116.17	0.232888	0.05174
0.269957	166.5	0.263221	0.024954
0.272614	217.13	0.283063	0.03833
0.294141	265.86	0.296537	0.008146
0.323841	315.73	0.306816	0.052572
%ADD			2.92903

Langmuir Constant	
n maks	0.376365
b	0.0139724

3. Zeolit Alam Lampung aktifasi terlapisi TiO₂ 10%

n gibbs	p	n model	deviasi
0	0	0	0
0.211132	64.67	0.167558	0.206383
0.229688	115.15	0.229688	1.95E-07
0.259928	164.77	0.268031	0.031172
0.302252	215.36	0.294864	0.024443
0.309976	265.17	0.314102	0.01331
0.347106	314.79	0.328719	0.052973
%ADD			5.471363

Langmuir Constant	
n maks	0.437524
b	0.009597

4. Zeolit Alam Lampung aktifasi terlapisi TiO₂ 15%

n gibbs	p	n model	deviasi
0	0	0	0
0.126755207	65.11	0.12675464	4.47E-06
0.184775349	114.72	0.18955269	0.025855
0.236980278	163.57	0.23523181	0.007378
0.266601811	214.13	0.2715131	0.018422
0.300042881	263.95	0.29974336	0.000998
0.32231443	313.03	0.32232807	4.23E-05
%ADD			0.878331

Langmuir Constant	
n maks	0.54192078
b	0.00468915

5. Zeolit Alam Lampung aktifasi terlapisi TiO₂ 20%

n gibbs	p	n model	deviasi
0	0	0	0
0.179255	64.29	0.179255	8.56E-07
0.266101	114.19	0.253506	0.047332
0.299011	164.36	0.302838	0.012799
0.323677	214.03	0.337532	0.042806
0.381127	264.1	0.36367	0.045805
0.384576	316.02	0.384585	2.23E-05
%ADD			2.47942

Langmuir Constant	
n maks	0.543616
b	0.007652

6. Zeolit Alam Lampung aktifasi terlapis TiO₂ 25%

n gibbs	p	n model	deviasi
0	0	0	0
0.112843	65.11	0.112843	2.64E-06
0.145085	116.3	0.159801	0.101432
0.192415	165.86	0.189823	0.013474
0.211385	215.81	0.211393	3.97E-05
0.231723	265.6	0.227484	0.018293
0.23273	315.78	0.240071	0.031546
%ADD			2.746439

Langmuir Constant	
n maks	0.339494
b	0.007647

7. Zeolit Alam Lampung aktifasi terlapis TiO₂ 30%

n gibbs	p	n model	deviasi
0	0	0	0
0.113977176	63.45	0.11397647	6.21E-06
0.146542848	113.12	0.16103926	0.098923
0.194349145	162.84	0.19195412	0.012323
0.213509482	211.87	0.21353701	0.000129
0.234052307	261.43	0.22980551	0.018145
0.235068556	312.19	0.24265558	0.032276
%ADD			2.696692

Langmuir Constant	
n maks	0.34080407
b	0.00791932



LAMPIRAN B
UJI ANALISA X-RAY FLOURESSENCE

5/12/2011 17:28																	
Results quantitative																	
Sample name (1-50)	Al2O3	Ca O	Cr2O 3	Fe2O 3	K2 O	Mg O	Mn O	Na2 O	P2O 5	SiO2	TiO 2	V2O 5	Cu	Zn	BaO	Total	
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
	d0.001									d0.015							
	u0.15																
VER_BLANK A	0.0029	0.01	-0.02	-0.01	0.00	0.04	0.01	0.01	0.00	-0.0070	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0300	
VER_BLANK B	0.0479	0.01	-0.02	-0.02	0.00	0.05	0.00	-0.01	0.00	0.0816	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.1080	
VER_BLANK C	0.0073	0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.03	0.00	-0.01	0.00	0.0044	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.0120	
VER_NILTRT 33 A	5.5237	0.02	2.65	60.76	0.00	6.52	1.05	-0.01	0.01	9.0251	0.04	0.03	0.01	0.04	-0.01	87.5120	
VER_NILTRT 33 B	5.5001	0.01	2.64	60.34	0.00	6.50	1.05	-0.03	0.01	8.9704	0.03	0.03	0.00	0.04	-0.01	86.9300	
VER_FE-01 A	6.7570	0.08	0.00	75.94	0.04	0.43	1.57	0.01	0.16	2.3645	0.22	0.01	0.22	0.09	0.04	90.7820	
VER_FE-01 B	6.8351	0.08	0.00	77.38	0.04	0.45	1.60	0.06	0.16	2.3881	0.23	0.01	0.23	0.09	0.05	92.5140	
VER_NCS DC73324 A	21.3952	0.19	0.00	8.20	1.73	0.37	0.20	0.21	0.07	57.4214	0.72	0.03	0.04	0.01	0.00	90.7100	
VER_NCS DC73324 B	21.5122	0.20	0.00	8.28	1.74	0.37	0.20	0.25	0.07	57.6064	0.73	0.03	0.04	0.01	0.00	91.1880	
VER_SARM 11 A	1.3943	0.03	0.06	93.51	0.16	0.05	0.02	-0.05	0.09	3.1278	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	98.6060	
VER_SARM 11 B	1.4412	0.04	0.00	95.62	0.16	0.05	0.02	-0.02	0.09	3.1558	0.06	0.01	0.00	0.00	0.01	100.6980	
VER_ZRM 686-1 A	0.1251	0.01	0.02	100.06	0.00	0.04	0.30	0.02	0.02	0.0267	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.7920	
VER_ZRM 686-1 B	0.1253	0.01	0.02	100.11	0.00	0.05	0.30	-0.01	0.02	0.0415	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	100.8350	
VER_CECA 609-1 A	4.3635	9.29	0.00	43.32	0.21	3.29	0.59	0.15	1.40	17.0935	0.19	0.11	0.01	0.03	0.02	81.1690	
VER_CECA 609-1 B	4.3837	9.33	0.01	43.47	0.21	3.32	0.59	0.18	1.40	17.1709	0.19	0.11	0.01	0.03	0.02	81.5380	
VER_GBM 396-1 A	8.4431	4.25	0.12	12.95	0.98	4.60	0.16	1.10	0.08	56.5139	0.48	0.02	0.29	0.69	0.07	94.5720	
VER_GBM 396-1 B	8.4333	4.26	0.12	12.93	0.98	4.59	0.16	1.10	0.08	56.5026	0.48	0.02	0.29	0.69	0.06	94.5280	
VER_JSS 805-1 A	1.0328	0.03	0.00	97.81	0.01	0.06	0.32	0.16	0.09	0.5239	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	100.1340	

VER_JSS 805-1 B	1.0219	0.03	0.00	97.52	0.01	0.07	0.32	0.03	0.09	0.5219	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	99.6980		
VER_SARM 5 A	4.2028	2.51	3.48	12.55	0.09	25.25	0.22	0.40	0.02	51.0256	0.19	0.06	0.00	0.01	-0.01	100.0970		
VER_SARM 5 B	4.1984	2.52	3.46	12.62	0.09	25.29	0.22	0.44	0.02	51.2399	0.19	0.06	0.00	0.01	-0.01	100.4530		
VER_JMN-1 A	4.4372	2.94	-0.01	14.31	0.94	3.39	33.64	2.82	0.55	14.6624	1.05	0.08	1.14	0.11	0.19	82.7320		
VER_JMN-1 B	4.5514	2.99	0.00	14.54	0.96	3.45	34.08	2.90	0.55	14.8716	1.07	0.08	1.15	0.11	0.20	84.0350		
VER_SRM 1944 A	10.4082	1.58	0.03	5.14	2.01	2.14	0.07	2.64	0.37	63.4613	0.74	0.03	0.04	0.07	0.04	91.5060		
VER_SRM 1944 B	10.1572	1.59	0.03	4.99	1.98	2.06	0.07	2.56	0.36	64.7458	0.75	0.03	0.04	0.06	0.04	91.9930		
54820 A	12.8415	4.83	-0.01	1.73	2.92	0.80	0.03	0.83	0.04	66.2646	0.19	0.01	0.00	0.01	0.05	90.8620		
54820 B	7.2946	1.52	0.00	0.51	2.23	0.56	0.00	0.40	0.02	79.4090	0.18	0.01	0.00	0.00	0.00	93.7050		Si u0.25
54820 C	6.2209	0.92	-0.01	0.42	2.21	0.37	0.00	0.21	0.02	81.7898	0.18	0.01	0.00	0.00	-0.01	93.1530		Si u0.25
54820 D	8.6701	1.14	0.01	1.05	2.42	0.45	0.00	0.61	0.02	79.9495	0.19	0.01	0.00	0.00	-0.01	94.5710		Si u0.25
54820 E	11.9095	2.76	-0.01	1.17	2.34	0.70	0.01	1.77	0.03	72.0965	0.13	0.01	0.00	0.00	0.01	93.0470		
54820 F (zal I HF)	14.1499	2.32	-0.01	2.84	1.93	0.80	0.03	1.02	0.03	69.1049	0.16	0.01	0.00	0.00	0.05	92.5800		
54820 G (zal HCl)	6.7376	1.05	-0.01	0.76	0.82	0.61	0.00	1.07	0.02	82.5092	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	95.3850		Si u0.25
54820 H (zal NH4Cl)	6.8461	0.97	-0.01	0.80	0.74	0.26	0.00	1.19	0.02	88.4852	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	99.3370		Si u0.25
54820 I (zal blm diaktivasi)	13.9886	2.29	-0.01	2.77	2.06	0.88	0.03	0.74	0.03	70.1870	0.16	0.01	0.00	0.00	0.06	93.3560		
54820 J (zal aktivasi)	6.3580	0.87	-0.01	0.77	0.69	0.43	0.00	1.10	0.02	84.5192	0.14	0.01	0.00	0.00	-0.01	95.8970		Si u0.25
54820 REP A	12.5584	4.71	-0.01	1.68	2.85	0.78	0.03	0.83	0.03	64.8706	0.19	0.01	0.00	0.01	0.05	88.9090		
54820 REP H	6.7562	0.94	-0.01	0.82	0.73	0.25	0.00	1.15	0.02	87.8425	0.15	0.01	0.00	0.00	-0.01	98.5040		Si u0.25
BLANK	0.0029	0.01	-0.02	-0.01	0.00	0.04	0.01	0.01	0.00	-0.0070	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0300		
SARM 5	4.1803	2.51	3.49	12.59	0.09	25.24	0.22	0.40	0.02	51.1040	0.19	0.06	0.00	0.01	-0.01	100.1830		
exp value	4.1800	2.66	3.500	12.70	0.09	25.33	0.22	0.37	0.021	51.1000	0.20	0.041			0.005			

HIGH PURITY SILICA	0.0611	0.02	0.09	0.08	0.03	0.11	0.00	0.07	0.02	99.7053	0.02	0.01	0.00	0.00	-0.02	99.9980		<i>Si</i> <i>u0.25</i>
<i>exp value</i>	0.0360	0.01	0.000	0.01	0.01	0.00	0.000	0.00		99.7800	0.02							
SARM 1	12.0785	0.80	0.00	2.01	4.98	0.04	0.02	3.28	0.02	75.7289	0.07	0.01	0.00	0.00	0.01	99.1220		
<i>exp value</i>	12.0800	0.78	0.002	2.00	4.99	0.06	0.021	3.36		75.7000	0.09		0.001	0.005				

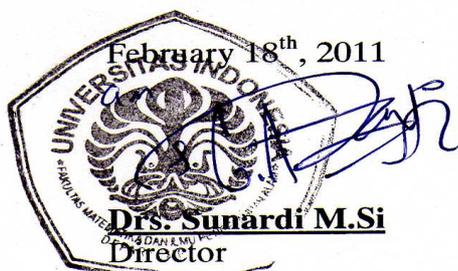






Lab. Afiliasi

LABORATORY TEST RESULTS				
Job. Number : 066 / II / 011		Date : 18 - 02 - 2011		
Customer : Sdr. Gondang		Attention :		
Parameter Analysis : TiO₂				
Date Received : 07 - 02 - 2011				
Sample Matrix : Solid				
No.	Sample Codes	Result	Unit	Method
1.	AF - 066 - 1 (TiO ₂ 10%)	1.98	%	AAS
2.	AF - 066 - 2 (TiO ₂ 15%)	3.06		
3.	AF - 066 - 3 (TiO ₂ 20%)	3.58		
4.	AF - 066 - 4 (TiO ₂ 25%)	6.55		
5.	AF - 066 - 5 (TiO ₂ 30%)	6.41		



Page 2 of 2

UI Affiliation Laboratory
Department of Chemistry, Faculty of Mathematic and Science,
University of Indonesia, Depok 16424
Phone 021-7872720, Fax 021-7872720



LAMPIRAN D
UJI ANALISA BET

BET ZAL gon

Date: 03/14/2011

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	ZAL Aktivasi				
Description	M Gondang AK				
Comments					
Sample Weight	0.3780 g				
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Temp	150 °C	Operator	jajat
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molec	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	91.8 min
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler	3	End of Run	03/04/2011
13:31					
Molecular wt	28.0134 g/mol	Equil Time	2	File Name	AS966597.RAW
Station #	6	Bath Temp.	77.40		

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	9.202E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	1.384E+02	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	3.798E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	5.404E+01	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	1.340E+02	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	2.859E-02	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	4.762E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	4.438E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	4.473E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	6.929E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.640E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.408E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.639E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

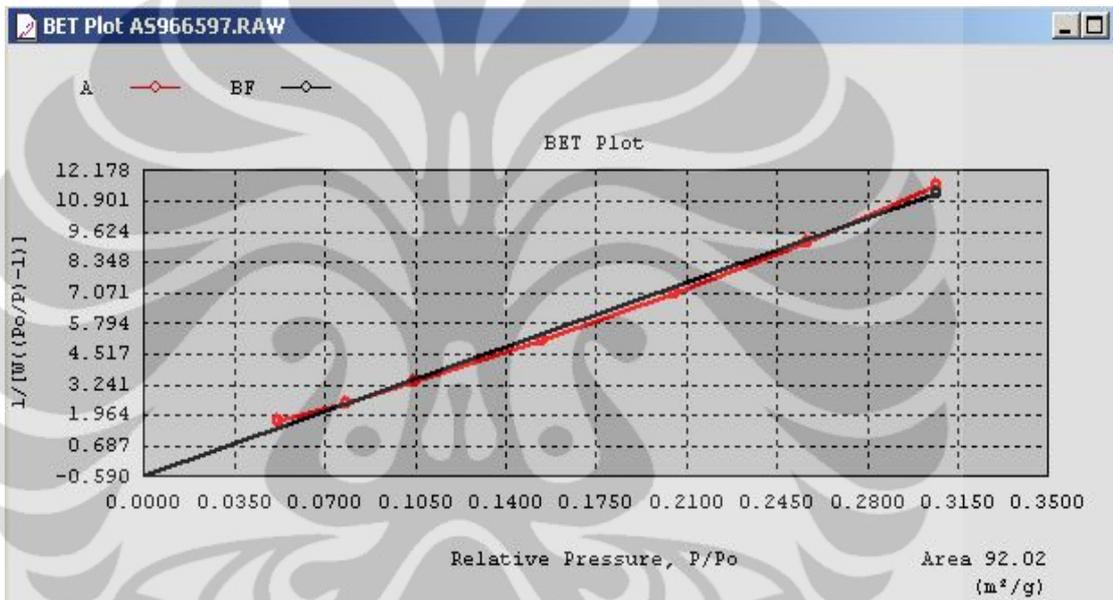
Thermal Transpiration : OFF
Last Po Acquired 768.18 mm Hg
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol

Quantachrome Corporation
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	ZAL Aktivasi				
Description	M Gondang AK				
Comments					
Sample Weight	0.3780 g	Outgas Temp	150.4 °C	Operator	jajat
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	91.8 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	03/04/2011 13:31
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS966597.RAW
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.44	PC SW Version	Rev-1.20
Station #	6				



Quantachrome Corporation
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	TiO2 20%				
Description	Gondang tes 2				
Comments					
Sample Weight	0.3009 g				
Absorbate	NITROGEN	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	.jajat
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	62.4 min
NonIdeality	6.580E-05	P/Po Toler	3	End of Run	04/27/2011 15:21
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Equil Time	2	File Name	AS977517.RAW
Station #	5	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	9.625E+01	m ² /g
Langmuir Surface Area.....	1.474E+02	m ² /g
t-Method External Surface Area.....	6.090E+01	m ² /g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	3.535E+01	m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	1.362E+02	m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	1.859E-02	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	4.839E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	4.348E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	4.406E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	8.492E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.740E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.417E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.657E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration : OFF
 Last Po Acquired 767.38 mm Hg
 Additional Initialization Information Not Recorded.

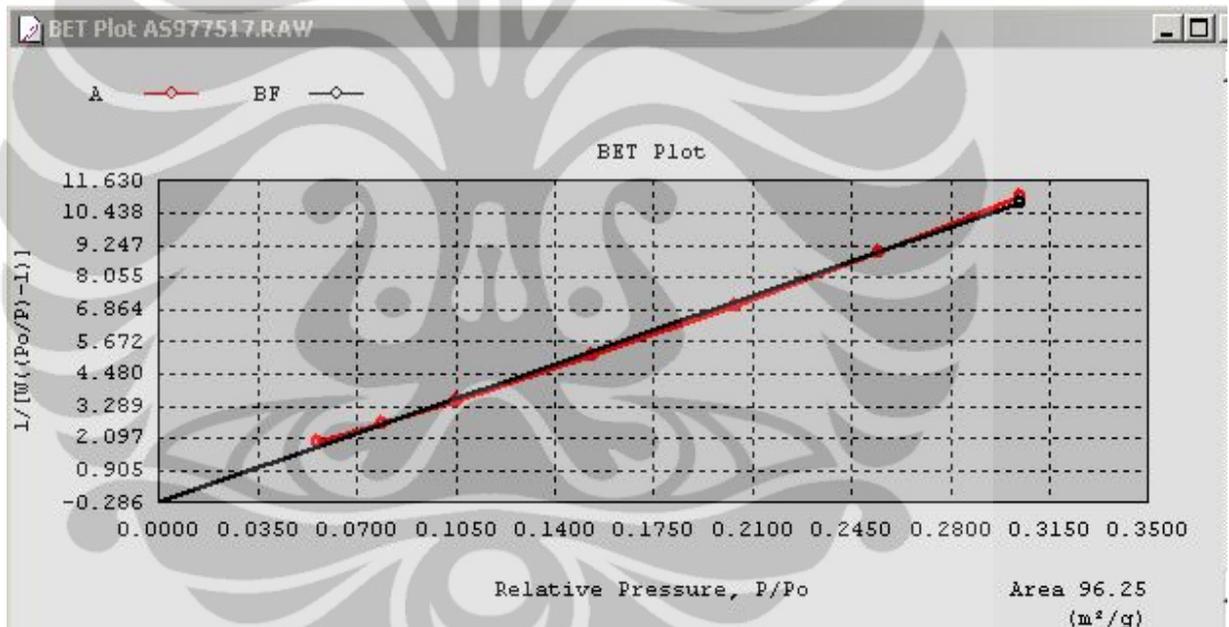
BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol

04/27/2011

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	TiO2 20%				
Description	Gondang tes 2				
Comments					
Sample Weight	0.3009 g	Outgas Temp	150.0 °C	Operator	.jajat
Absorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	62.4 min
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	End of Run	04/27/2011 15:2
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS977517.RAW
Molecular Wt.	28.0104 g/mol	Bath Temp.	77.40	PC SW Version	Pre-1.20
Station #	5				



Universitas Indonesia

BET TiO2 30%

Date: 03/14/2011

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	TiO2 30%					
Description	M Gondang AK					
Comments						
Sample Weight	0.3425 g	Outgas Temp	150 °C	Operator	.jajat	
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	Analysis Time	52.4	min
Cross-Sec Area	16.2 Å²/molec	P/Po Toler	3	End of Run	03/04/2011	
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2	File Name	AS966596.RAW	
11:43		Bath Temp.	77.40			
Molecular wt	28.0134 g/mol					
Station #	5					

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY

SURFACE AREA DATA

Multipoint BET.....	6.994E+01	m²/g
Langmuir Surface Area.....	1.081E+02	m²/g
t-Method External Surface Area.....	5.537E+01	m²/g
t-Method Micro Pore Surface Area.....	1.456E+01	m²/g
DR Method Micro Pore Area.....	9.638E+01	m²/g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume.....	7.489E-03	cc/g
DR Method Micro Pore Volume.....	3.425E-02	cc/g
HK Method Cumulative Pore Volume.....	3.001E-02	cc/g
SF Method Cumulative Pore Volume.....	3.053E-02	cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	9.428E+01	Å
DA Method Pore Diameter (Mode).....	1.760E+01	Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1.408E+01	Å
SF Method Pore Diameter (Mode).....	2.639E+01	Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

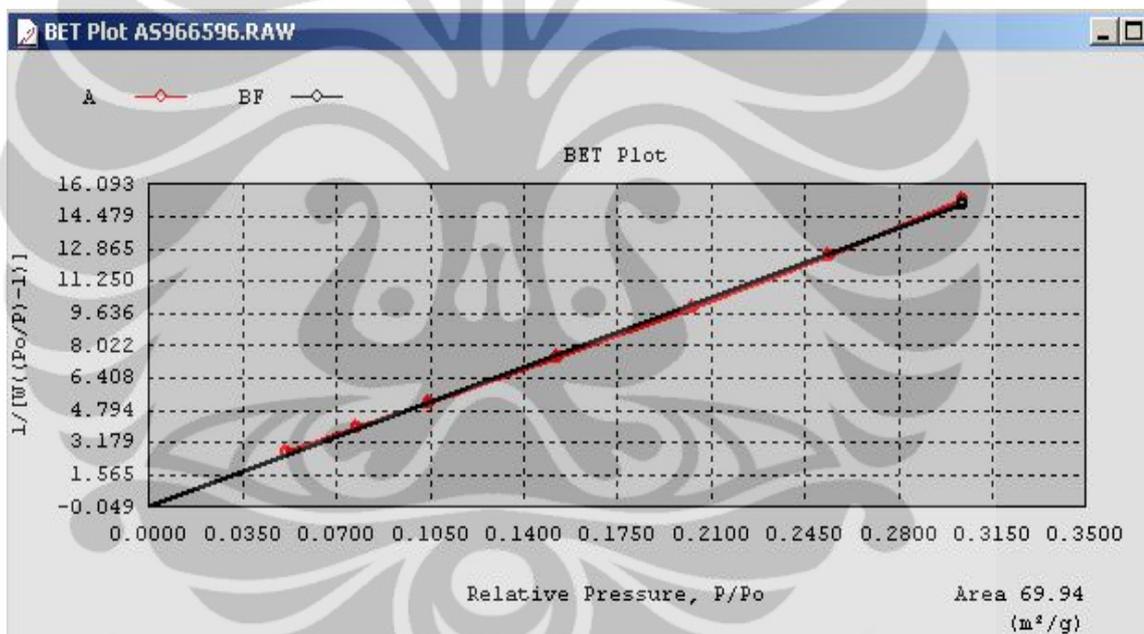
Thermal Transpiration : OFF
Last Po Acquired 769.03 mm Hg
Additional Initialization Information Not Recorded.

BJH/DH Moving Average Size : 1

Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol

Quantachrome Corporation
 Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
 Autosorb for Windows® for AS-3 and AS-6 Version 1.23

Sample ID	TiO2 30%			Operator	.jajat
Description	M Gondang AK			Analysis Time	52.4 min
Comments					
Sample Weight	0.3425 g	Outgas Temp	150.0 °C	End of Run	03/04/2011 11
Adsorbate	NITROGEN	Outgas Time	24.0 hrs	File Name	AS966596.RAW
Cross-Sec Area	16.2 Å ² /molecule	P/Po Toler	3	PC SW Version	Pre-1.20
NonIdeality	6.580E-05	Equil Time	2		
Molecular Wt	28.0134 g/mol	Bath Temp.	77.40		
Station #	5				



*** This report was generated by an unaudited system ***

Analysis

Report

Operator: Sukardi-Lemigas Date: 2009/12/04 Operator: Sukardi-Lemigas Date: 12/8/2009
Sample ID: Zeolit alm 1 Filename: C:\QCdata\physisorb\UI-4-1.qps

Area-Volume Summary summary

Surface Area Data

MultiPoint BET.....	4.613e+01 m ² /g
Langmuir surface area.....	6.909e+01 m ² /g
BJH method cumulative adsorption surface area.....	1.749e+01 m ² /g
BJH method cumulative desorption surface area.....	3.776e+01 m ² /g
DH method cumulative adsorption surface area.....	1.779e+01 m ² /g
DH method cumulative desorption surface area.....	3.857e+01 m ² /g
t-method external surface area.....	4.613e+01 m ² /g

Pore Volume Data

Total pore volume for pores with Diameter less than 2045.43 Å at P/Po = 0.990537.....	1.232e-01 cc/g
BJH method cumulative adsorption pore volume.....	1.080e-01 cc/g
BJH method cumulative desorption pore volume.....	1.175e-01 cc/g
DH method cumulative adsorption pore volume.....	1.052e-01 cc/g
DH method cumulative desorption pore volume.....	1.149e-01 cc/g
HK method cumulative pore volume.....	2.161e-02 cc/g
SF method cumulative pore volume.....	2.180e-02 cc/g

Pore Size Data

Average pore Diameter.....	1.068e+02 Å
BJH method adsorption pore Diameter (Mode).....	7.755e+01 Å
BJH method desorption pore Diameter (Mode).....	3.857e+01 Å
DH method adsorption pore Diameter (Mode).....	7.755e+01 Å
DH method desorption pore Diameter (Mode).....	3.857e+01 Å
DA method pore Diameter (Mode).....	1.680e+01 Å
HK method pore Diameter (Mode).....	1.397e+01 Å
SF method pore Diameter (Mode).....	2.528e+01 Å



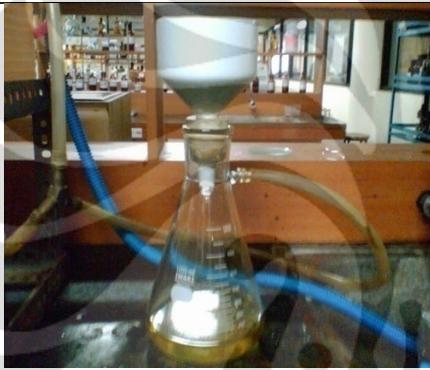
LAMPIRAN E
DAFTAR GAMBAR



A. Proses perendaman zeolit dengan larutan HF



B. Proses Perendaman Zeolit dengan larutan HCl



C. Proses Penyaringan Zeolit dari larutan HCl



D. larutan HCl setelah dipisahkan dari zeolit



E. Larutan Sol-gel TiO₂



F. Proses Sonifikasi larutan Sol-gel



G. Zeolit alam sebelum diaktivasi



H. Zeolit Alam sesudah diaktivasi



I. Zeolit alam aktivasi setelah dilapisi TiO₂



J. Alat Sonifikasi



K. Furnace



L. Silinder *sampling*