



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ADSORPSI ISOTERMAL KARBONDIOKSIDA  
PADA KARBON AKTIF KOMERSIAL  
DENGAN TEKANAN 5 DAN 7 BAR ABSOLUT**

**SKRIPSI**

**IMAM TAUFANI  
0405020375**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JULI 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ADSORPSI ISOTERMAL KARBONDIOKSIDA  
PADA KARBON AKTIF KOMERSIAL  
DENGAN TEKANAN 5 DAN 7 BAR ABSOLUT**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**IMAM TAUFANI  
0405020375**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JULI 2009**

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Kami menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

### **ADSORPSI ISOTERMAL KARBONDIOKSIDA PADA KARBON AKTIF KOMERSIAL DENGAN TEKANAN 5 DAN 7 BAR ABSOLUT**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang kami ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya. Tugas Akhir ini dikerjakan sebagian bersama rekan saya yang bernama Magribi Ramdhani (NPM : 0405020472) dengan penelitian tugas akhirnya yang berjudul **"Produksi Karbon Aktif sebagai Adsorben dari Batubara Riau dengan Metode Aktivasi Fisika pada Temperatur 950°C Melalui Proses Oksidasi pada Temperatur 300°C"** sehingga terdapat kata-kata atau kalimat yang sama.

Depok, 16 Juli 2009

**IMAM TAUFANI**

NPM : 0405020375

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Imam Taufani  
NPM : 0405020375  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Adsorpsi Isotermal Karbondioksida pada Karbon Aktif Komersial dengan Tekanan 5 dan 7 bar absolut

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.-Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng. ( )

Penguji : Dr. Ir. Muhamad Idrus Alhamid ( )

Penguji : Dr. Ir. Budihardjo, Dipl.-Ing. ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Juli 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr.-Ing. Ir. Nasruddin M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Orang tua dan keluarga penulis yang telah banyak memberikan bantuan dukungan doa, materi dan moral;
3. Pak Awal dan Abrar yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang penulis perlukan;
4. Sahabat, rekan-rekan laboratorium teknik pendingin, dan teman-teman satu angkatan Teknik Mesin 2005 yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis;
5. Para karyawan Departemen Teknik Mesin yang telah banyak membantu mempersiapkan jalannya penelitian ini.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, Juli 2009

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Imam Taufani  
NPM : 0405020375  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

### ADSORPSI ISOTERMAL KARBONDIOKSIDA PADA KARBON AKTIF KOMERSIAL DENGAN TEKANAN 5 DAN 7 BAR ABSOLUT

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 memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 16 Juli 2009

Yang menyatakan

( Imam Taufani )

## ABSTRAK

Nama : Imam Taufani  
Program studi : Teknik Mesin  
Judul : Adsorpsi Isotermal Karbondioksida pada Karbon Aktif Komersial dengan Tekanan 5 dan 7 bar absolut

*Global warming* yang disebabkan oleh meningkatnya kadar CO<sub>2</sub> di dalam udara mengakibatkan suhu permukaan bumi memanas. Hal tersebut mempunyai dampak yang sangat berbahaya bagi kehidupan di bumi. Untuk itu perlu suatu cara agar gas CO<sub>2</sub> yang akan dilepaskan ke udara dapat ditangkap/disaring. Adsorpsi adalah salah satu cara atau metode yang efektif untuk mengurangi CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan. Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi antara molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan. Penelitian ini membahas tentang kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> pada karbon aktif. Dalam penelitian ini karbon aktif yang digunakan adalah karbon aktif komersial (Carbotech). Pengukuran adsorpsi menggunakan metode volumetrik (isotermal) pada temperatur 30°C dengan tekanan 5 bar dan 7 bar. Variasi tekanan CO<sub>2</sub> yang dialirkan akan mempengaruhi kapasitas dan laju penyerapan CO<sub>2</sub> pada karbon aktif tersebut. Semakin tinggi tekanan maka kapasitas dan laju penyerapan CO<sub>2</sub> juga semakin meningkat. Pada tekanan 5 bar karbon aktif komersial memiliki kapasitas sebesar 23,58 mg/g<sub>adsorben</sub>, sedangkan pada tekanan 7 bar sebesar 33,64 mg/g<sub>adsorben</sub>, dengan temperatur isotermal 30°C.

Kata Kunci : Karbon aktif komersial, adsorpsi isotermal, kapasitas penyerapan

## ABSTRACT

Name : Imam Taufani  
Study program : Mechanical Engineering  
Title : Adsorption Isothermal of Carbondioxide on Commercial Activated Carbon at Pressure 5 and 7 bar absolute

Global warming caused by increase value of carbon dioxide in the air that contribute heat up temperature of earth. These situations have a dangerous impact to life in the earth. For that, we need some processes in order to carbon dioxide catch before release to the air, adsorption is effective way to reduce carbon dioxide which released. Adsorption is phenomena physics which happen between molecule-molecule gas or liquid to contact with a solid surface. This study discusses the capacity adsorption CO<sub>2</sub> at activated carbon. In this research the activated carbon used is a commercial active carbon (Carbotech). Adsorption measurement use volumetric method (isothermal) at temperatures 30°C with 5 bar pressure and 7 bar. Variations in pressure CO<sub>2</sub> will affect the capacity and the rate of adsorption of CO<sub>2</sub> at activated carbon. The higher the pressure, capacity and the rate of adsorption of CO<sub>2</sub> are also increasing. Commercial activated carbon has adsorption capacity of CO<sub>2</sub> 25,82 mg/g<sub>adsorbent</sub> at 5 bar pressure and 31,28 mg/g<sub>adsorbent</sub> at 7 bar pressure and 30°C isothermal temperature.

Key word : Commercial activated carbon, adsorption isothermal, adsorption capacity

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Pembatasan Masalah .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
<b>2. DASAR TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Adsorpsi .....	5
2.1.1 Adsorpsi fisik .....	5
2.1.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi .....	7
2.1.3 Adsorben dan adsorbat .....	8
2.1.3.1 Adsorben .....	9
2.1.3.2 Adsorbat .....	11
2.2 Metode Pengukuran Adsorpsi .....	12
2.2.1 Metode <i>carrier gas</i> .....	13
2.2.2 Metode volumetrik .....	14
2.2.3 Metode gravimetrik .....	15
2.2.4 Metode kalorimetrik .....	16
2.3 Kapasitas dan Laju Penyerapan dengan Metode Volumetrik .....	17
<b>3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>20</b>
3.1 Alat Uji Adsorpsi Kinetik .....	20
3.1.1 <i>Pressure vessel</i> .....	20
3.1.2 <i>Measuring cell</i> .....	20
3.1.3 <i>Fluids jacket</i> .....	21
3.1.4 Pipa dan insulasi .....	22
3.1.5 <i>Pressure transmitter</i> .....	23
3.1.6 Termokopel .....	24
3.1.7 <i>Circulating thermal bath</i> (CTB) .....	24
3.1.8 Pompa vakum .....	25

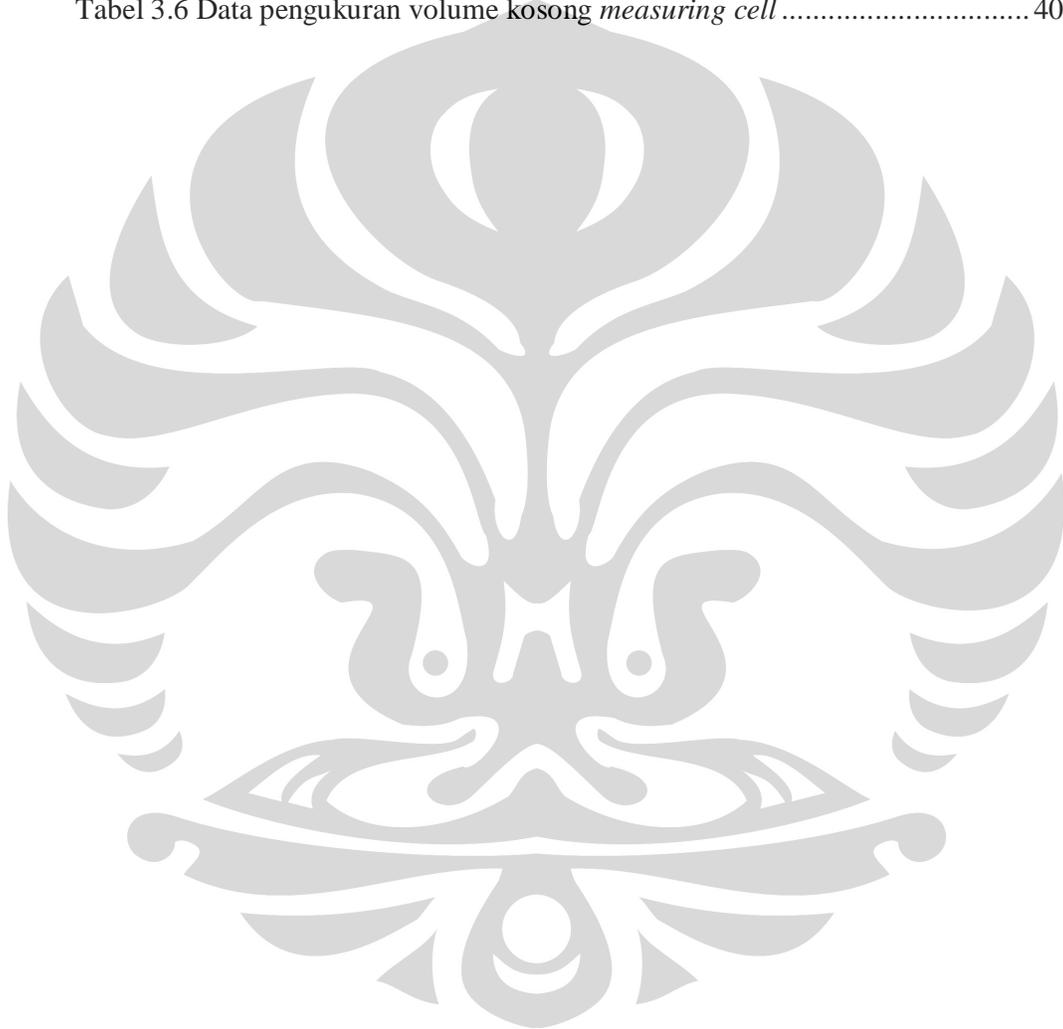
3.1.9	<i>Needle valve</i>	26
3.1.10	<i>Tube flaring</i>	27
3.1.11	Data akuisisi (DAQ)	27
3.1.12	<i>Power supply</i>	29
3.1.13	Komputer	30
3.1.14	Karbon aktif komersial	30
3.2	Instalasi Alat Uji Adsorpsi Kinetik	31
3.2.1	Instrumentasi	32
3.2.2	Verifikasi alat ukur	34
3.2.2.1	Verifikasi <i>pressure transmitter</i>	34
3.2.2.2	Verifikasi termokopel	36
3.2.2.3	Pengukuran volume	37
3.3	Preparasi Sampel	41
<b>4.</b>	<b>ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>	<b>44</b>
4.1	Pengulangan Data ( <i>Repeatability</i> )	44
4.2	Perhitungan Kapasitas Penyerapan	47
<b>5.</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>51</b>
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	52
	<b>DAFTAR REFERENSI</b>	<b>53</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva adsorpsi isotermis.....	6
Gambar 2.2 (a) Karbon aktif granul (b) karbon aktif serat .....	10
Gambar 2.3 Skematik metode <i>carrier gas</i> . (1) sampel, (2) tabung dengan nitrogen cair gas mixer (3) dan (4) konduktivitas gas detektor. Hasil dari pengukuran metode ini adalah grafik U voltage dan waktu t.....	13
Gambar 2.4 Skematik metode volumetrik .....	15
Gambar 2.5 Skematik <i>Thermograph Microbalance Aparatus</i> .....	16
Gambar 2.6 Skematik Tian-Calvet kalorimeter. (P) <i>pressure gauge</i> , (T) termometer, (R) <i>gas reservoir</i> , (S) sampel, (G) adsorbat masuk, .....	17
Gambar 2.7 Skema laju penyerapan .....	18
Gambar 3.1 <i>Pressure vessel</i> .....	20
Gambar 3.2 <i>Measuring cell</i> .....	21
Gambar 3.3 <i>Fluids jacket 1</i> .....	21
Gambar 3.4 <i>Fluids jacket 2</i> .....	22
Gambar 3.5 <i>Pressure transmitter</i> PTX 1400.....	23
Gambar 3.6 Modifikasi termokopel jenis kabel .....	24
Gambar 3.7 <i>Circulating thermal bath</i> CC1-E.....	25
Gambar 3.8 Pompa vakum DRP-1400.....	26
Gambar 3.9 <i>Needle valve</i> SS-ORS2 .....	27
Gambar 3.10 <i>Tube flaring</i> .....	27
Gambar 3.11 <i>Input analog module</i> dan <i>converter</i> .....	29
Gambar 3.12 <i>Power supply</i> .....	30
Gambar 3.13 Alat uji adsorpsi kinetik .....	31
Gambar 3.14 Skematik alat uji adsorpsi kinetik.....	32
Gambar 3.15 Program Visidaq Builder 3.11 .....	33
Gambar 3.16 Program Visidaq Runtime 3.11 .....	34
Gambar 3.17 Grafik kalibrasi <i>pressure transmitter</i> di <i>pressure vessel</i> .....	35
Gambar 3.18 Grafik kalibrasi <i>pressure transmitter</i> di <i>measuring cell</i> .....	35
Gambar 3.19 Skematik verifikasi termokopel.....	36
Gambar 3.20 Grafik verifikasi termokopel <i>measuring cell</i> .....	37
Gambar 3.21 Grafik verifikasi termokopel <i>pressure vessel</i> .....	37
Gambar 3.22 Skema proses pengukuran volume <i>pressure vessel</i> .....	38
Gambar 3.23 Skema proses pengukuran volume <i>measuring cell</i> .....	39
Gambar 3.24 Timbangan AND FX 4000.....	41
Gambar 3.25 Skematik proses <i>degassing</i> .....	42
Gambar 4.1 Replikasi data pada tekanan 5 bar .....	45
Gambar 4.2 Replikasi data 5 bar dengan pembesaran grafik.....	45
Gambar 4.3 Replikasi data pada tekanan 7 bar .....	46
Gambar 4.4 Replikasi data 7 bar dengan pembesaran grafik.....	46
Gambar 4.5 Grafik penyerapan CO <sub>2</sub> pada karbon aktif komersial .....	47
Gambar 4.6 Grafik penyerapan CO <sub>2</sub> pada karbon aktif komersial .....	48
Gambar 4.7 Grafik perbandingan penyerapan pada tekanan 5 bar dan 7 bar .....	49
Gambar 4.8 Grafik kapasitas penyerapan pada tekanan 5 bar dan 7 bar .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Pengukuran volume pipa .....	22
Tabel 3.2 Data spesifikasi <i>circulating thermal bath</i> .....	25
Tabel 3.3 Data spesifikasi DAQ ADAM Advantech.....	28
Tabel 3.4 Data <i>properties</i> karbon aktif komersial .....	30
Tabel 3.5 Data pengukuran volume pressure vessel.....	39
Tabel 3.6 Data pengukuran volume kosong <i>measuring cell</i> .....	40



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data <i>properties</i> karbon aktif komersial Carbotech.....	55
Lampiran 2 Sertifikat kalibrasi <i>pressure transmitter</i> .....	56



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Efek rumah kaca atau dalam bahasa asingnya dikenal dengan istilah *green house effect* adalah suatu fenomena dimana gelombang pendek radiasi matahari menembus atmosfer dan berubah menjadi gelombang panjang ketika mencapai permukaan bumi. Setelah mencapai permukaan bumi, sebagian gelombang tersebut dipantulkan kembali ke atmosfer. Namun, tidak seluruh gelombang yang dipantulkan itu dilepaskan ke angkasa luar. Sebagian gelombang panjang tersebut dipantulkan kembali oleh lapisan gas rumah kaca di atmosfer ke permukaan bumi. Gas rumah kaca adalah gas-gas di atmosfer yang memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi matahari yang dipantulkan oleh bumi sehingga bumi menjadi semakin panas.

Proses ini dapat berlangsung berulang kali, sementara gelombang yang masuk juga terus menerus bertambah. Hal ini mengakibatkan terjadinya akumulasi panas di atmosfer, sehingga suhu permukaan bumi meningkat. Efek rumah kaca itu sendiri terjadi karena meningkatnya konsentrasi gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan gas-gas lainnya seperti sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), nitrogen oksida ( $\text{NO}$ ), nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ), gas metan ( $\text{CH}_4$ ), kloroflourokarbon (CFC) di atmosfer. Kenaikan konsentrasi  $\text{CO}_2$  itu sendiri disebabkan oleh kenaikan berbagai jenis pembakaran di permukaan bumi seperti pembakaran bahan bakar minyak (BBM), gas alam, batubara, dan bahan bakar fosil lainnya.

Salah satu cara untuk mengurangi efek rumah kaca tersebut dapat dilakukan dengan menurunkan kandungan  $\text{CO}_2$  pada emisi pembuangan dari hasil pembakaran bahan bakar tersebut pada kendaraan, industri, pembangkit listrik, dan lain-lain. Serta meningkatkan kemurnian gas alam dengan mereduksi kandungan gas  $\text{CO}_2$  yang merupakan penyebab terjadinya efek rumah kaca. Adsorpsi merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk memisahkan  $\text{CO}_2$

dari hasil pembakaran bahan bakar tersebut pada kendaraan, industri, pembangkit listrik, dan lain-lain (Lee, Jong-Seok, et.al, 2002).

Karakteristik adsorpsi dapat diketahui dengan beberapa metode pengukuran. Salah satu metode pengukuran adalah volumetrik, dimana menghitung kapasitas dan laju penyerapan dilakukan dengan menggunakan perubahan tekanan per satuan waktu pada temperatur konstan atau dikenal dengan adsorpsi isothermal (Dawoud dan Aristov, 2003). Pengukuran menggunakan metode volumetrik dapat digunakan menghitung kapasitas adsorpsi untuk semua ukuran dan jenis pasangan adsorben-adsorbat, selain itu dapat juga menghitung laju penyerapan adsorpsi (Keller, Jurgen et al, 2002).

Proses adsorpsi sangat dipengaruhi oleh pasangan adsorben dan adsorbatnya. Adsorben adalah zat atau material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas didalamnya dan adsorbat adalah substansi dalam bentuk cair atau gas yang terkonsentrasi pada permukaan adsorben (Suryawan, Bambang, 2004). Adsorben yang telah banyak digunakan antara lain adalah karbon aktif, silika gel dan zeolit. Dari beberapa jenis adsorben tadi, karbon aktif merupakan jenis adsorben yang paling banyak digunakan, baik itu dari segi aplikasi maupun volume penggunaannya dan ditambah lagi dengan penggunaan karbon aktif telah lama digunakan.

Dari uraian di atas karakteristik adsorpsi merupakan salah satu parameter yang menentukan pada unjuk kerja sistem adsorpsi adsorben menyerap adsorbat. Di dalam penelitian ini karbon aktif digunakan sebagai adsorben dan gas  $\text{CO}_2$  menjadi adsorbatnya. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian kapasitas penyerapan karbon aktif tersebut untuk mendapatkan informasi karakteristik adsorpsinya terhadap gas  $\text{CO}_2$ .

## **1.2 Perumusan Masalah**

Unjuk kerja suatu sistem yang menggunakan sistem adsorpsi pada permukaan padatan dipengaruhi oleh karakteristik adsorpsi. Data mengenai karakteristik adsorpsi diperlukan agar didapatkan tekanan dan temperatur dari adsorben-adsorbat yang optimal dilihat dari kapasitas dan laju penyerapan.

Salah satu metode mendapatkan data karakteristik adsorpsi adalah metode pengukuran volumetrik, dimana menghitung kapasitas dan laju penyerapan dilakukan dengan menggunakan perubahan tekanan per satuan waktu pada temperatur konstan atau dikenal dengan adsorpsi isothermal. Dengan alat uji adsorpsi kinetik kapasitas penyerapan CO<sub>2</sub> pada karbon aktif dapat diketahui.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan data karakteristik adsorpsi isothermal yang ditunjukkan dengan data kapasitas dan laju penyerapan karbon aktif granul terhadap CO<sub>2</sub>.

### **1.4 Pembatasan Masalah**

Agar bahasan penelitian ini tidak menjadi luas, maka perlu diberikan batasan. Adapun batasan-batasannya adalah sebagai berikut:

1. Adsorben yang digunakan adalah karbon aktif komersial (Carbotech) dan adsorbatnya adalah gas CO<sub>2</sub>.
2. Nilai tekanan adsorpsi yang digunakan pada saat pengujian adalah 5 bar dan 7 bar
3. Temperatur proses adsorpsi pada saat pengujian  $30 \pm 0,1$  °C.

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Agar laporan tugas akhir ini memiliki struktur yang baik dan tujuan penulisan dapat tercapai dengan baik maka penulisan tugas akhir ini akan mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut :

- **BAB 1 PENDAHULUAN**

Berisi latar belakang sebagai dasar penelitian dilakukan, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

- **BAB 2 DASAR TEORI**

Berisi landasan teori umum yang digunakan untuk menjelaskan masalah yang dibahas.

- **BAB 3 METODE PENELITIAN**

Berisi tentang metode penelitian serta langkah-langkah yang dilakukan dalam menjalankan penelitian untuk mencapai tujuan.

- **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi hasil penelitian serta pembahasan dari hasil penelitian tersebut.

- **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk penelitian sejenis di masa mendatang.



## **BAB 2**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Adsorpsi**

Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi antara molekul-molekul fluida (gas atau cair) yang dikontakkan dengan suatu permukaan padatan. Adsorpsi adalah proses dimana molekul-molekul fluida menyentuh dan melekat pada permukaan padatan (Nasruddin, 2005). Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi saat molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan dan sebagian dari molekul-molekul tadi mengembun pada permukaan padatan tersebut (Suryawan, Bambang 2004).

Interaksi antara padatan dan molekul yang mengembun tadi relatif lemah, maka proses ini disebut adsorpsi fisik. Walaupun adsorpsi biasanya dikaitkan dengan perpindahan dari suatu gas atau cairan ke suatu permukaan padatan, perpindahan dari suatu gas ke suatu permukaan cairan juga terjadi. Substansi yang terkonsentrasi pada permukaan didefinisikan sebagai adsorbat dan material dimana adsorbat terakumulasi didefinisikan sebagai adsorben (Hines, A.L dan Robert N. Maddox, 1985).

##### **2.1.1 Adsorpsi fisik**

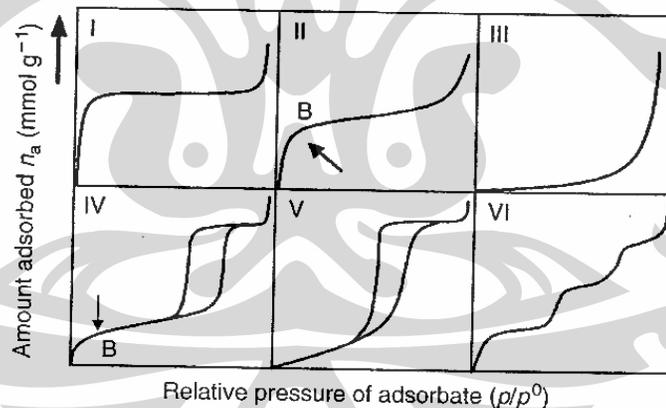
Adsorpsi fisik adalah fenomena fisik yang terjadi saat molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan dan sebagian dari molekul-molekul tadi mengembun pada permukaan padatan tersebut (Suryawan, Bambang 2004). Adsorpsi fisik yang terjadi karena adanya gaya *Van DerWaals* yaitu gaya tarik-menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorbat tidak terikat secara 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 fisik merupakan suatu peristiwa yang reversibel. Bila dalam keadaan kesetimbangan kondisinya diubah misalnya

tekanan diturunkan atau temperatur dinaikkan maka sebagian adsorbat akan terlepas dan akan membentuk kesetimbangan baru.

Peristiwa adsorpsi disertai dengan pengeluaran panas yang disebut dengan panas adsorpsi (eksoterm). Umumnya panas adsorpsi fisik relatif rendah berkisar (5 – 10) kkal/g.mol dan terjadi pada temperatur rendah yaitu di bawah temperatur didih adsorbat. Hal ini yang menyebabkan kesetimbangan dari proses adsorpsi fisik adalah reversibel dan berlangsung sangat cepat (Herawaty, 2003).

Proses adsorpsi fisik terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi, sehingga pada proses tersebut 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 (Suryawan, Bambang, 2004).

Penggambaran kurva antara jumlah gas yang teradsorpsi terhadap tekanan ( $p/p_0$ ) pada keadaan isotermal dapat dibagi menjadi enam jenis, seperti gambar berikut : (Hines, A.L dan Robert N. Maddox, 1985 , Marsh H. dan F. Reinoso, 2006).



Gambar 2.1 Kurva adsorpsi isotermis

(Mars H. dan F. Reinoso, 2006)

- a. Tipe I, disebut langmuir isoterm menggambarkan adsorpsi (*monolayer*). Langmuir isoterm sesuai dengan adsorpsi fisik pada padatan, biasanya diperoleh dari adsorben berpori kecil (*micropore*) kurang dari 2 nm dan

luas area eksternal sangat sedikit, seperti pada karbon aktif, silika gel, zeolit dan bentofit.

- b. Tipe II, diperoleh dari percobaan Brauner, Emmett dan Teller (1938). Kurva jenis ini ditemukan pada adsorben berpori (*porous*) atau padatan berpori besar (*macro-porous*).
- c. Tipe III, menunjukkan kuantitas adsorben semangkin tinggi saat tekanan bertambah. Tipe ini jarang terlihat dalam eksperimen adsorpsi, dimana gaya tarik molekul gas lebih besar dibandingkan gaya ikat serapan.
- d. Tipe IV, sering terlihat pada padatan berpori, seperti pada katalis industri. Relatif tekanan rendah sampai menengah, dimana volume terbesar adsorbat yang teradsorpsi dapat dihitung dari *capillary condensation* yang telah sempurna mengisi pori. Kurva jenis ini dihasilkan 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.
- f. Tipe VI, menunjukkan interaksi adsorbat dengan permukaannya yang terlalu homogen (*pyrolytic graphite*) yang berinteraksi dengan adsorben seperti argon dan metan.

### 2.1.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi

Daya adsorpsi dipengaruhi lima faktor (Bahl et al, 1997 dan Suryawan, Bambang 2004 ), yaitu :

1. Jenis adsorbat
  - a. Ukuran molekul adsorbat  
Ukuran molekul yang sesuai merupakan hal penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben.
  - b. Kepolaran zat  
Apabila berdiameter sama, molekul-molekul polar lebih kuat diadsorpsi daripada molekul-molekul tidak polar. Molekul-molekul

yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar yang terlebih dahulu teradsorpsi.

## 2. Karakteristik adsorben

### a. Kemurnian adsorben

Sebagai zat untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan karena kemampuan adsorpsi lebih baik.

### b. Luas permukaan dan volume pori adsorben

Jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben.

3. Temperatur absolut (T), temperatur yang dimaksud adalah temperatur adsorbat. Pada saat molekul-molekul gas atau adsorbat melekat pada permukaan adsorben akan terjadi pembebasan sejumlah energi yang dinamakan peristiwa eksotermis. Berkurangnya temperatur akan menambah jumlah adsorbat yang teradsorpsi demikian juga untuk peristiwa sebaliknya.

4. Tekanan (P), tekanan yang dimaksud adalah tekanan adsorbat. Kenaikkan tekanan adsorbat dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi.

5. Interaksi potensial (E), interaksi potensial antara adsorbat dengan dinding adsorben sangat bervariasi, tergantung dari sifat adsorbat-adsorben.

### 2.1.3 Adsorben dan adsorbat

Pasangan adsorben-adsorbat untuk adsorpsi fisik adalah silika gel-air, zeolit-air, karbon aktif-ammonia, karbon aktif-metanol (Hamamoto, Y, 2002). Pasangan adsorben dan adsorbat, pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Non-polar adsorben atau *Hydrophobic*, meliputi karbon aktif dan adsorben polimer. Dengan oli atau gas sebagai adsorbatnya.
2. Polar adsorben atau *Hydrophilic*, meliputi silika gel, zeolit, *active alumina*. Dengan air sebagai adsorbatnya.

### 2.1.3.1 Adsorben

Material penyerap atau adsorben adalah zat atau material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas didalamnya (Suryawan, Bambang, 2004). Adapun beberapa adsorben yang digunakan secara komersial adalah kelompok polar adsorben atau disebut juga *hydrophilic* seperti silika gel, alumina aktif, dan zeolit.

Kelompok lainnya adalah kelompok non polar adsorben atau *hydrophobic* seperti polimer adsorben dan karbon aktif. Karakter fisik adsorben yang utama adalah karakter permukaannya, yaitu luas permukaan dan pori-porinya (Suzuki, M, 1990).

Karakteristik adsorben dapat dilihat dari permukaannya seperti luas permukaan dan polaritas. Semakin luas permukaan spesifik, maka kemampuan adsorpsi juga semakin meningkat (Suzuki, M, 1990). Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi (Suryawan, Bambang, 2004), adalah :

- a. Luas permukaan besar sehingga kapasitas adsorpsinya tinggi
- b. Memiliki aktifitas terhadap komponen yang diadsorpsi
- c. Memiliki daya tahan yang baik
- d. Tidak ada perubahan volume yang berarti selama peristiwa adsorpsi dan desorpsi.

Adsorben yang memiliki kemampuan menyerap air disebut *hydrophilic* yaitu silika gel, zeolit dan aktif alumina, sedangkan adsorben yang memiliki kemampuan menyerap oli dan gas disebut *hydrophobic* yaitu karbon aktif dan adsorben yang polimer (Suzuki, M, 2005).

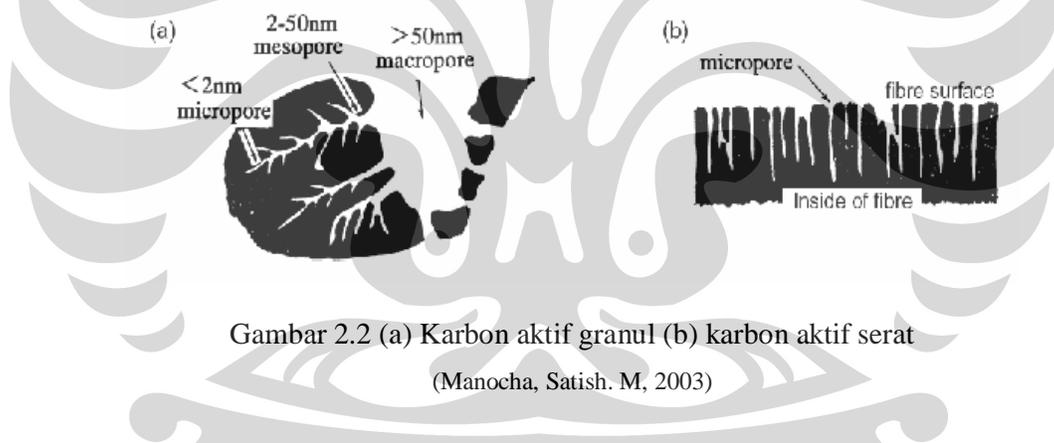
#### 1. Silika gel

Energi yang dibutuhkan untuk pengikatan adsorbat pada silika gel relatif kecil dibanding dengan energi yang dibutuhkan untuk mengikat adsorbat pada karbon aktif atau zeolit sehingga temperatur untuk desorpsinya rendah. Laju desorpsi silika gel terhadap kenaikan temperatur sangat tinggi. Silika gel dibuat dari silika murni dan secara kimia diikat dengan air. Jika silika gel diberi panas yang berlebih sampai kehilangan kadar air maka daya adsorpsinya akan hilang

sehingga umumnya silika gel digunakan pada temperatur dibawah  $200^{\circ}\text{C}$ . Silika gel memiliki kapasitas menyerap air yang besar terutama pada saat tekanan uap air tinggi.

## 2. Karbon aktif

Karbon aktif adalah suatu bahan berupa karbon amorf yang sebagian besar terdiri dari atas karbon bebas serta memiliki “permukaan dalam” (*internal surface*) sehingga mempunyai kemampuan daya serap yang baik. Daya serap dari karbon aktif umumnya bergantung pada senyawa karbon berkisar 85% sampai 95% karbon bebas. Pada dasarnya karbon aktif dapat dibuat dari bahan yang mengandung karbon, baik berasal dari tumbuhan, hewan maupun barang tambang. Bahan yang dapat dibuat menjadi karbon aktif diantaranya jenis kayu, sekam padi, tulang hewan, batubara, tempurung kelapa, kulit biji kopi dan lain-lain.



Gambar 2.2 (a) Karbon aktif granul (b) karbon aktif serat  
(Manocha, Satish. M, 2003)

Karbon aktif banyak digunakan karena memiliki luas permukaan yang sangat besar  $1,95 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{kg}$ , dengan pori-pori volumenya  $10,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$  dan diameter pori  $2,16 \text{ \AA}$  (El-Sharkawy I.I., et.al, 2006), sehingga sangat memungkinkan dapat menyerap adsorbat dalam jumlah yang banyak.

Jika dibandingkan dengan adsorben lainnya karbon aktif merupakan adsorben yang paling banyak digunakan hal ini karena distribusi ukuran pori-pori pada karbon aktif mempunyai diameter pori yang lebih besar dibandingkan dengan adsorben lainnya (Yang, Ralph.T, 2003)

### 3. Zeolit

Zeolit digunakan untuk pengeringan dan pemisahan campuran hidrokarbon, zeolit memiliki kemampuan adsorpsi tinggi karena zeolit memiliki porositas yang tinggi. Zeolit mengandung kristal zeolit yaitu mineral *aluminosilicate* yang disebut sebagai penyaring molekul. Mineral *aluminosilicate* ini terbentuk secara alami. Zeolit buatan dibuat dan dikembangkan untuk tujuan khusus, diantaranya 4A, 5A, 10X, dan 13X yang memiliki volume rongga antara 0,05 sampai 0,30 cm<sup>3</sup>/gram dan dapat dipanaskan sampai 500°C tanpa harus kehilangan mampu adsorpsi dan regenerasinya. Zeolit 4A (NaA) digunakan untuk mengeringkan dan memisahkan campuran *hydrocarbon*. Zeolit 5A (CaA) digunakan untuk memisahkan *paraffins* dan beberapa *Cyclic hydrocarbon*. Zeolit 10X (CaX) dan 13X (NaX) memiliki diameter pori yang lebih besar sehingga dapat mengadsorpsi adsorbat pada umumnya

#### 2.1.3.2 Adsorbat

Adsorbat adalah substansi dalam bentuk cair atau gas yang terkonsentrasi pada permukaan adsorben. Adsorbat yang biasa digunakan pada sistem pendingin adalah air (*polar substances*) dan kelompok *non-polar substances* seperti methanol, ethanol dan kelompok hidrokarbon (Suzuki, M, 1990).

##### 1. Air

Merupakan adsorbat yang ideal karena memiliki kalor laten spesifik terbesar, mudah didapat, murah, dan tidak beracun. Air dapat dijadikan pasangan zeolit, dan silika gel. Tekanan penguapan air yang rendah merupakan keterbatasan air sebagai adsorbat, sehingga menyebabkan :

- Temperatur penguapan rendah (100°C), sehingga penggunaan air terbatas hanya untuk air-conditioning dan chilling.
- Tekanan sistem selalu dibawah tekanan normal (1 atm). Sistem harus memiliki instalasi yang tidak bocor agar udara tidak masuk.
- Rendahnya tekanan penguapan air menyebabkan rendahnya tekanan proses adsorpsi dibatasi oleh transfer massa.

## 2. Amonia

Besarnya panas laten spesifik ammonia adalah setengah lebih rendah dari panas laten spesifik air, pada temperatur 0°C dan memiliki tekanan penguapan yang tinggi. Amonia memiliki keuntungan yang ramah lingkungan dan dapat digunakan sebagai adsorbat sampai -40°C, dan dapat dipanaskan sampai 200°C.

Kerugian dari amonia :

- Beracun, sehingga penggunaannya dibatasi.
- Tidak dapat ditampung pada instalasi yang terbuat dari tembaga atau campurannya.

## 3. Metanol

Di banyak hal kemampuan atau performa metanol berada diantara air dan ammonia. Metanol memiliki tekanan penguapan yang lebih tinggi dibandingkan dengan air (meskipun pada tekanan 1 atm), sehingga sangat cocok untuk sistem pendingin. Karbon aktif, silika gel, dan zeolit merupakan adsorben yang menjadi pasangan dari metanol.

## 4. Karbondioksida (CO<sub>2</sub>)

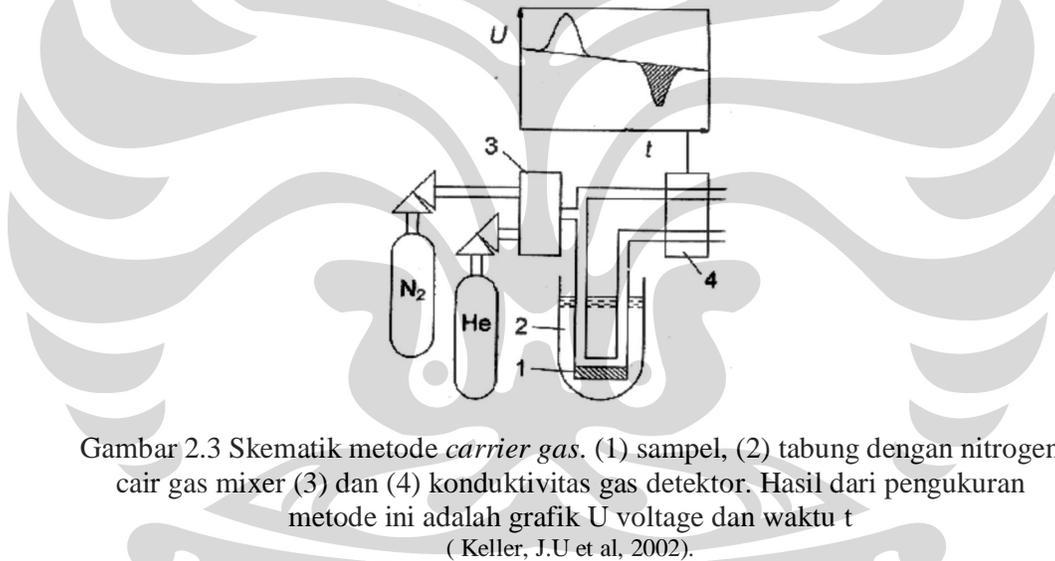
Karbondioksida merupakan persenyawaan antara karbon (27,3 wt%) dengan oksigen (72,7 wt%). Pada kondisi tekanan dan temperatur atmosfer, karbondioksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Karbondioksida juga merupakan gas tidak reaktif dan tidak beracun. Gas tersebut tidak mudah terbakar (*nonflammable*) dan tidak dapat memicu terjadinya pembakaran.

### 2.2 Metode Pengukuran Adsorpsi

Terdapat empat metode pengukuran penyerapan adsorpsi, yaitu: metode *carrier gas*, metode volumetrik, metode gravimetrik, dan metode kalorimetrik. Empat metode pengukuran penyerapan adsorpsi tersebut telah digunakan di berbagai negara dan telah diakui internasional ( Keller, J.U et al, 2002).

### 2.2.1 Metode *carrier gas*

Metode *carrier gas* adalah variasi dari metode gas *chromatography* yang telah dimodifikasi ( Keller, J.U et al, 2002). Metode *carrier gas* memanfaatkan *carrier gas*, yaitu gas mulia (helium) yang tidak terserap oleh adsorben, untuk mengukur konsentrasi adsorbat (nitrogen) yang terserap adsorben. Pengukuran dengan metode ini dilakukan dengan mengalirkan helium dan nitrogen, nitrogen yang terserap oleh sampel diindikasikan dengan berkurangnya konsentrasi gas helium pada satu waktu. Titik jenuh pengukuran menggunakan metode *carrier gas* ditandai dengan bertambahnya konsentrasi nitrogen. Skematik metode *carrier gas*, sebagai berikut:



Gambar 2.3 Skematik metode *carrier gas*. (1) sampel, (2) tabung dengan nitrogen cair gas mixer (3) dan (4) konduktivitas gas detektor. Hasil dari pengukuran metode ini adalah grafik U voltage dan waktu t ( Keller, J.U et al, 2002).

Metode *carrier gas* sangat mudah dibuat, murah, dan mudah digunakan. Alat uji *carrier gas* tidak memiliki akurasi tinggi dalam pengukuran penyerapan. Biasanya penggunaan metode ini digunakan hanya untuk mencari satu parameter, yaitu luas permukaan. Pengujian untuk dua parameter seperti kapasitas dan laju penyerapan sangat sulit digunakan ( Keller, J.U et al, 2002).

### 2.2.2 Metode volumetrik

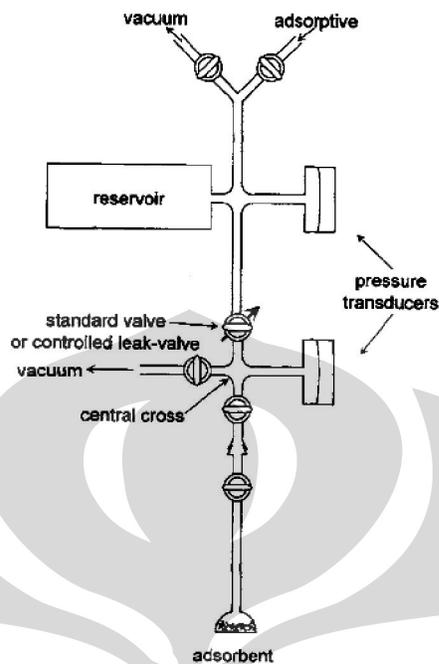
Dasar pengukuran metode volumetrik adalah tekanan, volume dan temperatur. Perhitungan adsorpsi isotermal biasanya merujuk pada metode volumetrik BET. Karakteristik adsorpsi menggunakan metode volumetrik biasanya ditampilkan data yang terserap pada keadaan ideal (STP) dengan tekanan relatif. Teknik pengukuran adsorpsi menggunakan volumetrik sekarang ini lebih sering digunakan, karena sederhana dan efektif selama alat ukur tekanan dapat memberikan informasi yang dibutuhkan menggunakan adsorpsi isotermal (Rouquerol, J et al, 1998).

Data pengukuran pada metode volumetrik adalah tekanan dan temperatur, dimana data diukur saat adsorbat masuk ke tempat diletakkannya adsorben (*adsorption bulb*). Setelah kesetimbangan adsorpsi terjadi, jumlah adsorbat yang terserap dihitung dari perubahan tekanan yang terjadi.

Hal yang terpenting dalam pengukuran adsorpsi isotermal menggunakan alat uji adsorpsi metode volumetrik sebagai berikut ( Keller, J.U et al, 2002):

- a. Volume efektif alat uji harus diketahui,
- b. Alat uji harus dapat mengukur temperatur dari gas yang menjadi adsorbat,
- c. Keakuratan alat uji untuk mengukur perubahan tekanan pada metode volumetrik adalah hal yang utama,
- d. Kesetimbangan adsorpsi terjadi apabila tekanan relative mencapai  $p/p_0=1$ , maka pengukuran berakhir,
- e. Perhitungan adsorbat yang terserap dapat diukur menggunakan persamaan gas ideal.

Kelebihan metode volumetrik adalah dapat mengukur beberapa jenis sampel, dan memiliki *sensitivity* yang tinggi. Biaya pembuatan alat ukur menggunakan metode volumetrik relatif murah dan mudah dibuat karena komponennya terdapat di pasar ( Keller, J.U et al, 2002). Skematik metode volumetrik, sebagai berikut :



Gambar 2.4 Skematik metode volumetrik

(Rouquerol, J et al, 1998)

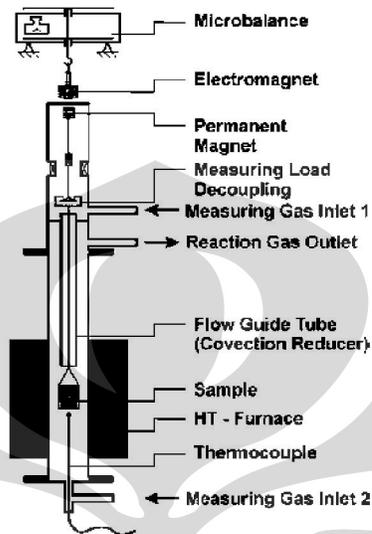
### 2.2.3 Metode gravimetrik

Metode gravimetrik memiliki akurasi untuk pengukuran paling tinggi diantara metode lain pada pengukuran adsorpsi isothermal. Pengukuran adsorpsi isothermal yang dapat dilakukan menggunakan metode gravimetrik, antara lain: massa yang terserap pada adsorben, tekanan gas dan temperatur. Alat yang digunakan untuk mengukur adsorpsi isothermal adalah *Thermograph Microbalance Aparatus* (TGA) (Rouquerol, J et al, 1998).

Preparasi sampel pengujian menggunakan metode gravimetrik mutlak dilakukan untuk mendapatkan pengujian yang optimum. Preparasi sampel dilakukan dengan *degassing* sampel untuk mendapatkan massa kering sampel serta temperatur, tekanan, dan waktu untuk mendapatkan data pengujian yang valid ( Keller, J.U et al, 2002). Pengujian menggunakan metode gravimetrik sangat kompleks, dikarenakan diperlukan pengukuran efek *bouyancy* pada pengolahan datanya. Alat uji adsorpsi menggunakan metode gravimetrik

membutuhkan investasi yang cukup besar, karena untuk memiliki TGA dengan keakurasian tinggi harus menyediakan jutaan dollar (Rouquerol, J et al, 1998).

Skematik *Thermograph Microbalance Aparatus*, sebagai berikut :

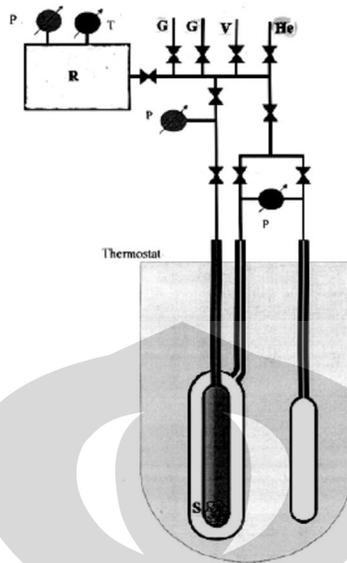


Gambar 2.5 Skematik *Thermograph Microbalance Aparatus*

( Keller, J.U et al, 2002)

#### 2.2.4 Metode kalorimetrik

Pengukuran adsorpsi menggunakan metode kalorimetrik baik dilakukan isothermal maupun isobar tidak dapat dilakukan tanpa data awal adsorbat dan sampel yang diuji. Data awal tersebut adalah data termodinamika. Teknik pengukuran ini sangat khusus dan terdapat komponen khusus yang tidak ditemukan di pasar. Pada institusi penelitian biasanya digunakan Tian-Calvet kalorimeter yang digunakan untuk mengukur panas adsorpsi ( Keller, J.U et al, 2002). Dari panas adsorpsi maka entalpi adsorpsi dan massa yang terserap bisa di hitung. Skematik Tian-Calvet kalorimeter, sebagai berikut:



Gambar 2.6 Skematik Tian-Calvet kalorimeter. (P) *pressure gauge*, (T) termometer, (R) *gas reservoir*, (S) sampel, (G) adsorbat masuk, (V) katup vakum, dan (He) helium masuk (Keller, J.U et al, 2002)

### 2.3 Kapasitas dan Laju Penyerapan dengan Metode Volumetrik

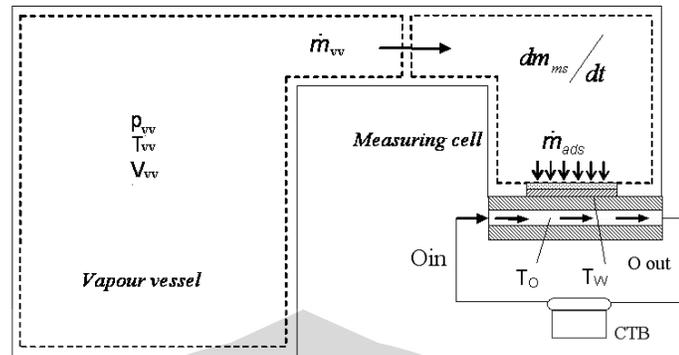
Pengukuran kapasitas dan laju penyerapan dapat dilakukan menggunakan persamaan hukum kesetimbangan gas ideal (STP). Perubahan massa adsorpsi diukur dari perubahan tekanan yang terjadi antara adsorbat dan adsorben pada temperatur konstan (Rouquerol, J et al, 1998). Kesetimbangan massa uap adsorbat dalam *measuring cell* menurut Dawoud dan Aristov, 2003, dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$\dot{m}_{mc} = \left| \dot{m}_{pv} \right| - \dot{m}_{ads} \quad (2.1)$$

Dimana:  $\dot{m}_{mc}$  : laju aliran massa adsorbat di *measuring cell* (kg/s)

$\left| \dot{m}_{pv} \right|$  : laju aliran massa adsorbat di *pressure vessel* (kg/s)

$\dot{m}_{ads}$  : laju aliran massa adsorbat yang diserap oleh adsorben (kg/s)



Gambar 2.7 Skema laju penyerapan  
(Elyas, Anas, 2006)

Selama proses dari mulai *pressure vessel* sampai pada *measuring cell* diasumsikan bahwa uap adsorbat mempunyai sifat gas ideal, sehingga:

$$\left| \dot{m}_{pv} \right| = \frac{\Delta m_{pv}}{\Delta t} = \frac{m_{pv}(t) - m_{pv}(t + \Delta t)}{\Delta t} = \frac{(p_{pv}(t) - p_{pv}(t + \Delta t)) \cdot V_{pv}}{z \cdot R_{CO_2} \cdot T_{pv} \cdot \Delta t} \quad (2.2)$$

$$\left| \dot{m}_{mc} \right| = \frac{\Delta m_{mc}}{\Delta t} = \frac{(m_{mc}(t + \Delta t) - m_{mc}(t))}{\Delta t} = \frac{(p_{mc}(t + \Delta t) - p_{mc}(t)) \cdot V_{mc}}{z \cdot R_{CO_2} \cdot T_{mc} \cdot \Delta t} \quad (2.3)$$

Dimana:  $\left| \dot{m}_{pv} \right|$  : massa adsorbat di *pressure vessel* (kg/s)

$\dot{m}_{mc}$  : massa adsorbat di *measuring cell* (kg/s)

$t$  : waktu (s)

$V_{pv}$  : volume *pressure vessel* (m<sup>3</sup>)

$V_{mc}$  : volume *measuring cell* (m<sup>3</sup>)

$z$  : *compressibility factor*

$R_{CO_2}$  : konstanta gas CO<sub>2</sub> (kJ/kg.K)

$T_{pv}$  : temperatur adsorbat di *pressure vessel* (K)

$T_{mc}$  : temperatur adsorben di *measuring cell* (K)

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.2) dan (2.3) ke dalam pers (2.1), maka didapat:

$$\dot{m}_{\text{ads}} = \frac{\Delta m_{\text{ads}}(t)}{\Delta t} = \frac{(p_{\text{pv}}(t) - p_{\text{pv}}(t + \Delta t)) \times V_{\text{pv}}}{z \cdot R_{\text{CO}_2} \cdot T_{\text{pv}} \cdot \Delta t} - \frac{(p_{\text{ms}}(t + \Delta t) - p_{\text{mc}}(t)) \times V_{\text{mc}}}{z \cdot R_{\text{CO}_2} \cdot T_{\text{mc}} \cdot \Delta t} \quad (2.4)$$

Dengan telah diketahuinya massa sampel adsorben kering  $m_{\text{s,dry}}$ , maka variasi waktu untuk kapasitas adsorpsi dapat dihitung:

$$x = \sum_{t=0}^t \frac{\Delta m_{\text{ads}}}{m_{\text{s,dry}}} \quad (2.5)$$



## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Alat Uji Adsorpsi Kinetik

##### 3.1.1 *Pressure vessel*

*Pressure vessel* dirancang sebagai tempat untuk merubah fasa adsorbat menjadi *vapour*. Namun pada penelitian ini digunakan untuk menyimpan CO<sub>2</sub> bertekanan. Pada perancangan *pressure vessel* parameteranya adalah tekanan maksimum adsorbat, karena akan berpengaruh pada ketebalan *vessel*. *Pressure vessel* dibuat dari bahan *stainless steel 304*, *pressure vessel* dirancang dapat digunakan sampai dengan tekanan maksimum 100 bar. Ukuran diameter dalam ( $\varnothing_i$ ) 100 mm dan diameter luar ( $\varnothing_o$ ) 140 mm. Ketebalan *pressure vessel* 6 mm dan panjang 220 mm. Volume dari *pressure vessel* dirancang dapat memuat 1000 cm<sup>3</sup> adsorbat. Gambar *pressure vessel*, sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Pressure vessel*

##### 3.1.2 *Measuring cell*

*Measuring cell* dirancang sebagai tempat pengukuran dan tempat meletakkan adsorben. Pada perancangan *measuring cell* parameteranya adalah tekanan maksimum dan volume *measuring cell*. *Measuring cell* dibuat dari bahan *stainless steel 304*, *measuring cell* dirancang dapat digunakan sampai tekanan maksimum 100 bar. Ukuran diameter dalam ( $\varnothing_i$ ) 40 mm dan diameter luar ( $\varnothing_o$ )

46 mm. Ketebalan *measuring cell* 3 mm, panjang 80 mm dan volume *measuring cell* 100 cm<sup>3</sup> adsorbat. Gambar dari *measuring cell*, sebagai berikut:



Gambar 3.2 *Measuring cell*

### 3.1.3 *Fluids jacket*

#### 3.1.3.1 *Fluids jacket 1*

Pada penelitian ini diperlukan menjaga temperatur agar tetap konstan. Oleh karena itu perlu dirancang *fluids jacket 1* untuk membungkus *pressure vessel*. *Fluids jacket* dirancang dari bahan besi karbon (AISI 1010) ukuran diameter ( $\emptyset$ ) 160 mm tebal plat *fluids jacket 1* 1 mm dan panjang 260 mm, dimana terdapat saluran masuk dan keluar. *Fluids jacket 1* diinsulasi agar dapat menjaga temperatur fluida yang mengalir di dalamnya. Insulasi menggunakan superlon terbuat dari asbestos, chlorine dan fiber dengan tebal insulasi 18 mm, *thermal conductivity* adalah 0,04 W/m°C. Selain menggunakan insulasi superlon *fluids jacket 1*, juga diinsulasi plat alumunium dengan tebal 1 mm dan *thermal conductivity* adalah 177 W/m°C. Gambar sketsa *fluids jacket 1* pada *pressure vessel*, sebagai berikut:



Gambar 3.3 *Fluids jacket 1*

### 3.1.3.2 *Fluids jacket 2*

Seperti layaknya *fluids jacket* pada *pressure vessel*, *fluids jacket 2* digunakan juga sebagai pembungkus *measuring cell*. *Fluids jacket di measuring cell* dirancang dari bahan besi karbon (AISI 1010) ukuran diameter ( $\varnothing$ ) 102 mm, tebal plat *fluids jacket 2* 1 mm dan panjang 170 mm. *Fluids jacket 2* diinsulasi agar dapat menjaga temperatur fluida yang mengalir di dalamnya. Insulasi menggunakan superlon terbuat dari asbestos, chlorine dan fiber dengan tebal insulasi 18 mm, *thermal conductivity* adalah 0,04 W/m°C. Selain menggunakan insulasi superlon *fluids jacket 2*, juga diinsulasi plat alumunium dengan tebal 1 mm dan *thermal conductivity* adalah 177 W/m.°C. Gambar sketsa *fluids jacket 2* pada *pressure vessel*, sebagai berikut :



Gambar 3.4 *Fluids jacket 2*

### 3.1.4 Pipa dan insulasi

Pada alat uji adsorpsi kinetik, *pressure vessel* dan *measuring cell* dihubungkan dengan pipa *stainless steel* dengan ukuran 1/8 inci. Pipa ini memiliki diameter luar ( $\varnothing_o$ ) 3,175 mm dan diameter dalam ( $\varnothing_i$ ) 2,275 mm. Panjang keseluruhan pipa yang digunakan pada alat uji adsorpsi kinetik 1550 mm. Distribusi ukuran pipa terpasang, sebagai berikut :

Tabel 3.1 Pengukuran volume pipa

Pipa terpasang	Panjang total (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )
<i>Pressure Vessel</i>	850	6.91x10 <sup>-6</sup>
<i>Measuring cell</i>	700	5.69x10 <sup>-6</sup>

Insulasi pipa pada alat uji adsorpsi kinetik digunakan terbuat dari asbestos. Diameter ( $\emptyset$ ) 6 mm dan tebal insulasi 9 mm. *Thermal conductivity* adalah 0,04 W/m°C.

### 3.1.5 *Pressure transmitter*

Alat uji adsorpsi kinetik berdasarkan metode volumetrik sehingga alat ukur tekanan dibutuhkan untuk merekam perubahan tekanan per satuan waktu untuk mendapatkan nilai kapasitas dan laju penyerapan adsorpsi (Dawoud dan Aristov, 2003).

Pada alat uji adsorpsi kinetik digunakan dua buah *pressure transmitter* yang digunakan untuk mengukur tekanan di *pressure vessel* dan *measuring cell*. *Pressure transmitter* yang digunakan pada alat uji adsorpsi kinetik memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

Pabrikasi	: General electric
Tipe	: Druck PTX 1400
<i>Pressure range</i>	: 0 – 40 bar absolut
Supply input	: 9 – 28 VDC
Analog Output	: 4 – 20 mA
<i>Accuracy</i>	: 0,15 %

Gambar *pressure transmitter* pada alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut :



Gambar 3.5 *Pressure transmitter* PTX 1400

([www.gesensing.com/products/resources/images/main\\_ptx1400.jpg](http://www.gesensing.com/products/resources/images/main_ptx1400.jpg))

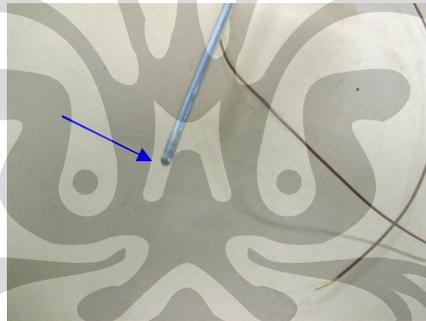
### 3.1.6 Termokopel

Pengukuran nilai kapasitas dan laju penyerapan adsorpsi dengan metode volumetrik dilakukan pada temperatur konstan (isotermal) (Dawoud dan Aristov, 2003). Oleh karena itu, pada alat uji adsorpsi kinetik membutuhkan alat ukur temperatur yang mengukur temperatur per satuan waktu.

Pada alat uji adsorpsi kinetik digunakan dua buah termokopel yang digunakan untuk mengukur temperatur di *pressure vessel* dan *measuring cell*. Termokopel yang digunakan pada alat uji adsorpsi kinetik memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

Jenis : Kabel  
 Tipe termokopel : K  
*Temperature range* : - 200 - 1250°C  
*Accuracy* : Class I → 95 %

Gambar termokopel pada alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut :



Gambar 3.6 Modifikasi termokopel jenis kabel

Termokopel yang digunakan dimodifikasi untuk mencegah kebocoran yang terjadi melalui kabel termokopel yaitu ujung dari termokopel dimasukkan ke dalam tube sebagai selubung yang dilas menempel dengan sisi selubung tersebut.

### 3.1.7 *Circulating thermal bath (CTB)*

CTB pada alat uji adsorpsi kinetik berfungsi sebagai alat penjaga temperatur pengukuran agar tetap konstan. CTB yang digunakan pada alat uji, memiliki spesifikasi sebagai berikut :



Gambar pompa vakum yang digunakan dalam pengujian alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut :



Gambar 3.8 Pompa vakum DRP-1400

### 3.1.9 Needle valve

Aliran keluar dan masuk adsorbat di alat uji adsorpsi kinetik diatur menggunakan katup jenis *needle*. Pada alat uji terdapat empat buah katup yang memiliki fungsi antara lain : *needle valve* 1 ( $V_1$ ) digunakan untuk mengatur aliran masuk adsorbat dari tempat penyimpanan (*adsorbate storage* atau tabung  $CO_2$ ) ke dalam sistem,  $V_2$  digunakan untuk pengatur aliran adsorbat dari *pressure vessel* ke *measuring cell*,  $V_3$  digunakan sebagai pengatur aliran adsorbat pada proses pemvakuman dan  $V_4$  digunakan sebagai pengatur aliran adsorbat untuk proses penyerapan.

*Needle valve* yang digunakan pada alat uji memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

Pabrikan	: Swagelok (Whitey)
Tipe	: SS-ORS2
Jenis	: Integral – Bonnet needle valve
Diameter dalam / luar	: 1/8 inci
Diameter orifice	: 0,080 inci / 2 mm
Temperatur operasi maksimal	: 450°F atau 232°C
Tekanan operasi maksimal	: 4295 psig atau 281 bar gauge pada (-20 – 200°C)

Gambar *needle valve* yang digunakan dalam pengujian alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut :



Gambar 3.9 *Needle valve* SS-ORS2

### 3.1.10 *Tube flaring*

*Tube flaring* atau sambungan pipa pada alat uji adsorpsi kinetik digunakan untuk memisahkan *measuring cell* dari sistem. *Measuring cell* dipisahkan atau dilepaskan dari sistem dimaksudkan untuk memudahkan proses *degassing* dan verifikasi perubahan berat adsorben sebelum dan sesudah proses *degassing*.

*Tube flaring* yang digunakan pada alat uji memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

Pabrikan : Swagelok

Diameter luar ( $\varnothing$ ) : 1/8 inci

Gambar *tube flaring* yang digunakan dalam pengujian alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut :



Gambar 3.10 *Tube flaring*

### 3.1.11 Data akuisisi (DAQ)

Data akuisisi digunakan untuk menerima sinyal atau *analog output* dari alat ukur, yaitu *pressure transmitter* dan termokopel. Data *analog* yang diterima data

akusisi dari alat ukur diubah menjadi data digital, sehingga mampu dibaca dan disimpan komputer .

Data akusisi terdiri dari dua bagian yaitu *analog input module* dan *converter*. *Analog input module* merupakan alat yang menangkap sinyal dari alat ukur, sedangkan *converter* merupakan alat yang merima, mengubah sinyal dan menguatkan keluaran *analog input module* agar dapat diterima komputer melalui *communication port* RS232. Pada alat uji adsorpsi kinetik terdapat dua data akusisi, yaitu data akusisi untuk menerima keluaran termokopel berupa mV dan *pressure transmitter* berupa mA. Perbedaan keluaran sinyal alat ukur tersebut mengakibatkan harus digunakan dua data akusisi.

Data akusisi yang digunakan pada alat uji memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

Tabel 3.3 Data spesifikasi DAQ ADAM Advantech

	DAQ
Pabrikan	Advantech
Tipe <i>analog input module</i>	4018+
Tipe <i>converter</i>	4520
<i>Converter connection</i>	RS232
<i>Input accepted :</i>	
Termokopel :	J, K, T, E, R, S and B
<i>Current :</i>	±20 mA, 4-20 mA
Rata-rata sampel	10 sampel/ detik
Jumlah channel	8
<i>Accuracy</i>	± 0,1%
<i>Power supply</i>	10-30 VDC

Gambar data akuisisi yang digunakan dalam pengujian alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut :



Gambar 3.11 *Input analog module* dan *converter*

### 3.1.12 *Power supply*

*Power supply* digunakan untuk memberikan *supply* tegangan pada instrumen dan alat ukur. Pada alat uji adsorpsi kinetik *supply* tegangan diperlukan untuk memberikan tegangan untuk data akuisisi dan *pressure transmitter*. Besar tegangan *supply* untuk kedua komponen tersebut tidak boleh melebihi tegangan maksimal komponen.

*Power supply* yang digunakan pada alat uji memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

Pabrikan : Farnell  
 Tipe : D30 2T  
 Jenis : *Digital dual output power supply*  
 Output : arus (A) dan tegangan (V)

Gambar *Power supply* yang digunakan dalam pengujian alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut :

Gambar 3.12 *Power supply*

### 3.1.13 Komputer

Komputer pada alat uji adsorpsi kinetik digunakan sebagai alat penerima sinyal dari data akusisi dan menyimpan data pengujian. Komputer yang digunakan memiliki port RS232 dan terinstal perangkat lunak konversi tegangan (*visidaq*).

Secara umum komputer yang digunakan pada alat uji memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

Processor	: Intel Pentium 4 - 2,8 GHz
Memory	: 1 GB of RAM
OS	: Microsoft XP service pack 2
Port	: 2 x RS232
Perangkat lunak	: Adam.NET Utility, <i>Visidaq</i> versi 3.11, dan REFPROP

### 3.1.14 Karbon aktif komersial

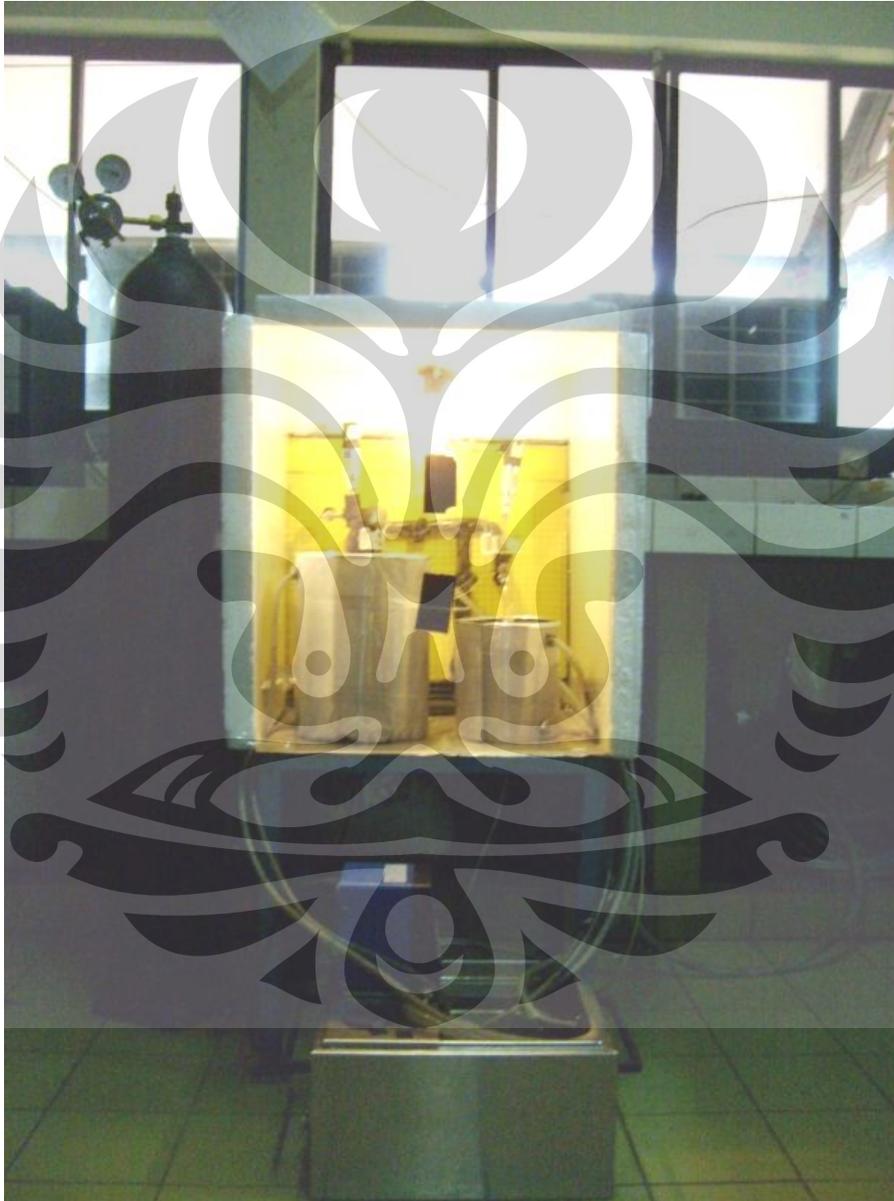
Karbon aktif komersial yang digunakan pada penelitian ini berbentuk granul dengan diameter 1-2 mm yang diproduksi oleh Carbotech. Berikut ini merupakan tabel *properties data* karbon aktif komersial yang digunakan,

Tabel 3.4 Data *properties* karbon aktif komersial

<i>Bulk density</i>	kg/m <sup>3</sup>	450 ± 30
<i>Moisture (as packed)</i>	wt-%	< 2,0
<i>Surface area (BET)</i>	m <sup>2</sup> /g	1050 ± 50
<i>Ash content</i>	wt-%	< 8,0
<i>Iodine number</i>	mgJ2/g	> 1000
<i>Pore volume</i>	ml/g	0,8

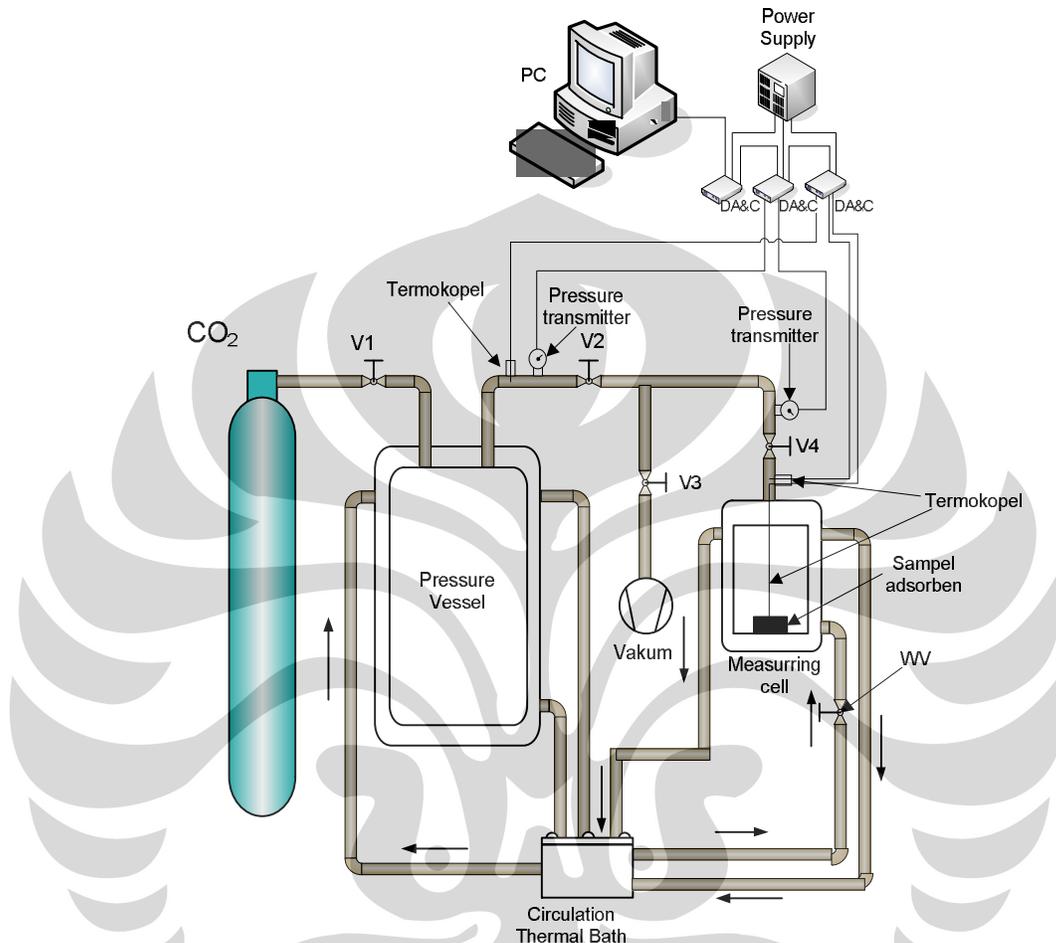
### 3.2 Instalasi Alat Uji Adsorpsi Kinetik

Dari bagian-bagian alat uji di atas dirakit menjadi satu, bagian-bagian alat uji yang telah ada dimodifikasi di beberapa tempat diantaranya modifikasi termokopel dengan selubung, desain dan pembuatan ulang *measuring cell*, serta desain dan pembuatan sistem kontrol temperatur ruang pengujian. Gambar alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut:



Gambar 3.13 Alat uji adsorpsi kinetik

Gambar alat uji adsorpsi kinetik dalam skematik, sebagai berikut :



Gambar 3.14 Skematik alat uji adsorpsi kinetik

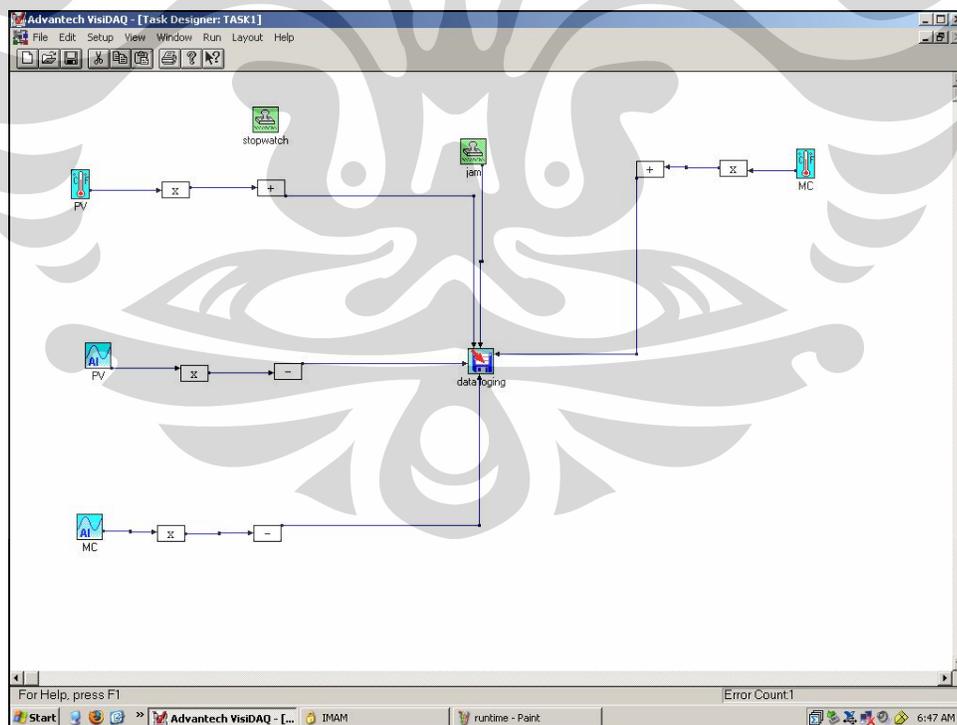
### 3.2.1 Instrumentasi

Pada alat uji adsorpsi kinetik digunakan teknik instrumentasi di alat ukur yang dilakukan untuk mengukur tekanan dan temperatur. Instrumentasi dapat diartikan sebagai alat-alat dan piranti (*device*) yang dipakai untuk pengukuran dan pengendalian dalam suatu sistem. Secara umum instrumentasi mempunyai 3 fungsi utama:

- a. sebagai alat pengukuran
- b. sebagai alat analisa
- c. alat kendali.

Pada perancangan alat uji adsorpsi kinetik, teknik instrumentasi digunakan sebagai alat pengukuran dan sebagai alat analisis. Hal ini dilakukan karena pengambilan data tekanan dan temperatur dilakukan per detik yang hampir tidak mungkin dilakukan secara manual, dan analisis yang dilakukan berdasarkan perubahan tekanan dan temperatur tiap detik.

Pengukuran menggunakan *pressure transmitter* dan *thermocouples* memerlukan perangkat lunak (*software*) untuk membaca dan menyimpan hasil pengukuran. Perangkat lunak untuk membaca dan menyimpan merupakan perangkat lunak yang mudah dibuat dan dioperasikan (*user friendly*), hal ini memungkinkan semua orang dapat menggunakannya. Pada alat uji adsorpsi kinetik digunakan perangkat lunak Visidaq 3.11 sebagai pembaca dan penyimpanan data hasil pengujian. Program pembacaan dan penyimpanan menggunakan Perangkat lunak Visidaq 3.11 mudah dibuat dan dioperasikan. Adapun program pembacaan dan penyimpanan data hasil pengujian alat uji adsorpsi kinetik menggunakan Visidaq 3.11, sebagai berikut :



Gambar 3.15 Program Visidaq Builder 3.11



Gambar 3.16 Program Visidaq Runtime 3.11

### 3.2.2 Verifikasi alat ukur

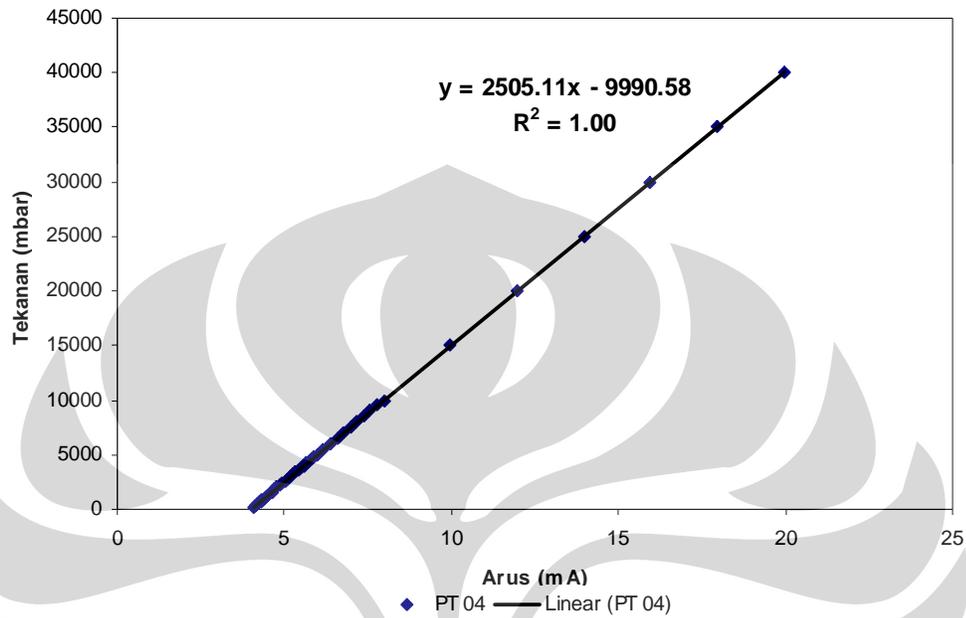
Verifikasi alat dilakukan untuk mengetahui kesalahan (*error*) pembacaan alat ukur. Verifikasi alat ukur, yaitu membandingkan alat ukur yang digunakan pada alat uji adsorpsi kinetik dengan alat ukur standar. Hal dilakukan dengan tujuan mendapatkan hasil pengukuran yang valid, alat ukur yang diverifikasi adalah *pressure transmitter* dan termokopel.

#### 3.2.2.1 Verifikasi *pressure transmitter*

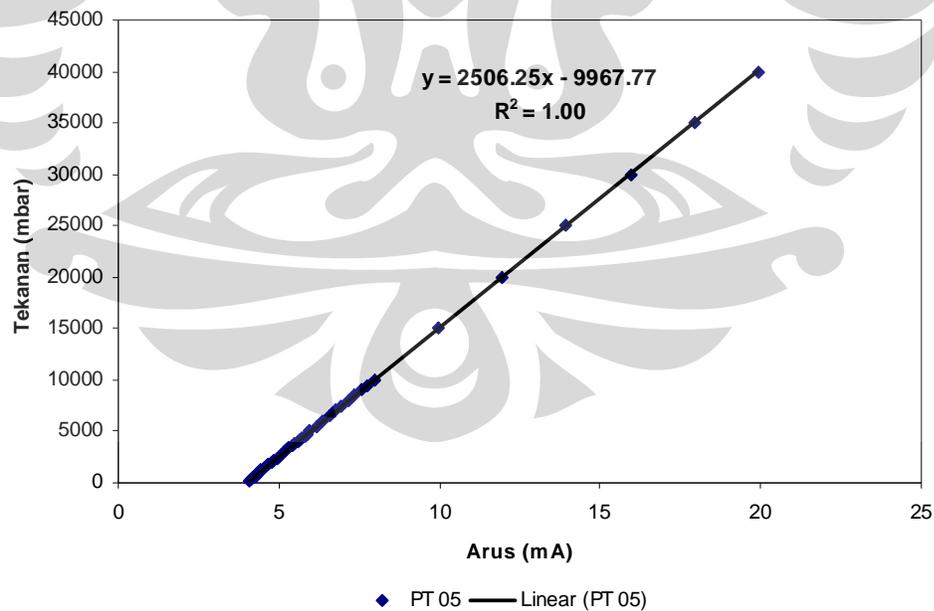
Pada verifikasi alat ukur tekanan dengan menggunakan *pressure transmitter* dilakukan konversi arus menjadi skala tekanan. Verifikasi *pressure transmitter* dilakukan oleh lembaga kalibrasi yang bersertifikat KAN, yaitu PT. Kaliman.

Dari data kalibrasi yang dikeluarkan PT. Kaliman dibuat persamaan garis melalui microsoft excel, antara tekanan yang diberikan dengan arus yang ditunjukkan oleh *pressure transmitter*. Grafik yang terbentuk adalah garis linier

yang didapatkan dari perbandingan tekanan dan arus *pressure transmitter*.  
Gambar grafik verifikasi *pressure transmitter* channel 03 dan 04, sebagai berikut :



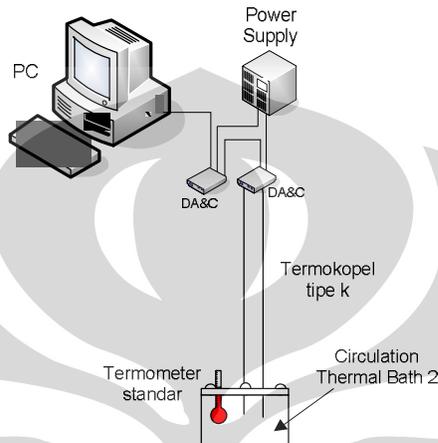
Gambar 3.17 Grafik kalibrasi *pressure transmitter* di *pressure vessel*



Gambar 3.18 Grafik kalibrasi *pressure transmitter* di *measuring cell*

### 3.2.2.2 Verifikasi termokopel

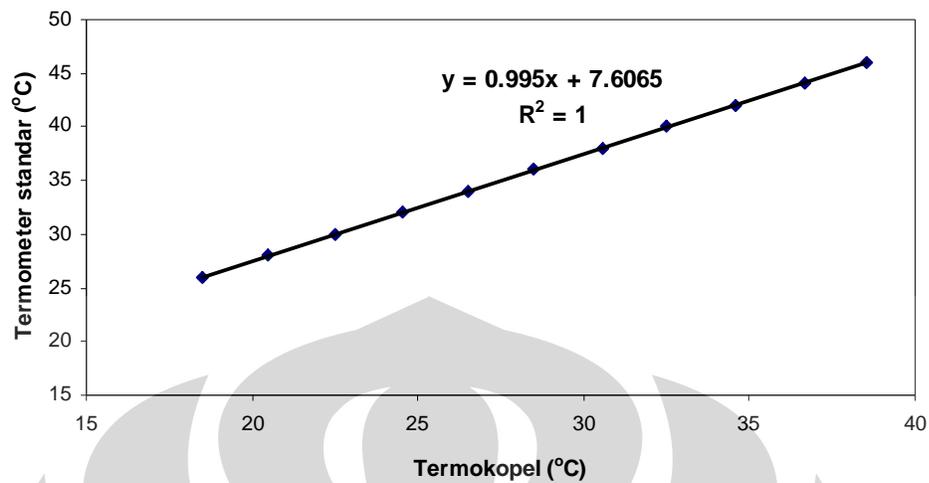
Pada verifikasi alat ukur temperatur dengan menggunakan termokopel dilakukan verifikasi temperatur pembacaan termokopel dengan skala temperatur standar. Gambar skematik verifikasi termokopel, sebagai berikut :



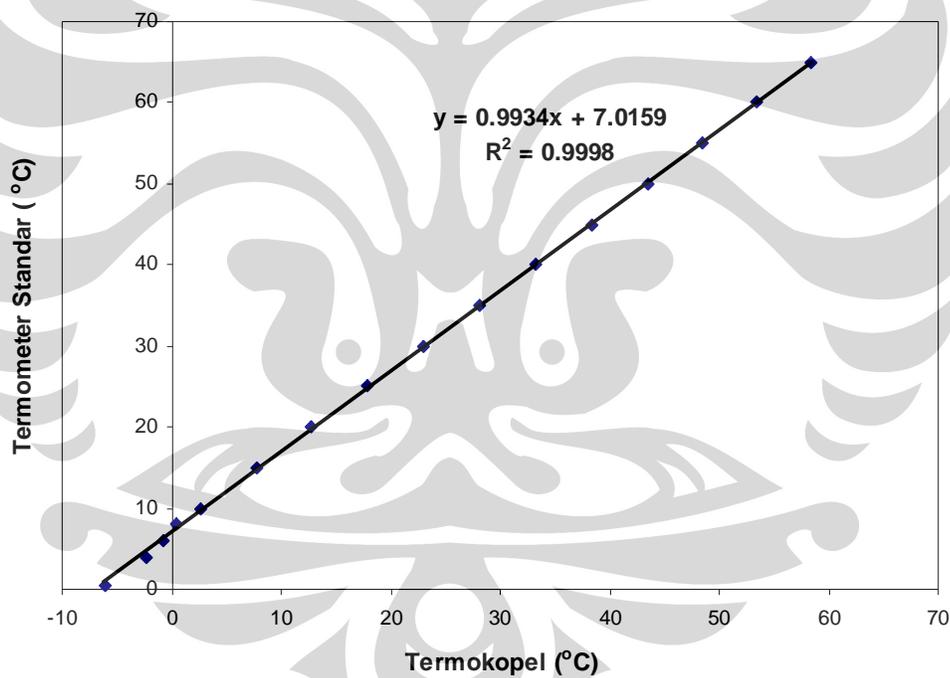
Gambar 3.19 Skematik verifikasi termokopel

Kalibrasi dilakukan dengan mengambil data pembacaan temperatur termokopel terhadap pembacaan skala temperatur air raksa (termometer standar). Proses verifikasi dilakukan dengan mengatur temperatur *circulating thermal bath* (CTB) pada temperatur tertentu dimana termometer air raksa terbaca. Kemudian data temperatur dari pembacaan termokopel 1 dan termokopel 2 yang terbaca komputer dicatat.

Data perbedaan termometer air raksa dan termokopel digambar dalam grafik. Grafik yang terbentuk adalah garis linier yang didapatkan dari perbandingan pembacaan termokopel dan pembacaan termometer air raksa, maka didapatkan persamaan matematis garis linier. Persamaan matematis tersebut yang digunakan untuk verifikasi pembacaan termokopel. Gambar grafik hasil verifikasi termokopel pada *pressure vessel* dan *measuring cell*, sebagai berikut



Gambar 3.20 Grafik verifikasi termokopel *measuring cell*



Gambar 3.21 Grafik verifikasi termokopel *pressure vessel*

### 3.2.2.3 Pengukuran volume

Volume merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam pengukuran adsorpsi volumetrik. Ketidakpastian kalibrasi volume gas, pengukuran tekanan, dan kebocoran merupakan sumber kesalahan dari

pengukuran metode volumetrik, yang mungkin mengakibatkan data adsorpsi tidak realistis (Belmabkhout, et. al, 2004).

1. Pengukuran volume *pressure vessel*

- a. Pengukuran volume *pressure vessel* dilakukan dengan cara menimbang massa kosong dan massa *pressure vessel* yang diisi dengan air, maka akan diperoleh massa air yang mengisi *pressure vessel*.

$$m_{air} = m_{PV+air} - m_{PV} \quad (3.1)$$

- b. Setelah massa air yang mengisi *pressure vessel* diketahui maka akan didapat volume dari *pressure vessel*, dengan menggunakan persamaan

$$V_{PV} = \frac{m_{air}}{\rho_{air(T,P)}} \quad (3.2)$$

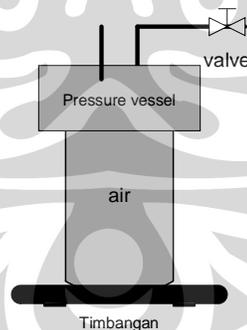
Keterangan :  $m_{air}$  : massa air (kg)

$m_{PV+air}$  : massa *pressure vessel* yang berisi air (kg)

$m_{PV}$  : massa *pressure vessel* kosong (kg)

$V_{PV}$  : volume *pressure vessel* ( $m^3$ )

$\rho_{air(T,P)}$  : massa jenis air pada tekanan dan temperatur saat pengukuran



Gambar 3.22 Skema proses pengukuran volume *pressure vessel*

Tabel 3.5 Data pengukuran volume *pressure vessel*

$m_{\text{kosong}}$ (kg)	$m_{\text{kosong +air}}$ (kg)	$\rho$ air (kg/m <sup>3</sup> )	$T_{\text{air}}$ (°C)	$m_{\text{air}}$ (kg)	Volume air (m <sup>3</sup> )
8.49	9.99	996.79	26	1.50	0.0015049
8.5	10	996.68	26.4	1.50	0.0015050
8.5	10	996.4	27.4	1.50	0.0015054
Rata-rata					0.0015051

Dari semua tahapan diatas dilakukan sebanyak 3 kali dan diperoleh volume *pressure vessel* sebesar  $1,5051 \pm 1,96 \cdot 10^{-04}$  liter.

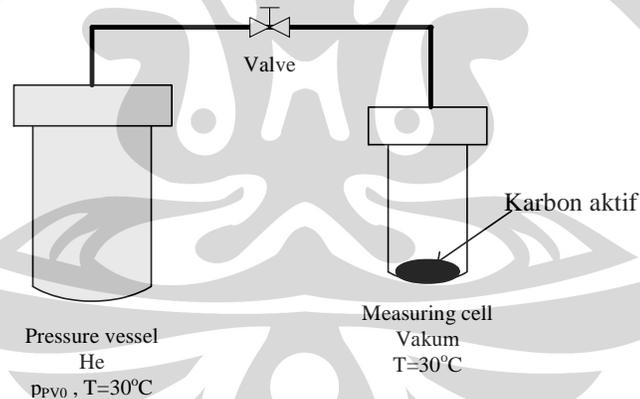
## 2. Pengukuran volume kosong *measuring cell*

Pada *measuring cell* terdapat karbon aktif sebagai adsorben, volume kosong dari *measuring cell* adalah volume total dari ruang kosong yang terdapat pada *measuring cell*.

$$V_{\text{kosong}} = V_{MC} - V_{\text{ruang yang terisi adsorben}} + V_{\text{pori-pori adsorben}} \quad (3.3)$$

Keterangan :  $V_{\text{kosong}}$  : volume *measuring cell* yang berisi adsorben (m<sup>3</sup>)

$V_{MC}$  : volume *measuring cell* kosong (m<sup>3</sup>)

Gambar 3.23 Skema proses pengukuran volume *measuring cell*

Prosedur pencarian volume kosong *measuring cell*, yaitu:

- Mengatur temperatur yang diinginkan, yaitu 30°C
- Mengisi *pressure vessel* dengan gas He dengan cara membuka valve<sub>1</sub> dan mengalirkan gas He ke dalam alat tersebut. Sementara valve<sub>2</sub> dalam keadaan tertutup. Valve<sub>1</sub> ditutup ketika pada tekanan tertentu di dalam *pressure vessel*.

Setelah itu, mencatat tekanan awal *pressure vessel* ( $p_{PV0}$ ) serta tekanan awal *measuring cell* ( $p_{MC0}$ ). Dengan data tersebut, maka akan diperoleh jumlah mol He yang terdapat pada *pressure vessel* berdasarkan persamaan:

$$n = \frac{p_{pi} \cdot V_{PV}}{z_{He} \cdot R \cdot T} \quad (3.4)$$

Keterangan : n : mol helium yang ada di *pressure vessel*

Pada prosedur ini  $V_{PV} = V_{He}$

- c. Membuka valve<sub>2</sub> dan mengalirkan He ke dalam *measuring cell*, kemudian mencatat tekanan akhir *pressure vessel* ( $p_{pn}$ ).

Dengan data ini, maka akan diketahui jumlah mol ( $n_i$ ) He yang dimasukkan ke dalam *measuring cell*, dengan persamaan :

$$n_i = \left( \frac{p_{PV0}}{z_{He,PV0} \cdot R \cdot T} - \frac{p_{PVn}}{z_{He,PVn} \cdot R \cdot T} \right) \cdot V_{PV} \quad (3.5)$$

- d. Menunggu 15 menit, setelah itu mencatat tekanan akhir *measuring cell* ( $p_{MCn}$ ). Maka akan diketahui volume kosong *measuring cell* dengan persamaan:

$$V_{kosong} = \frac{n_i \cdot z_{He,MCn} \cdot R \cdot T}{P_{MCn}} \quad (3.5)$$

- e. Mengeluarkan He dari *measuring cell* dengan membuka valve<sub>3</sub>

Tabel 3.6 Data pengukuran volume kosong *measuring cell*

Tekanan (bar)	Volume (ml)
3	84,31
	85,59
	91,45
4	88,54
	88,25
	83,29
5	85,13
	90,56
	87,29
Rata-rata	87,16

Data-data pengukuran tersebut dapat dihitung nilai ketidakpastian dari volume kosong *measuring cell* dari persamaan,

$$U = \frac{\text{range}}{\text{jumlah data}} \quad (3.6)$$

Sehingga volume kosong *measuring cell* sebesar  $87,16 \pm 0,91$  ml, atau dengan nilai ketidakpastian 1,04%.

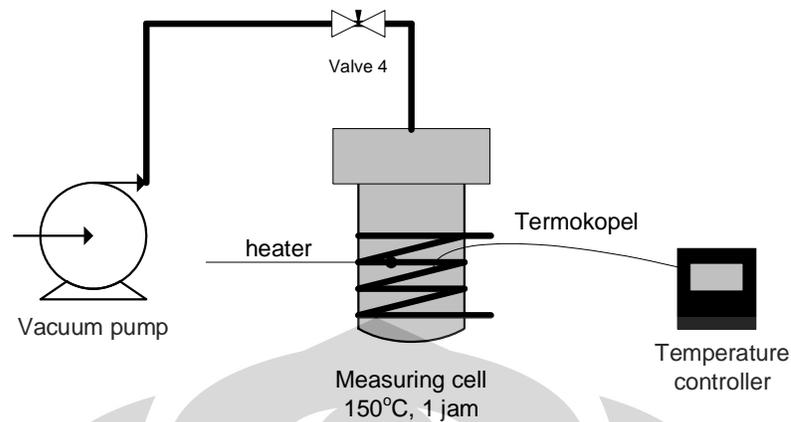
### 3.3 Preparasi Sampel

Pengujian ini bertujuan untuk menemukan nilai kapasitas dan laju penyerapan. Tahap persiapan alat uji kinetik adsorpsi, yaitu : menyiapkan sampel seberat 2 gram, kemudian sampel tersebut dimasukkan ke dalam *measuring cell*. Sampel dan *measuring cell* tersebut kemudian ditimbang menggunakan timbangan dengan presisi tinggi untuk mendapatkan berat awal sampel. Timbangan yang digunakan adalah timbangan dengan merk AND tipe FX 4000 ketelitian 0,01 gram dan maksimum beban 4100 gram. Gambar timbangan, sebagai berikut,



Gambar 3.24 Timbangan AND FX 4000

Proses selanjutnya adalah proses *degassing*. Proses *degassing* dilakukan untuk regenerasi atau mengeluarkan zat terserap sebelum proses pengujian dilakukan, proses ini dilakukan beberapa jam pada keadaan vakum (Saha, Bidyut Baran et al, 2006). Proses *degassing* dilakukan pada temperatur  $150^{\circ}\text{C}$  selama satu jam (Dawoud dan Aristov, 2003). Skematik proses *degassing*, sebagai berikut:



Gambar 3.25 Skematik proses *degassing*

Proses *degassing* pada pengujian unjuk kerja alat uji kinetik adsorpsi dilakukan dengan memanaskan *measuring cell* dengan melilitkan *heater*, dan temperatur dari *heater* dijaga konstan dengan *temperature controller*. *Degassing* dilakukan dengan memvakum *measuring cell* dengan membuka katup 4, proses ini berlangsung selama satu jam pada temperatur 150°C.

Setelah proses *degassing* selesai katup 4 ditutup kembali agar udara luar tidak memasuki ruang dari *measuring cell*, kemudian *measuring cell* kembali ditimbang. Proses ini selain untuk memvalidasi proses *degassing* juga dapat digunakan untuk mendapatkan nilai berat kering sampel (*dry sorbent*). Persamaan untuk menghitung berat kering sampel, sebagai berikut :

$$W_{\text{sampel Kering}} = W_{\text{sampel}} - (W_{\text{awal measuring cell+sampel}} - W_{\text{measuring cell+sampel setelah degasing}}) \quad (3.7)$$

### 3.4 Pengujian Adsorpsi

Berikut adalah prosedur pengujian karakteristik adsorpsi isotermal:

1. Pengujian dimulai dengan memasukkan sampel karbon aktif sebanyak dua gram ke dalam *measuring cell* untuk dilakukan *degassing* dengan memvakumnya selama 60 menit pada temperatur 150°C, dengan waktu dan temperatur proses tersebut dapat mengeluarkan zat *impurity* pada karbon aktif. Sebelum dan sesudah proses *degassing* sampel ditimbang untuk mendapatkan berat kering sampel (*dry sorbent*). Setelah proses

degassing *measuring cell* dihubungkan dengan *tube* yang terhubung dengan *pressure vessel*.

2. Setelah terhubung seluruhnya, katup 2, 3 dan 4 dibuka dan pompa vakum diaktifkan. Pompa vakum dinon-aktifkan setelah tercapai tekanan 10 mbar dengan terlebih dahulu menutup seluruh katup tersebut diatas.
3. *Circulating thermal bath* dan sistem pemanas udara terkontrol dioperasikan untuk menaikkan dan kemudian menjaga temperatur pada *pressure vessel* dan *measuring cell* serta peralatan lainnya yang berada dalam ruang pengujian konstan pada temperatur  $30 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .
4. Setelah temperatur pada *pressure vessel* dan *measuring cell* mencapai  $30^{\circ}\text{C}$  dan konstan pada temperatur tersebut, katup 1 dibuka sehingga adsorbat ( $\text{CO}_2$ ) masuk menuju *pressure vessel* sampai pada tekanan adsorpsi yang diinginkan, selanjutnya katup 2 dan 4 juga dibuka.
5. Pengambilan data penyerapan dimulai ketika tekanan pada *pressure vessel* dan *measuring cell* homogen.
6. Proses adsorpsi isothermal berlangsung selama 60 menit atau sampai karbon aktif tidak lagi mampu menyerap adsorbat. Hal tersebut dapat diketahui dengan tidak adanya penurunan tekanan.

Setelah proses selesai data tekanan dan temperatur ketika pengujian tercatat pada komputer. Data tersebut dianalisis dengan menggunakan persamaan kesetimbangan massa yang telah dibahas pada BAB 2. Dari hasil analisis akan diperoleh data kapasitas dan laju penyerapan maksimum pada tekanan adsorpsi dan temperatur  $30^{\circ}\text{C}$ .

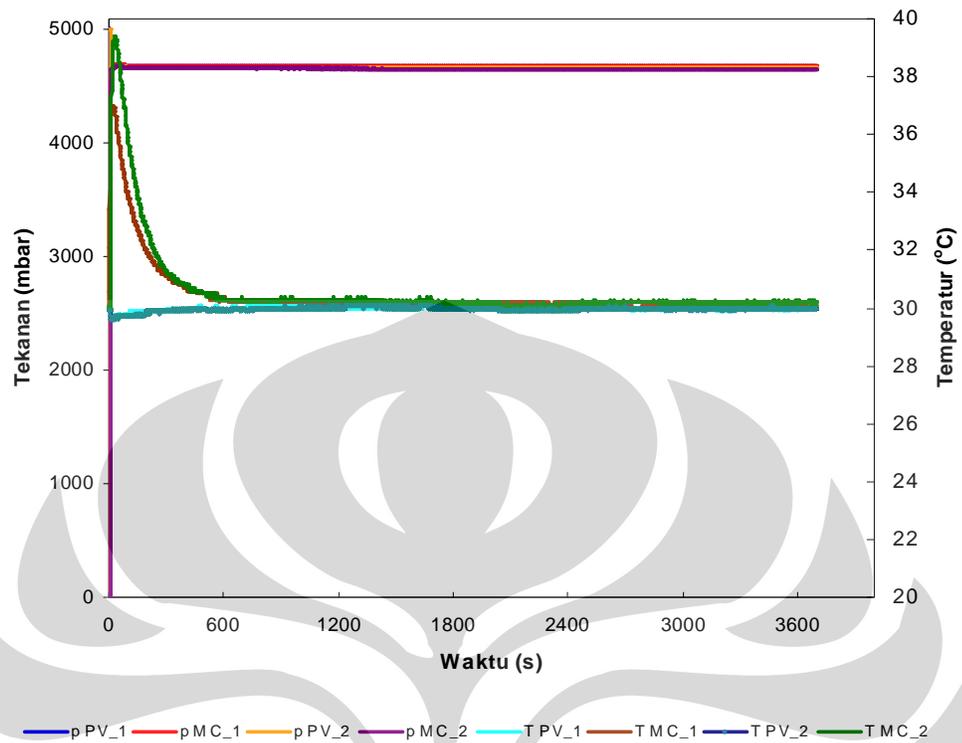
## BAB 4

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

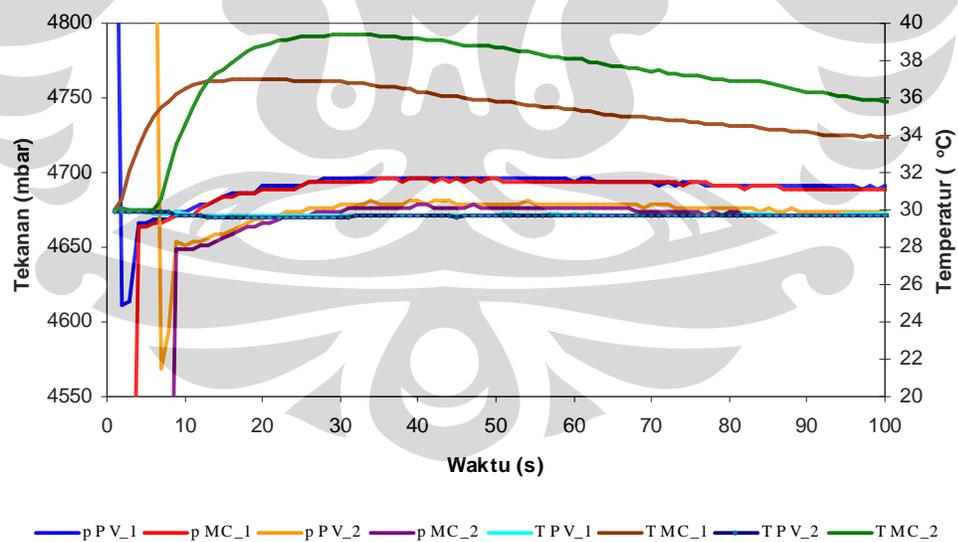
#### 4.1 Pengulangan Data (*Repeatability*)

Penelitian mengenai adsorpsi isothermal CO<sub>2</sub> pada karbon aktif merupakan penelitian yang bertujuan untuk mendapatkan suatu nilai kapasitas penyerapan yang dimiliki karbon aktif yang digunakan pada tekanan dan temperatur tertentu, dan diharapkan akan mendapatkan nilai yang tetap jika diberi perlakuan yang sama. Hal ini dapat ditunjukkan dengan melakukan pengulangan (*repeatability*) pengambilan data untuk kondisi yang hampir sama. Jika diperoleh nilai yang saling mendekati maka dapat dikatakan data yang diperoleh bisa diterima. Namun untuk melakukan pengulangan tersebut cukup sulit dalam memberikan perlakuan yang benar-benar sama khususnya pada pengukuran tekanan.

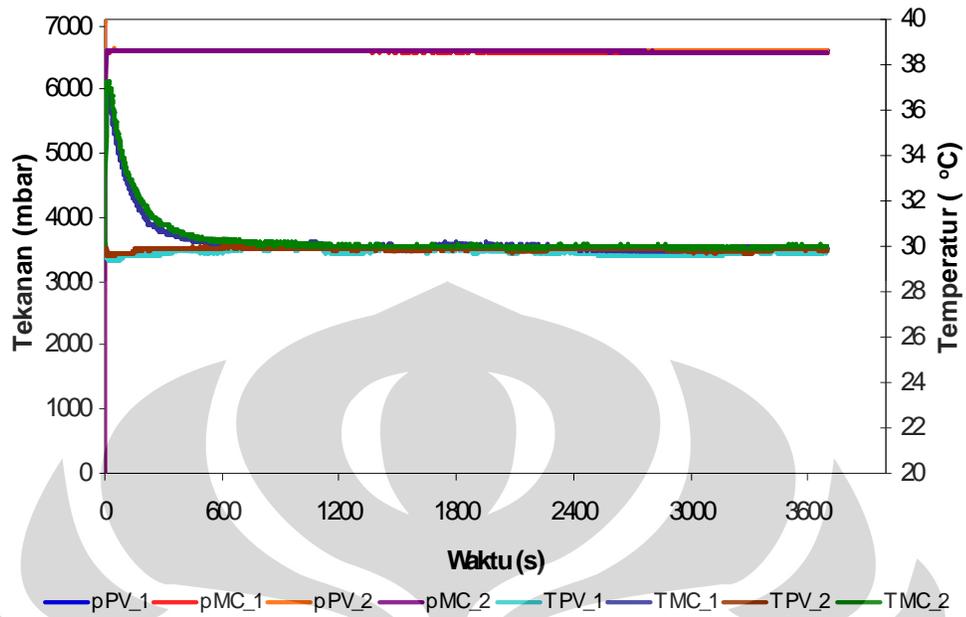
Proses pengambilan data diawali dengan mengkondisikan sistem berada keadaan isothermal baik pada *pressure vessel* maupun *measuring cell* pada temperatur 30°C dengan nilai toleransi  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  dan juga pada tekanan pengukuran yang akan dilakukan yaitu pada 5 dan 7 bar dengan nilai toleransi  $\pm 20$  mbar. Dengan melakukan perlakuan yang sama tersebut diharapkan dapat menghasilkan data yang dapat dipertanggungjawabkan. Berikut ini merupakan grafik data pengulangan pada tekanan 5 bar dan 7 bar setelah dilakukan eksekusi.



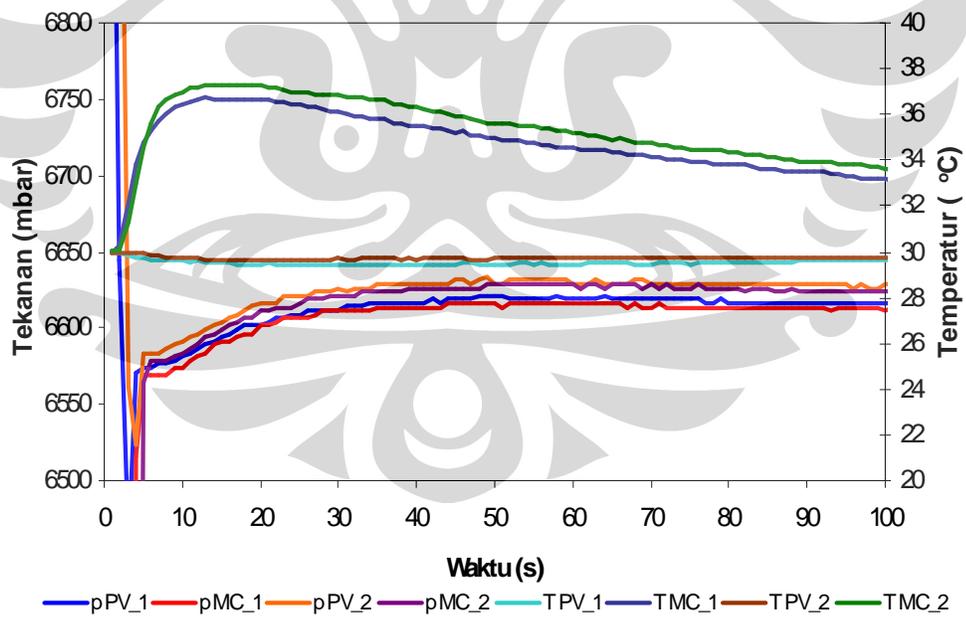
Gambar 4.1 Replikasi data pada tekanan 5 bar



Gambar 4.2 Replikasi data 5 bar dengan pembesaran grafik



Gambar 4.3 Replikasi data pada tekanan 7 bar

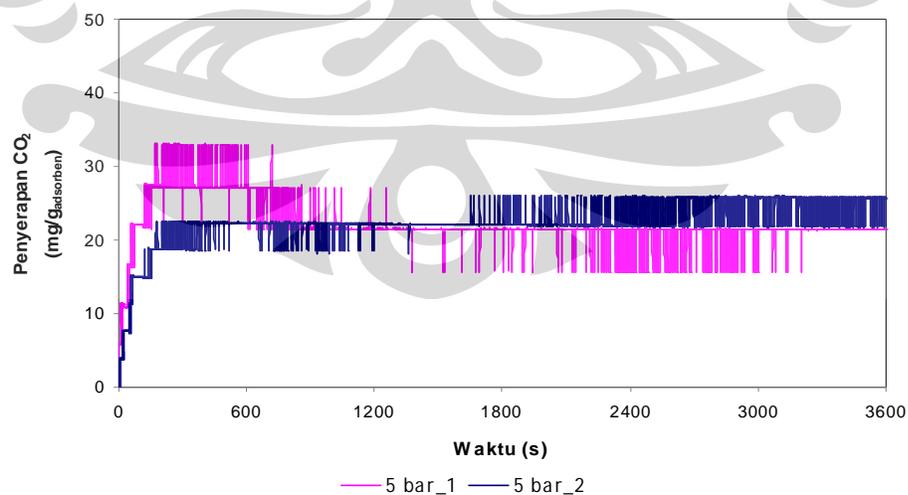


Gambar 4.4 Replikasi data 7 bar dengan pembesaran grafik

Dari grafik tersebut diatas terlihat bahwa dari dua kali pengambilan data diperoleh bentuk grafik yang saling menyerupai antara masing-masing tekanan dan temperatur. Pada awal eksekusi terjadi penyesuaian kondisi sistem terlebih dahulu, yaitu tekanan dan temperatur di *pressure vessel* turun serta tekanan dan temperatur di *measuring cell* meningkat drastis karena tekanan awal di *measuring cell* dalam keadaan vakum dan pada suatu saat akan terjadi kestabilan sesaat kemudian terjadi penyerapan yang diindikasikan dengan terjadinya penurunan tekanan. Proses adsorpsi berakhir pada saat tekanan pada *pressure vessel* dan *measuring cell* mengalami kestabilan kembali dan temperatur kembali ke kondisi isothermal awal yaitu 30°C. Pada kondisi ini sudah terjadi kejenuhan dan sudah tidak lagi mengalami penyerapan.

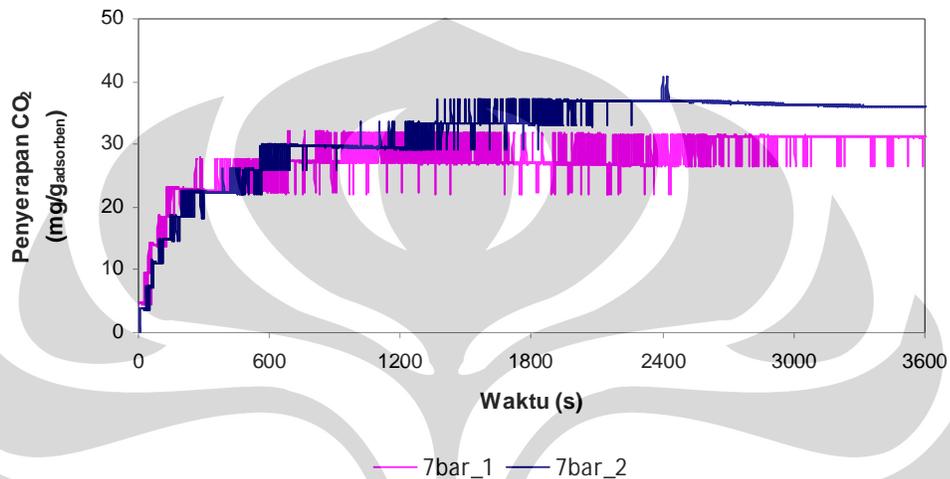
#### 4.2 Perhitungan Kapasitas Penyerapan

Untuk menghitung kapasitas dan laju penyerapan dengan metode isothermal memerlukan data tekanan dan temperatur per satuan waktu serta volume. Dari data tekanan dan temperatur yang telah diperoleh diatas dan volume dari *measuring cell* dan *pressure vessel* yang telah diketahui maka kapasitas penyerapan dapat dihitung dengan persamaan (2.4). Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada gambar 4.5 dan 4.6.



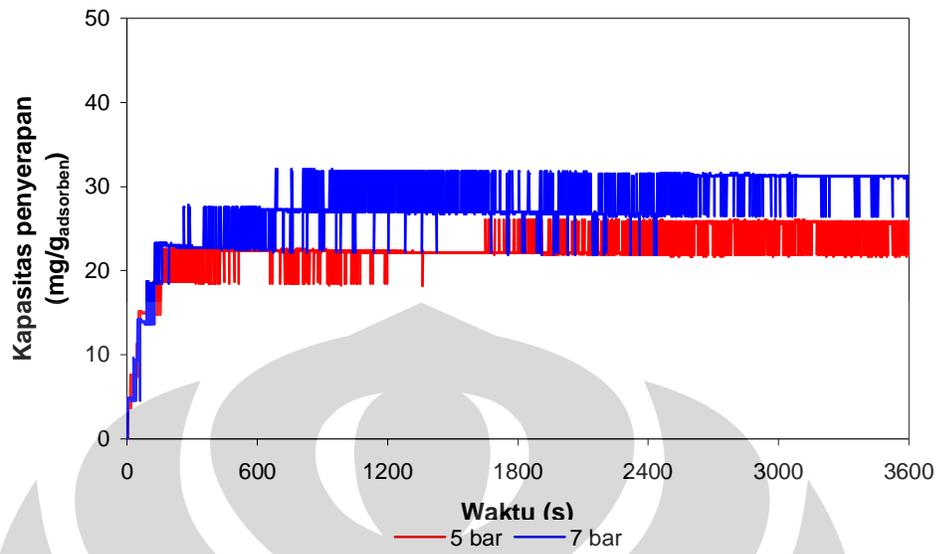
Gambar 4.5 Grafik penyerapan CO<sub>2</sub> pada karbon aktif komersial dengan tekanan 5 bar

Pada grafik terlihat bahwa terjadi perbedaan *trend* grafik dari kedua percobaan. Kapasitas penyerapan pada percobaan pertama meningkat karena temperatur dan tekanan di *pressure vessel* meningkat setelah menit ke-12 setelah katup dibuka. Sehingga menyebabkan adsorbat bergeser atau terlepas dari permukaan adsorben atau disebut dengan desorpsi.



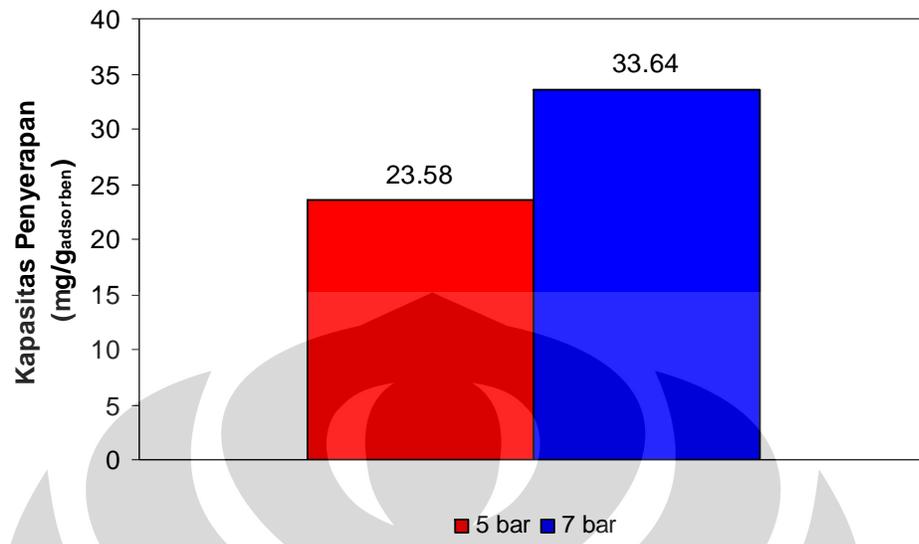
Gambar 4.6 Grafik penyerapan CO<sub>2</sub> pada karbon aktif komersial dengan tekanan 7 bar

Pada grafik diatas terlihat bahwa pada awal terjadi adsorpsi CO<sub>2</sub> yang terserap banyak sekali dan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu tapi pada suatu saat mencapai suatu titik keseimbangan yang menandakan bahwa karbon aktif sudah tidak dapat lagi menyerap CO<sub>2</sub> dan mengalami kejenuhan. Pada keseimbangan itulah kapasitas maksimum CO<sub>2</sub> yang mampu diserap karbon aktif diperoleh.



Gambar 4.7 Grafik perbandingan penyerapan pada tekanan 5 bar dan 7 bar

Pengukuran kapasitas dan laju penyerapan yang dilakukan pada kondisi isothermal dengan tekanan yang berbeda akan mempengaruhi laju dan jumlah adsorbat yang mampu diserap oleh karbon aktif. Hal ini terlihat pada gambar 10, bahwa terdapat perbedaan laju penyerapan, terlihat bahwa pada tekanan 7 bar lebih cepat menyerap  $\text{CO}_2$  daripada pada tekanan 5 bar. Hal ini disebabkan tekanan yang tinggi mendorong dengan lebih kuat partikel  $\text{CO}_2$  ke dalam pori-pori karbon aktif. Sehingga jumlah  $\text{CO}_2$  yang diserap pun berbeda karena pori yang kecil mampu ditembus dengan tekanan yang tinggi dan partikel  $\text{CO}_2$  menempel di pori-pori tersebut. Kapasitas penyerapan  $\text{CO}_2$  pada tekanan 7 bar lebih besar daripada pada tekanan 5 bar yang dilakukan pada temperatur yang sama yaitu  $30^\circ\text{C}$ . Pada tekanan 5 bar  $\text{CO}_2$  yang mampu diserap oleh karbon aktif yaitu sebesar  $23,58 \text{ mg/g}_{\text{adsorben}}$ , sedangkan pada tekanan 7 bar kapasitas penyerapan yang mampu diserap karbon aktif komersial sebesar  $33,64 \text{ mg/g}_{\text{adsorben}}$ . Hal ini terlihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.8 Grafik kapasitas penyerapan pada tekanan 5 bar dan 7 bar

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

- a. Volume *pressure vessel* yang digunakan pada penelitian ini sebesar  $1,5051 \pm 1,96 \cdot 10^{-04}$  liter
- b. Volume *measuring cell* yang berisi karbon aktif komersial yang diukur dengan metode gas helium sebesar  $87,16 \pm 0,91$  ml
- c. Kapasitas penyerapan CO<sub>2</sub> pada karbon aktif komersial memiliki nilai yang berbeda terhadap tekanan tertentu dan dengan temperatur yang sama yaitu 30°C.
  - Pada tekanan 5 bar kapasitas penyerapan sebesar 23,58 mg/g<sub>adsorben</sub>
  - Pada tekanan 7 bar kapasitas penyerapan sebesar 33,64 mg/g<sub>adsorben</sub>
- d. Pada temperatur yang sama, semakin besar tekanan maka kapasitas dan laju penyerapan akan meningkat juga.
- e. Keseimbangan adsorpsi akan berubah jika temperatur naik maka sebagian adsorbat yang menempel pada permukaan adsorben akan terlepas (desorpsi) dan akan membentuk keseimbangan baru.
- f. Laju penyerapan memiliki nilai yang besar pada awal proses, hal tersebut dikarenakan pada awal proses keseimbangan antara adsorben dan adsorbat belum tercapai dan juga kondisi karbon aktif masih kosong dan belum terisi oleh apapun.

## 5.2 Saran

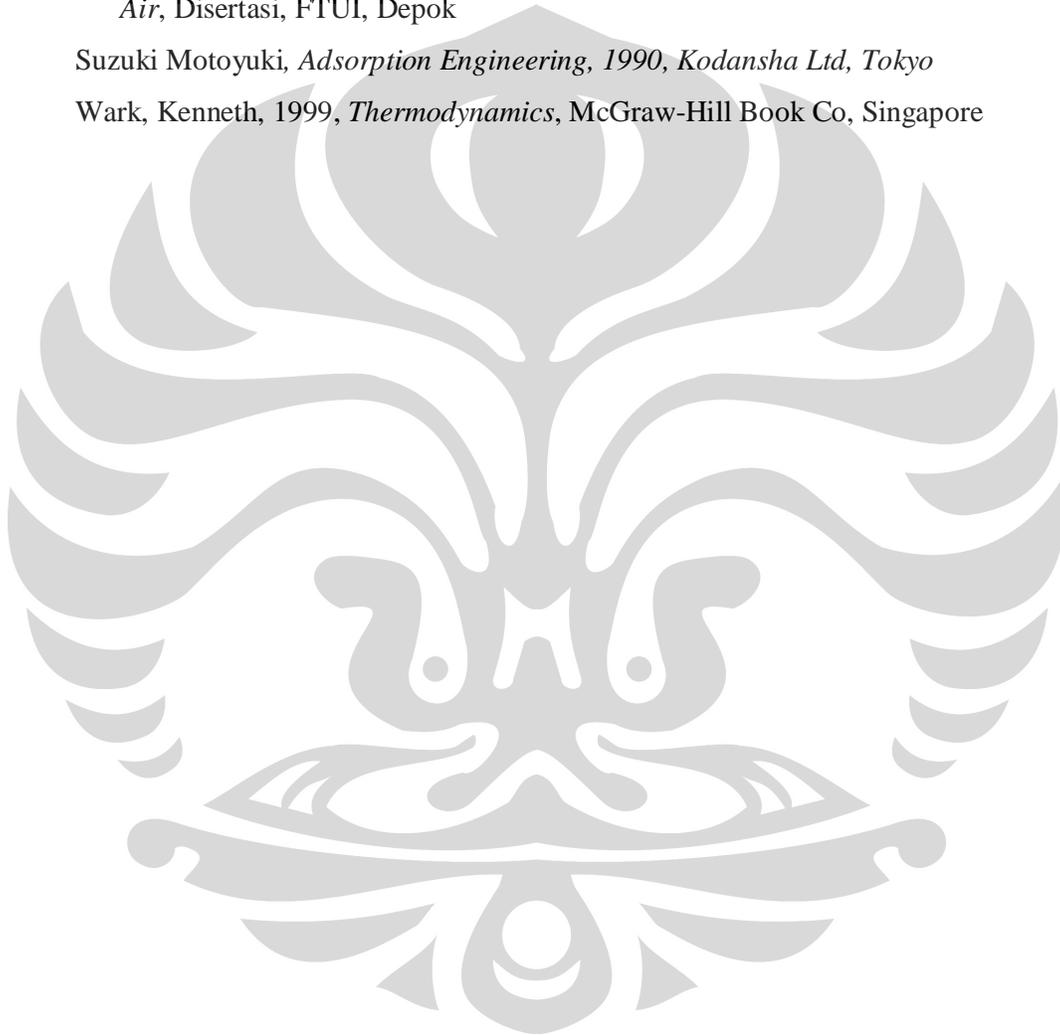
- a. Instrumentasi alat ukur, seperti *data acquisition* dan *pressure transmitter* dijauhkan dari alat-alat yang mengandung medan magnet.
- b. *Fluids jacket* antara *pressure vessel* dan *measuring cell* sebaiknya menyatu sehingga terendam seluruhnya untuk memudahkan proses isothermal.



## DAFTAR REFERENSI

- Bahl, B.S, G.D Tuli, and A. Bahl, 1997, *Essential of Physical Chemistry*, S. Chand and Company, Ltd, New Delhi
- Belmabkhout, Y, G. D Weireld, and M. Frere, 2004, *High Pressure Adsorption Isotherms Of N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, and Ar On Different Carbonaceous Adsorbent*, Journal of Chemical and Engineering Data, Vol. 49, No. 5, 2004.
- Cengel, Yunus A. dan Robert H. Turner, 2001, *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*, McGraw-Hill, New York
- Dawoud, Belal, Yuri Aristov, 2008, *A new methodology of studying the dynamics of water sorption/desorption under real operating conditions of adsorption heat pumps: Experiment*, International Journal of Heat and Mass Transfer 51 (2008) 4966-4972.
- Firmansyah, Arfie Ikhsan, 2008, *Perancangan dan Pembuatan Alat Uji Adsorpsi Kinetik*, Tesis Teknik Mesin Universitas Indonesia, Depok
- Hamamoto, Y., K.C.A. Alam, B.B. Saha, S. Koyama, A. Akisawa, T. Kashiwagi, 2006, *Study on Adsorption Refrigeration Cycle Utilizing Activated Carbon Fiber. Part 1., Adsorption Characteristics*, International Journal of Refrigeration, 29(2006)305-314
- Hines, A. L and R. Madrox, 1985, *Mass Transfer Fundamental and Applications*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Keller, Jürgen U, Erich Robens, Cedric du Fresne von Hohenesche, 2002 *Thermo gravimetric and Sorption Measurement Techniques/Instruments*, Journal of Universität Siegen GH, D - 57068 Siegen, Germany
- Marsh, Harry and Francisco Rodriguez-Reinoso, 2006, *Activated Carbon*, Elsevier Ltd, Oxford UK
- Nasruddin, 2005, *Dynamic Modeling and Simulation of a two Bed Silica gel-Water Adsorption Chille*, Disertasi, Rheinisch - Westfälische Technische Hochschule, Aachen

- Rouquerol, Jean, François Rouquerol and Kenneth Sing, 1998, *Adsorption By Powders And Porous Solids*, Academic Press, UK
- Saha, Bidyut Baran, Ibrahim I. El-Sharkawy, Anutosh Chakraborty, Shigeru Koyama, Seong-Ho Yoon, and Kim Choon Ng, Adsorption Rate of Ethanol on Activated Carbon Fiber *J. Chem. Eng. Data* 2006, 51, 1587-1592
- Suryawan, Bambang, 2004, *Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air*, Disertasi, FTUI, Depok
- Suzuki Motoyuki, *Adsorption Engineering*, 1990, Kodansha Ltd, Tokyo
- Wark, Kenneth, 1999, *Thermodynamics*, McGraw-Hill Book Co, Singapore



Lampiran 1 Data *properties* karbon aktif komersial Carbotech

## Activated Carbon DGF 8 x 30 AW

Granulated activated Carbon with a main grain diameter of 1 to 2 mm

### Product-Description

G A C from Type DGF are produced by steam activation from de-ashed hard coal. The raw material hard-coal and a special manufacturing process will allow a thermal reactivation of the spent activated carbon with minor mass losses. The reactivated carbon will obtain the full adsorption capacity of the original activated carbon.

### Typical Properties

Bulk density	[kg/m <sup>3</sup> ]	450 ± 30
Moisture (as packed)	[wt-%]	< 2,0
Surface area (BET)	[m <sup>2</sup> /g]	1050 ± 50
Ash content	[wt-%]	< 8,0
Iodine No.	[mgJ <sub>2</sub> /g]	>1000
Hardness/ abrasion no.	[ASTM]	>95
Pore volume	[ml/g]	0.8
M.B. value	[mg/g]	>240
Mesh size	[US]	8 x 30
CTC	[wt-%]	63 ± 3
Benzene capacity at 20°C	[wt-%]	
p/p <sub>S</sub> =0,9*		39± 2
p/p <sub>S</sub> =0,1		34 ± 2
p/p <sub>S</sub> =0,01		24 ± 2
p/p <sub>S</sub> =0,001		16 ± 2

(\*p/p<sub>S</sub> = relative saturation/at 20°C = 324 g/m<sup>3</sup>)

**The typical properties are the average of analysis !**



**PT. KALIMAN**

**Kalibrasi Instrumentasi Mandiri**

**ISO/IEC-17025:2005**



KOMPLEK GREN GADEN BLOK B.1-18 dan BLOK AA-1/16

Jl. M.H. Thamrin KM. 7, Kebon Nanas, Panunggan - Pinang, Tangerang 15143

Telp. (021) 55774155, 55743534, 55751289 Fax. (021) 55755584; Home Page : [http : //www.kaliman.co.id](http://www.kaliman.co.id)

# SERTIFIKAT KALIBRASI

**CALIBRATION CERTIFICATE**

**S. 09 00 011**

## IDENTITAS ALAT

*Instrument Identification*

**Nama** : PRESSURE TRANSMITTER  
*Name*  
**Merek Pabrik** : DRUCK  
*Manufacturer*  
**Tipe/Nomor Seri** : PTX1400 / A 21149 / 04  
*Type/Serial Number*  
**Lain-lain** : Rentang ukur : ( 0 sampai 40 ) bar A  
*Others*

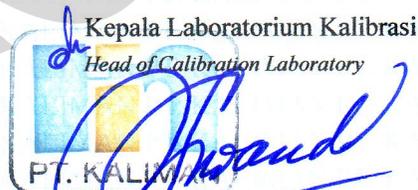
## IDENTITAS PEMILIK

*Owner Identification*

**Nama** : LAB. TEKNIK PENDINGIN  
*Designation* DEPARTEMEN TEKNIK MESIN - FT - UI  
**Alamat** : Kampus Baru UI - Depok  
*Address*

Sertifikat ini terdiri dari 3 halaman  
*This Certificate comprises of pages*

Diterbitkan tanggal 19 - 01 - 2009  
*Date of Issue*



**Ir. Deden Suwandi**  
NIK. 13015

*This English version of the calibration certificate is not a binding translation.  
If any matters give rise to controversy, the Indonesian original text must be used.*

**Tidak dibenarkan mengutip/memperbanyak dan/atau mempublikasikan sebagian isi sertifikat ini tanpa ijin PT. KALIMAN.**

***This certificate shall not be reproduced except in full unless permission for the reproduction of an approved abstract has been obtained in writing from PT. KALIMAN***

Sertifikat ini sah bila telah dibubuhi cap PT. KALIMAN dan ditandatangani oleh pejabat yang berwenang  
*This certificate is valid if it has been approved and signed by authorized person*

Form sertifikat ini berlaku sejak tanggal 03 Januari 2005 sebagai pengganti form sebelumnya

*This version of certificate is issued since January 03<sup>rd</sup>, 2005 as replacement of the previous version*

Adsorpsi isothermal..., Imam Taufani, FT UI, 2009

Nomor Sertifikat / Certificate no. S. 09 00 011  
Bidang Kalibrasi Tekanan / Pressure Calibration Field  
Lembar ke 2 dari 3 lembar  
Page of

**IDENTITAS ALAT / INSTRUMENT IDENTIFICATION**

Nama / Name : **PRESSURE TRANSMITTER**  
Merk/Pabrik / Manufacturer : **DRUCK**  
Tipe/No.Seri / Type/ Serial no. : **PTX1400 / A 21149 / 04**  
Rentang ukur / Measuring Range : **( 0 sampai 40 ) bar A**

Tanggal Kalibrasi / Calibration date : **16 - 01 - 2009**  
Tempat Kalibrasi / Place of calibration : **PT. KALIMAN**

Alat ini dikalibrasi oleh PT. KALIMAN ( Kalibrasi Instrumentasi Mandiri ) Tangerang yang telah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) berdasarkan ISO/IEC 17025 : 2005, dengan nomor akreditasi : LK-032-IDN.

**KONDISI RUANG / ENVIRONMENT**

Suhu ruang / Temperature : **(21,4 ± 1,3) °C**  
Kelembaban / Relative Humidity : **(57,1 ± 2,8) % RH**

This instrument was calibrated by PT. KALIMAN ( Kalibrasi Instrumentasi Mandiri ) Tangerang which is accredited by National Accreditation Body of Indonesia (KAN) based on ISO/IEC 17025 : 2005. Register number LK-032-IDN.

Metoda kalibrasi

Alat ini dikalibrasi menggunakan Instruksi Kerja ( IK - KM - PA01 ) dan ( IK - KM - PA03 ) yang mengacu ke BS EN 837-1998. Pembacaan alat ini dibandingkan dengan standar pada titik ukur yang telah ditentukan atau berdasarkan permintaan pelanggan. Standar yang dipakai adalah Digital Test Gauge tipe/no.seri 757613 dengan nomor sertifikat : S. 08 00 41 dan Manometer tipe/no.seri 756149 dengan nomor sertifikat : S. 02 60 80 tertelusur ke Sistem Satuan Internasional ( SI ) melalui Standar Nasional ( Puslit KIM - LIPI ).

Calibration Method

The calibration procedures of this instrument strictly obey the work instruction ( IK - KM - PA01 ) and ( IK - KM - PA03 ), which refer to the BS EN 837-1998 standard. Readings from the indicator of this instrument are compared to standard at each measurement point which is determined or upon the customer request. Digital Test Gauge Standard type/serial no. 757613 which officially have certified number : S. 08 00 41 and Manometer tipe/no.seri 756149 dengan nomor sertifikat : S. 02 60 80 traceable to International System of Unit ( SI ) through National Standard ( Puslit KIM - LIPI ).

Hasil kalibrasi

Hasil kalibrasi diperoleh dari hasil rata-rata setiap pengukuran dan nilai ketidakpastian kalibrasi yang tertuang di lembar 3 pada sertifikat kalibrasi ini. Ketidakpastian kalibrasi ini merupakan ketidakpastian bentangan yang diperoleh dari sumber-sumber kesalahan tipe A dan tipe B sesuai dengan ISO/ Tag 4 "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" yang dinyatakan pada tingkat kepercayaan 95 % dengan faktor cakupan k = 2.

Calibration Result

The calibration result is obtained from average for each measurements and the calibration uncertainty value are seen on page 3 in the calibration certificate. The calibration uncertainty is Expanded Uncertainty which referred to type A and B sources of error according to ISO/ Tag 4 "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" which is expressed at a 95 % confidence level by the coverage factor k = 2.



Nomor Sertifikat / Certificate no. S. 09 00 011

Bidang Kalibrasi Tekanan / Pressure Calibration Field

Lembar ke 3 dari 5 lembar

Page of

Nama / Name : PRESSURE TRANSMITTER

Tipe / No.Seri /Type/ Serial no. : PTX1400 / A 21149 / 04

**HASIL KALIBRASI / CALIBRATION RESULT**

Standar / Standard ( mbar )	Pembacaan Alat / Reading ( mA )
200,0	4,083
300,0	4,122
400,0	4,162
500,0	4,201
600,0	4,241
700,0	4,281
800,0	4,320
900,0	4,360
1000,0	4,399
1200,0	4,462
1400,0	4,542
1600,0	4,621
1800,0	4,701
2000,0	4,781
2200,0	4,861
Ketidakpastian kalibrasi / Calibration Uncertainty $\pm 29,9$ mbar	

Catatan /Notes :

Untuk informasi selanjutnya dapat menghubungi : sekretariat / Further informations, please call to : sekretariat



Nomor Sertifikat / Certificate no. S. 09 00 011

Bidang Kalibrasi Tekanan / Pressure Calibration Field

Lembar ke 4 dari 5 lembar

Page of

Nama / Name : PRESSURE TRANSMITTER

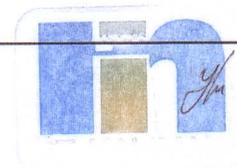
Tipe / No.Seri / Type/ Serial no. : PTX1400 / A 21149 / 04

**HASIL KALIBRASI / CALIBRATION RESULT**

Standar / Standard ( mbar )	Pembacaan Alat / Reading ( mA )
2400,0	4,941
2600,0	5,021
2800,0	5,101
3000,0	5,181
3200,0	5,261
3400,0	5,340
3600,0	5,420
3800,0	5,500
4000,0	5,580
4200,0	5,660
4400,0	5,740
4600,0	5,820
4800,0	5,900
5000,0	5,980
5500,0	6,179
Ketidakpastian kalibrasi / Calibration Uncertainty $\pm 29,9$ mbar	

Catatan /Notes :

Untuk informasi selanjutnya dapat menghubungi : sekretariat / Further informations, please call to : sekretariat



Nomor Sertifikat / Certificate no. S. 09 00 011

Bidang Kalibrasi Tekanan / Pressure Calibration Field

Lembar ke 5 dari 5 lembar

Page of

Nama / Name : PRESSURE TRANSMITTER

Tipe / No.Seri / Type/ Serial no. : PTX1400 / A 21149 / 04

**HASIL KALIBRASI / CALIBRATION RESULT**

Standar / Standard ( mbar )	Pembacaan Alat / Reading ( mA )
6000,0	6,379
6500,0	6,579
7000,0	6,779
7500,0	6,978
8000,0	7,178
8500,0	7,378
9000,0	7,578
9500,0	7,777
10000,0	7,977
15000,0	9,974
20000,0	11,972
25000,0	13,969
30000,0	15,967
35000,0	17,964
40000,0	19,961
Ketidakpastian kalibrasi / Calibration Uncertainty $\pm 29,9$ mbar	

Catatan /Notes :

Untuk informasi selanjutnya dapat menghubungi : sekretariat / Further informations, please call to : sekretariat





**PT. KALIMAN**

**Kalibrasi Instrumentasi Mandiri**

ISO/IEC-17025:2005



KOMPLEK GREN GADEN BLOK B.1-18 dan BLOK AA-1/16

Jl. M.H. Thamrin KM. 7, Kebon Nanas, Panunggangan - Pinang, Tangerang 15143

Telp. (021) 55774155, 55743534, 55751289 Fax. (021) 55755584; Home Page : <http://www.kaliman.co.id>

# SERTIFIKAT KALIBRASI

## CALIBRATION CERTIFICATE

S. 09 00 012

### IDENTITAS ALAT

*Instrument Identification*

Nama : PRESSURE TRANSMITTER  
Name  
Merek Pabrik : DRUCK  
Manufacturer  
Tipe/Nomor Seri : PTX1400 / A 21149 / 05  
Type/Serial Number  
Lain-lain : Rentang ukur : ( 0 sampai 40 ) bar A  
Others

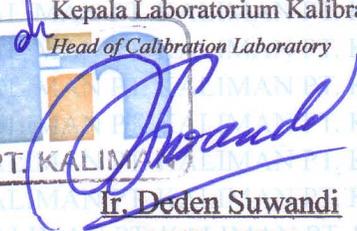
### IDENTITAS PEMILIK

*Owner Identification*

Nama : LAB. TEKNIK PENDINGIN  
Designation  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN - FT - UI  
Alamat : Kampus Baru UI - Depok  
Address

Sertifikat ini terdiri dari 3 halaman  
*This Certificate comprises of pages*

Diterbitkan tanggal 19 - 01 - 2009  
*Date of Issue*

Kepala Laboratorium Kalibrasi  
*Head of Calibration Laboratory*  
  
PT. KALIMAN  
Ir. Deden Suwandi  
NIK. 13015

*This English version of the calibration certificate is not a binding translation.  
If any matters give rise to controversy, the Indonesian original text must be used.*

Tidak dibenarkan mengutip/memperbanyak dan/atau mempublikasikan sebagian isi sertifikat ini tanpa ijin PT. KALIMAN.

**This certificate shall not be reproduced except in full unless permission for the reproduction of an approved abstract has been obtained in writing from PT. KALIMAN**

Adsorpsi isoterma, Imam Taufani, FT UI, 2009

Sertifikat ini sah bila telah dibubuhi cap PT. KALIMAN dan ditandatangani oleh pejabat yang berwenang

Nomor Sertifikat / Certificate no. S. 09 00 012

Bidang Kalibrasi Tekanan / Pressure Calibration Field

Lembar ke 2 dari 5 lembar

Page of

**IDENTITAS ALAT / INSTRUMENT IDENTIFICATION**

Nama / Name : **PRESSURE TRANSMITTER**  
Merk/Pabrik / Manufacturer : **DRUCK**  
Tipe/No.Seri / Type/ Serial no. : **PTX1400 / A 21149 / 05**  
Rentang ukur / Measuring Range : **( 0 sampai 40 ) bar A**

Tanggal Kalibrasi / Calibration date : **16 - 01 - 2009**  
Tempat Kalibrasi / Place of calibration : **PT. KALIMAN**

Alat ini dikalibrasi oleh PT. KALIMAN ( Kalibrasi Instrumentasi Mandiri ) Tangerang yang telah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) berdasarkan ISO/IEC 17025 : 2005, dengan nomor akreditasi : LK-032-IDN.

Metoda kalibrasi

Alat ini dikalibrasi menggunakan Instruksi Kerja ( IK - KM - PA01 ) dan ( IK - KM - PA03 ) yang mengacu ke BS EN 837-1998. Pembacaan alat ini dibandingkan dengan standar pada titik ukur yang telah ditentukan atau berdasarkan permintaan pelanggan. Standar yang dipakai adalah Digital Test Gauge tipe/no.seri 757613 dengan nomor sertifikat : S. 08 00 41 dan Manometer tipe/no.seri 756149 dengan nomor sertifikat : S. 02 60 80 tertelusur ke Sistem Satuan Internasional ( SI ) melalui Standar Nasional ( Puslit KIM - LIPI ).

Hasil kalibrasi

Hasil kalibrasi diperoleh dari hasil rata-rata setiap pengukuran dan nilai ketidakpastian kalibrasi yang tertuang di lembar 3 sampai 5 pada sertifikat kalibrasi ini. Ketidakpastian kalibrasi ini merupakan ketidakpastian bentangan yang diperoleh dari sumber-sumber kesalahan tipe A dan tipe B sesuai dengan ISO/ Tag 4 "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" yang dinyatakan pada tingkat kepercayaan 95 % dengan faktor cakupan k = 2.

**KONDISI RUANG / ENVIRONMENT**

Suhu ruang / Temperature : **(21,4 ± 1,3) °C**  
Kelembaban / Relative Humidity : **(57,1 ± 2,8) % RH**

This instrument was calibrated by PT. KALIMAN ( Kalibrasi Instrumentasi Mandiri ) Tangerang which is accredited by National Accreditation Body of Indonesia (KAN) based on ISO/IEC 17025 : 2005. Register number LK-032-IDN.

Calibration Method

The calibration procedures of this instrument strictly obey the work instruction ( IK - KM - PA01 ) and ( IK - KM - PA03 ), which refer to the BS EN 837-1998 standard. Readings from the indicator of this instrument are compared to standard at each measurement point which is determined or upon the customer request. Digital Test Gauge Standard type/serial no. 757613 which officially have certified number : S. 08 00 41 and Manometer tipe/no.seri 756149 dengan nomor sertifikat : S. 02 60 80 traceable to International System of Unit ( SI ) through National Standard ( Puslit KIM - LIPI ).

Calibration Result

The calibration result is obtained from average for each measurements and the calibration uncertainty value are seen on page 3 to 5 in the calibration certificate. The calibration uncertainty is Expanded Uncertainty which referred to type A and B sources of error according to ISO/ Tag 4 "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" which is expressed at a 95 % confidence level by the coverage factor k = 2.



Nomor Sertifikat / Certificate no. S. 09 00 012

Bidang Kalibrasi Tekanan / Pressure Calibration Field

Lembar ke 3 dari 5 lembar

Page of

Nama / Name : PRESSURE TRANSMITTER

Tipe / No.Seri /Type/ Serial no. : PTX1400 / A 21149 / 05

**HASIL KALIBRASI / CALIBRATION RESULT**

Standar / Standard ( mbar )	Pembacaan Alat / Reading ( mA )
200,0	4,080
300,0	4,120
400,0	4,160
500,0	4,200
600,0	4,240
700,0	4,280
800,0	4,320
900,0	4,360
1000,0	4,368
1200,0	4,448
1400,0	4,528
1600,0	4,608
1800,0	4,688
2000,0	4,768
2200,0	4,848
Ketidakpastian kalibrasi / Calibration Uncertainty $\pm 29,9$ mbar	

Catatan /Notes :

Untuk informasi selanjutnya dapat menghubungi : sekretariat / Further informations, please call to : sekretariat



Nomor Sertifikat / Certificate no. S. 09 00 012

Bidang Kalibrasi Tekanan / Pressure Calibration Field

Lembar ke 4 dari 5 lembar

Page of

Nama / Name : PRESSURE TRANSMITTER

Tipe / No.Seri /Type/ Serial no. : PTX1400 / A 21149 / 05

**HASIL KALIBRASI / CALIBRATION RESULT**

Standar / Standard ( mbar )	Pembacaan Alat / Reading ( mA )
2400,0	4,927
2600,0	5,007
2800,0	5,087
3000,0	5,167
3200,0	5,247
3400,0	5,327
3600,0	5,407
3800,0	5,487
4000,0	5,567
4200,0	5,646
4400,0	5,726
4600,0	5,806
4800,0	5,886
5000,0	5,966
5500,0	6,166
Ketidakpastian kalibrasi / Calibration Uncertainty $\pm 29,9$ mbar	

Catatan /Notes :

Untuk informasi selanjutnya dapat menghubungi : sekretariat / Further informations, please call to : sekretariat



Nomor Sertifikat / Certificate no. S. 09 00 012

Bidang Kalibrasi Tekanan / Pressure Calibration Field

Lembar ke 5 dari 5 lembar

Page of

Nama / Name : PRESSURE TRANSMITTER

Tipe / No.Seri /Type/ Serial no. : PTX1400 / A 21149 / 05

**HASIL KALIBRASI / CALIBRATION RESULT**

Standar / <i>Standard</i> ( mbar )	Pembacaan Alat / <i>Reading</i> ( mA )
6000,0	6,365
6500,0	6,565
7000,0	6,765
7500,0	6,965
8000,0	7,164
8500,0	7,364
9000,0	7,564
9500,0	7,763
10000,0	7,963
15000,0	9,960
20000,0	11,957
25000,0	13,955
30000,0	15,952
35000,0	17,949
40000,0	19,946
Ketidakpastian kalibrasi / <i>Calibration Uncertainty</i> ± 29,9 mbar	

Catatan /Notes :

Untuk informasi selanjutnya dapat menghubungi : sekretariat / *Further informations, please call to : sekretariat*

