



UNIVERSITAS INDONESIA

**ADSORPSI ISOTERMAL SILIKA GEL (SiO₂) SEBAGAI
ADSORBEN DENGAN UAP-AIR SEBAGAI ADSORBAT
PASANGANNYA PADA TEMPERATUR 30^oC DAN 32^oC**

TESIS

**ABRAR RIDWAN
0706173080**

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

**PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS INDONESIA**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ADSORPSI ISOTHERMAL SILIKA GEL (SiO₂) SEBAGAI
ADSORBEN DENGAN UAP AIR SEBAGAI ADSORBAT
PASANGANNYA PADA TEMPERATUR 30⁰C DAN 32⁰C**

TESIS

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

**ABRAR RIDWAN
0706173080**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Abrar Ridwan

NPM : 0706173080

Tanda Tangan : 

Tanggal : 30 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Abrar Ridwan
NPM : 0706173080
Program Studi : Pascasarjana Teknik Mesin
Judul Skripsi : Adsorpsi Isothermal Silika gel (SiO_2) sebagai Adsorben dengan uap air sebagai adsorbat Pasangannya Pada Temperatur 30°C dan 32°C .

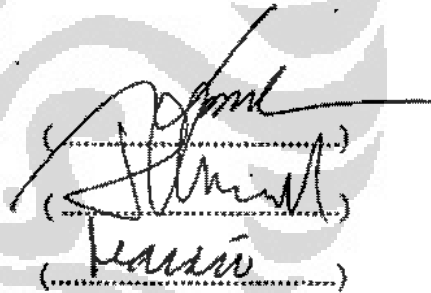
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Pascasarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng.

Penguji : Dr. Ir. Idrus Alhamid, M.Eng.

Penguji : Dr. Ir. Budihardjo, Dipl. Ing



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2009

Universitas Indonesia

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya 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 tesis ini;
- (2) Awaludin Martin ST. MT. yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (3) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan do'a, materi dan moral;
- (4) Tim pendingin, teman – teman Pascasarjana '07 dan semua orang yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
- (5) Adikku Dian yang selalu mendampingi saat suka dan duka.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 30 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 : Abrar Ridwan
NPM : 0706173080
Program Studi : Program Pascasarjana Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : **Adsorpsi Isothermal Silika gel (SiO_2) sebagai Adsorben dengan Uap-air sebagai Adsorbat pasangannya Pada Temperatur 30°C dan 32°C .** 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 : 30 Juli 2009
Yang menyatakan


(Abrar Ridwan)

ABSTRAK

Nama : Abrar ridwan
Program studi : Pascasarjana Teknik Mesin
Judul : Adsorpsi Isotermal Silika gel (SiO_2) sebagai adsorben dengan Uap-air sebagai adsorbat pasangannya pada Temperatur 30°C dan 32°C .

Dengan semakin menipisnya cadangan energi dunia, dan rusaknya lingkungan hidup yang mengakibatkan pemanasan global, sudah semestinya untuk mencari alternatif pembuatan alat mesin pendingin yang hemat energi dan ramah lingkungan. Alat tersebut adalah mesin pendingin adsorpsi. Mesin pendingin adsorpsi memerlukan pasangan adsorbat dengan adsorben yang ideal. Proses adsorpsi dan desorpsi adalah salah satu cara atau metode yang efektif untuk membuat siklus pendingin. Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi antara molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan, untuk itu perlu penelitian karakteristik lebih lanjut adsorbat uap air dengan silika gel sebagai adsorben pasangannya. Karakteristik adsorpsi merupakan salah satu parameter yang menentukan kemampuan adsorben menyerap adsorbat. Di dalam penelitian ini silica gel merek Merck KGaA digunakan sebagai adsorben dan uap air menjadi adsorbatnya. Pengujian kapasitas penyerapan uap air terhadap silica gel sebagai adsorben pasangannya dilakukan dengan alat uji adsorpsi kinetik untuk mengetahui karakteristik adsorpsi. Alat uji adsorpsi kinetik dirancang dan dibuat dengan metode volumetrik dapat digunakan mengukur tekanan dan temperatur per detik. Perhitungan data unjuk kerja alat uji adsorpsi kinetik menggunakan persamaan gas ideal untuk menghitung kapasitas dan laju penyerapan. Dari hasil uji dengan alat adsorpsi kinetik, kapasitas penyerapan uap air terhadap silica gel (SiO_2) $0,197 \text{ mg/g}_{\text{adsorben}}$ pada tekanan $39,083 \text{ mbar}$ dengan temperature 30°C dan $0,296 \text{ mg/g}_{\text{adsorben}}$ pada tekanan $38,925 \text{ mbar}$ dengan temperature 32°C sedangkan pada kondisi isothermal temperatur 35°C memiliki kapasitas penyerapan $0,9 \text{ mg/g}_{\text{adsorben}}$.

Kata Kunci : Silika gel Merck KGaA, adsorpsi, kapasitas penyerapan.

ABSTRACT

Name : Abrar ridwan
Study program : Graduated – Program of Mechanical Engineering
Title : The Adsorption Isothermal of Silica gel (SiO_2) as the adsorbent towards the water vapor as its pair adsorbate under temperature 30°C and 32°C .

By distinction of the world resource energy, and environmentally break down could be impact to global warming and. It need to look for the alternative one to make the environmentally – friendly of refrigeration machine and power saver, that called adsorption refrigeration. The adsorption refrigeration need the ideal adsorbent and adsorbate pair. The adsorption and de-sorption process is one of the effective method to generate the refrigeration cycle. The adsorption is physical phenomena that occurs between gas molecules or liquid that contact over the surface, hence it is important to study the characteristic of water vapor towards silica gel and its adsorbate. The adsorption characteristic is the parameter to determine the capable of adsorbent to adsorb adsorbate. In this study the silica gel Merck KGaA type used as adsorbent and water vapor as its adsorbate. The experimental of water vapor capacity adsorption over the silica gel carried out by adsorption kinetic apparatus. The adsorption kinetic apparatus designed by volumetric method, that could be used to measure pressure and temperature persecond. The calculation data performance of this adsorption kinetic using the gas ideal equation. From the experimental data found the capacity of adsorption is $0,197 \text{ mg/gr}_{\text{adsorben}}$ for 30°C and $0,296 \text{ mg/gr}_{\text{adsorben}}$ for isothermal of 32°C and the biggest capacity is $0,9 \text{ mg/gr}_{\text{adsorben}}$ at isothermal 35°C .

Key word : Silica gel Merck KGaA, adsorption, adsorption capacity

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB 2	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Adsorpsi	5
2.1.1 Adsorpsi Fisik	5
2.1.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi	6
2.2. Adsorben dan Adsorbat	7
2.2.1. Adsorben	7
2.2.2. Adsorbat	9
2.3. Laju Penyerapan	10
2.4. Metode Pengukuran Adsorpsi	10
2.4.1. Metode volumetrik	10
2.5. Kapasitas dan Laju Penyerapan dengan Metode	12
Volumetrik	12
BAB 3	15
METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1. Pengembangan Alat Uji Adsorpsi Kinetik	15
3.1.1. Pressure Vessel	15
3.1.2. Measuring cell	16
3.1.3 Fluids jacket	16
3.1.4. Steam Generator pada alat uji adsorpsi	18
3.1.5. Alat ukur tekanan	19
3.1.6. Alat ukur temperatur	21
3.1.7. Sistem Kontrol temperatur	21
3.1.8. Termokopel	22

3.1.9. Circulating Thermal Bath (CTB)	23
3.1.10. Pompa vakum.....	23
3.1.11. Data Akusisi (DAQ).....	24
3.1.12 Power supply.....	25
3.1.13. Instalasi alat uji adsorpsi kinetik.....	26
3.2. Silika gel.....	28
3.3. Metode uji volume Pressure vessel dan Measuring.....	31
cell	31
3.4. Pengujian Laju Adsorpsi dengan Alat Uji Adsorpsi.....	32
Kinetik Volumetrik.....	32
3.5. Prosedur Pengambilan Data	34
3.6. Pengujian Water Loading dengan Metode Adsorpsi.....	36
Kinetik Volumetrik.....	36
BAB 4.....	37
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1. Pengulangan data.....	37
4.2. Analisa Grafik.....	38
4.3. Kapasitas penyerapan.....	44
BAB 5.....	48
KESIMPULAN DAN SARAN.....	48
5.1. Kesimpulan.....	48
5.2. Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	50

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.1. Fenomena terjadinya adsorpsi pada permukaan benda padat [14]
- Gambar 1.2. Skematik metode volumetrik [13]
- Gambar 1.3. Skema laju penyerapan [4]
- Gambar 3.1. Pressure vessel sebelum dan sesudah
- Gambar 3.2. Measuring sebelum dan sesudah disain
- Gambar 3.3. Sketsa Fluids jacket 1
- Gambar 3.4 Fluids jacket 2
- Gambar 3.5. Pressure transmitter tipe DRUCK PTX 14000
- Gambar 3.6. Gambar alat-alat sistem control
- Gambar 3.7. Sistem instalasi termokopel
- Gambar 2.8. Circulating Thermal Bath
- Gambar 3.9. Pompa vakum Ogawa Seiki Co.Ltd
- Gambar 3.10. Input analog module dan Converter
- Gambar 3.11. Power Supply
- Gambar 3.12. Sistem instalasi alat uji adsorpsi kinetik
- Gambar.3.13. Skema alat uji adsorpsi kinetic secara keseluruhan
- Gambar 3.14. Silika gel Merck KGaA 2-5 mm

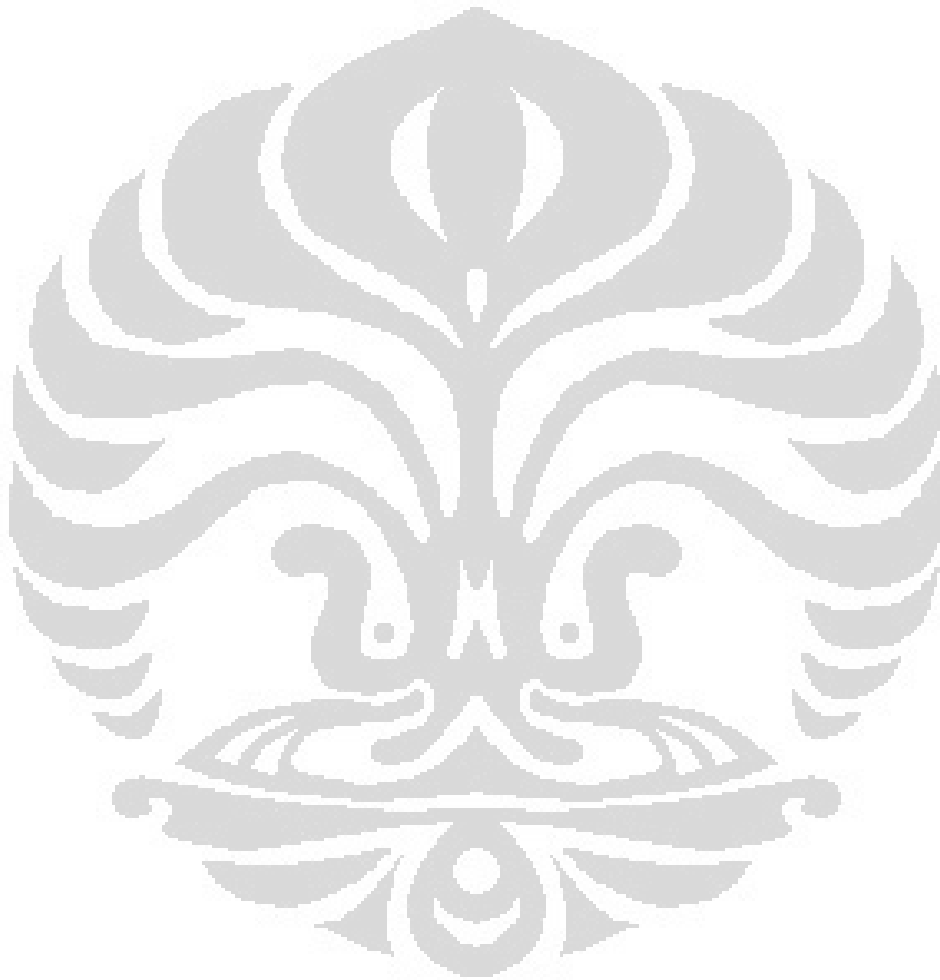
DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Sifat – sifat fisika air pada temperatur 30 °C dan 32 °C

Tabel 3.1. Dimensi pipa – pipa

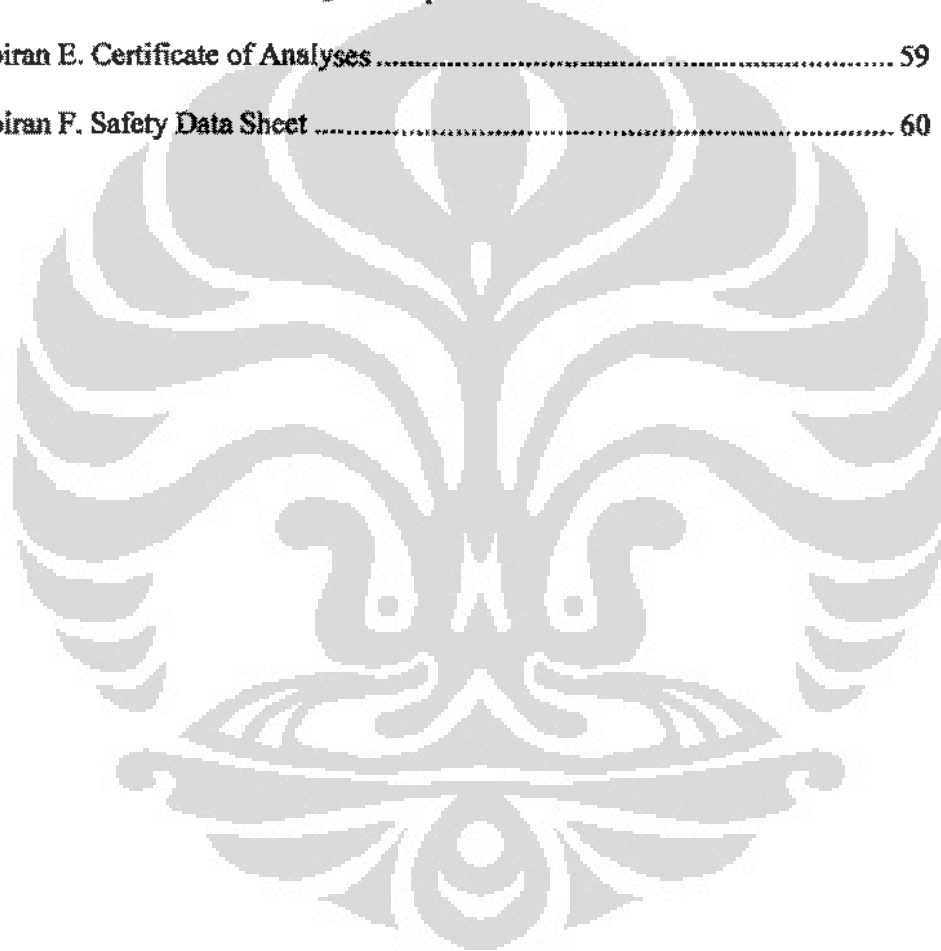
Tabel 3.2. Spesifikasi data akuisisi ADAM

Tabel 3.3. Data spesifik silika gel



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Perhitungan Volume Pressure vessel dan Measuring cell.....	52
Lampiran B. Tampilan Graphical User Interface (GUI) Prog. Labview 8.5	54
Lampiran C. Block diagram pemrograman Labview 8.5	55
Lampiran D. Perhitungan Void volume.....	56
Lampiran D. Gambar 3D Alat Uji Adsorpsi Kinetik	58
Lampiran E. Certificate of Analyses	59
Lampiran F. Safety Data Sheet	60



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1.LATAR BELAKANG

Dengan semakin berkurangnya cadangan energi dunia, dan menipisnya lapisan ozon oleh kegiatan industri dan rumah tangga yang masih memakai sistem pendingin konvensional, berefek pada rusaknya lingkungan hidup dan mengakibatkan pemanasan global. Untuk menjawab semua tantangan diatas sudah semestinya untuk mencari alternative pembuatan alat mesin pendingin yang hemat energi dan ramah lingkungan. Alat tersebut adalah mesin pendingin adsorpsi. Mesin pendingin adsorpsi hanya membutuhkan tiga komponen kerja yaitu adsorber, evaporator dan kondensor. Pada kebanyakan sistem pendingin adsorpsi silika gel dan air adalah pasangan adsorben dan adsorbat yang banyak digunakan.

Penelitian karakteristik adsorpsi uap-air dengan silika gel sebagai adsorben pasangannya telah banyak dilakukan. Hal tersebut dikarenakan sistem adsorpsi banyak sekali kegunaannya, diantaranya: pada sistem penjernihan air, penyerap air pada *septic tank*, penyerapan limbah, sebagai katalis reaksi, *gas storage* (penyimpanan gas), sistem pendingin (*Adsorpsi heat pump*, *adsorpsi chiller*), pemurnian gas (*gas purification*) dan lain-lain.

Untuk menindak lanjuti aplikasi diatas perlu adanya pengujian karakteristik adsorpsi untuk mendapatkan pasangan yang ideal antara adsorben dengan adsorbate. Penelitian karakteristik silika gel dengan uap-air sebagai adsorbat pasangannya menggunakan metode volumetrik pada tekanan rendah jarang dilakukan mengingat silika gel sebagai adsorben lebih rendah daya penyerapannya di bandingkan karbon aktif. sehingga didapat data untuk menghitung kapasitas adsorpsi untuk semua ukuran dan jenis pasangan adsorben-adsorbat, selain itu dapat juga menghitung laju penyerapan adsorpsi [5]. Alat uji untuk mendapatkan data karakteristik adsorpsi di Indonesia sangat sulit ditemukan. Hal tersebut kontra dengan pentingnya data tersebut untuk mendapatkan pasangan adsorben-adsorbat optimal dilihat dari kapasitas dan laju penyerapan.

Universitas Indonesia

Fenomena adsorpsi terjadi pada umumnya dikarenakan gaya *van der waals* dan gaya elektrostatis antara molekul adsorbat yang berkumpul diatas permukaan adsorbent tanpa terjadi ikatan kimia, sering disebut sebagai adsorpsi fisika. Tetapi apabila terjadi interaksi kimia dengan adsorbent maka disebut *chemisorptions*. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan disain dan pembuatan alat untuk uji adsorpsi kinetik volumetrik yang bersifat *hydrophobic* sehingga untuk melengkapi fungsi alat uji adsorpsi perlu pula dilakukan disain dan pembuatan alat uji adsorpsi yang bersifat *hidrophylic* dimana adsorbat yang digunakan adalah uap-air dengan adsorbent silika gel. Pemanfaatan kedua pasangan tersebut hanyalah untuk menguji dan menjamin apakah alat uji adsorpsi yang akan dibuat sesuai dengan pendekatan – pendekatan hasil riset yang pernah dilakukan. Dari berbagai referensi air adalah sebagai media pendingin yang ideal mempunyai kalor laten spesifik yang tinggi dan tidak bersifat racun dan sebagai adsorben pasangannya adalah zeolit atau silika gel. Adsorben yang mempunyai special afinitas dengan bahan polar disebut 'hydrophylic'. Untuk perhitungan kapasitas dan laju uap-air yang terserap di atas permukaan adsorbent mengunakan rumus gas ideal

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Sulitnya memperoleh data karakteristik adsorpsi isotermal uap-air sebagai adsorbat dan silika gel (SiO_2) produksi Merck sebagai adsorben pasangannya pada aplikasi dibidang teknik pendingin adsorpsi.

1.3. TUJUAN

Tujuan umum penelitian ini adalah mengkaji karakteristik adsorpsi isotermal uap-air sebagai adsorbat dan silika gel sebagai adsorben pasangannya.

Adapun tujuan khusus penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan alat uji adsorpsi kinetik sebelumnya dengan melengkapinya dengan sistem steam generator, sehingga alat uji tersebut dapat juga digunakan untuk meneliti karakteristik adsorpsi isotermal uap-air sebagai adsorbat dengan adsorben.
2. Mendapatkan data kapasitas dan laju penyerapan uap-air sebagai adsorbat dan silika gel sebagai adsorben pasangannya pada temperatur penyerapan 30 dan 32° C dengan menggunakan metode volumetrik

1.4. BATASAN MASALAH

Adapun batasan-batasan adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini adsorbat yang digunakan adalah uap-air dengan silika gel merek Merck KGaA butiran 2 – 5 mm sebagai adsorben.
2. Alat uji yang digunakan adalah alat uji adsorpsi kinetik dengan metode volumetrik.
3. Variasi temperatur yang digunakan dalam penelitian adalah 30⁰C dan 32⁰C pada tekanan superheat air.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan tesis disusun atas beberapa bab dimana latar belakang dan tujuan penulisan disampaikan pada bab pertama, kemudian pada bab kedua berisi landasan teori yang berkaitan dengan alat uji adsorpsi kinetik dan seterusnya.

Berikut ini adalah sistematika penulisan karya ilmiah ini, antara lain :

Bab I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang dan tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan.

Bab II Tinjauan pustaka

Pada bab ini disampaikan teori-teori yang menjelaskan tentang adsorpsi yang menjadi dasar dalam perancangan dan pembuatan alat uji adsorpsi kinetik.

Bab III Perancangan sistem kontrol temperatur dan set up alat pengujian

Pada bab ini dibahas sistem kontrol temperatur, dan metode pengujian adsorpsi volumetrik pada tekanan rendah.

Bab IV Metode pengujian dan Analisis pengujian Pada bab ini persiapan alat ukur, persiapan pengujian dan prosedur pengujian unjuk kerja alat uji adsorpsi kinetik dan analisis data pengujian ,

Bab V Kesimpulan

Pada bab ini menyampaikan hasil dari data pengujian karakteristik silika gel dengan uap-air sebagai adsorbat pasangannya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian tentang karakteristik silika gel dengan uap-air sebagai adsorbat pasangannya sangat erat kaitannya dengan pengembangan alat pendingin adsorpsi. Pada pendingin adsorpsi, air merupakan media pendingin yang ramah lingkungan dan berlimpah. Pada hakekatnya adsorpsi pada permukaan padat adalah fenomena fisik yang terjadi antara molekul-molekul gas atau cair yang dikontakkan dengan suatu permukaan padatan, dimana molekul-molekul fluida menyentuh dan melekat pada permukaan padatan [8]. Pada sistem adsorpsi ada dua elemen penting, yaitu : adsorben dan adsorbat. Substansi yang terkonsentrasi pada permukaan padatan didefinisikan sebagai adsorbat dan material dimana adsorbat terakumulasi didefinisikan sebagai adsorben [9].

Unjuk kerja suatu sistem yang menggunakan sistem adsorpsi pada permukaan padatan dipengaruhi oleh karakteristik adsorpsi. Data mengenai karakteristik adsorpsi diperlukan, sehingga akan didapat kapasitas dan laju penyerapan air sebagai adsorbat dengan silika gel sebagai adsorbennya. 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 isoterml. Data yang dihasilkan adalah dasar pemahaman untuk pengembangan sistem pendingin adsorpsi dengan melihat sifat – sifat fisika, lama dan mulainya waktu penyerapan, serta performan penyerapan pada temperatur dan tekanan yang ideal.

Pada sistem pendinginan air-silika gel atau air-zeolit sangat banyak dipakai, dengan air sebagai refrigerant, temperatur evaporator terbatas tidak lebih kurang dari 5 - 6°C. dengan memakai silika gel sebagai adsorber, maka air di desorpsi pada temperatur rendah antara 60 and 70°C, sedangkan dengan memakai zeolit butuh temperatur 90°C untuk proses desorpsi. [5]. Menurut Tahat (2001), silika gel sangat aman, tidak bersifat korosif, murah, sangat berlimpah dan dipergunakan secara luas dikarenakan kapasitas penyerapannya yang sangat besar

Universitas Indonesia

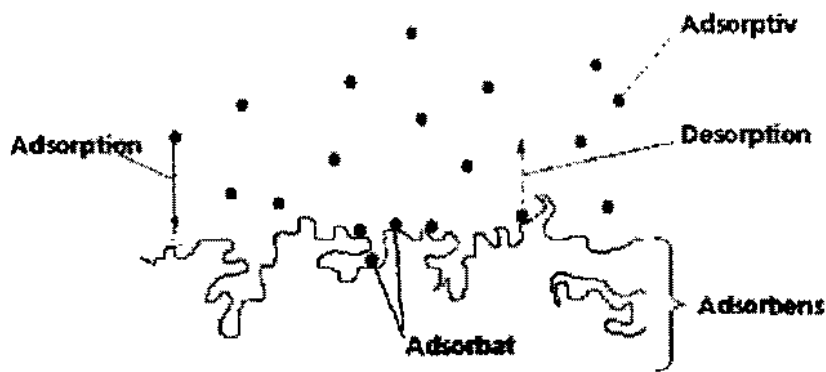
serta sifat kimia yang stabil. Silika gel mempunyai kapasitas daya serap uap-air sekitar 35 sampai 40% dari masa keringnya [15].

2.1. ADSORPSI

Ketika sejumlah molekul secara terus – menerus "menabrak" suatu permukaan dan tetap berada di sana selama periode waktu tertentu sebelum terlepas kembali, konsentrasi molekul pada permukaan akan menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi di fasa gas. Fasa "terkondensasi" ini biasa disebut fasa teradsorpsi dan fenomena ini disebut proses adsorpsi [17]. 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 kesuatu permukaan padatan, perpindahan dari suatu gas kesuatu permukaan cairan juga terjadi. Substansi yang terkonsentrasi pada permukaan didefinisikan sebagai adsorbat dan material dimana adsorbat terakumulasi didefinisikan sebagai adsorben [8].

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 [16]. Adsorpsi fisik yang terjadi karena adanya gaya *Van Der Waals* yaitu gaya tarik - menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Panas adsorpsi fisik umumnya rendah (5 - 10 kkal/gmol gas) dan terjadi pada temperatur rendah yaitu di bawah temperatur didih adsorbat. Hal ini yang menyebabkan kesetimbangan dari proses adsorpsi fisik reversibel dan berlangsung sangat cepat [7]. 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 [16].



Gambar 1.1. Fenomena terjadinya adsorpsi pada permukaan benda padat [14]

2.1.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi

Daya adsorpsi dipengaruhi lima faktor [16], 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.

2.2. ADSORBEN DAN ADSORBAT

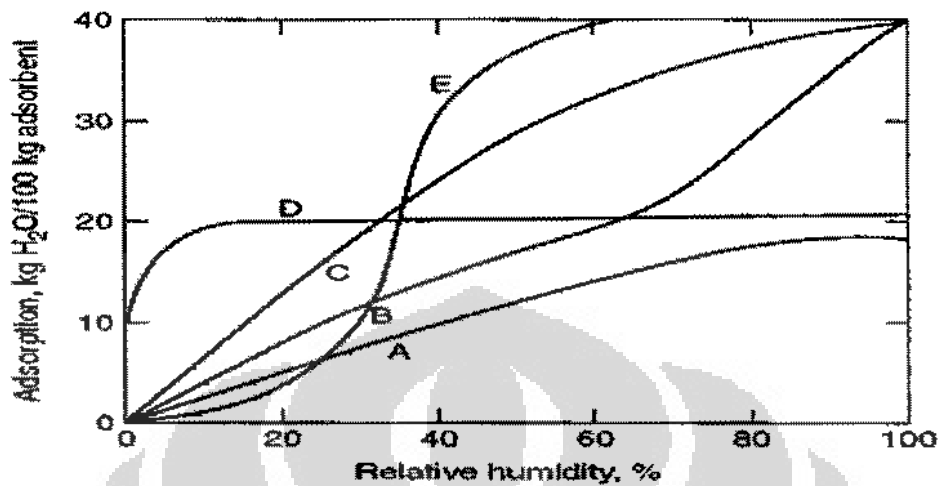
Pasangan adsorben-adsorbat untuk adsorpsi fisik adalah silika gel-air, zeolit-air, karbon aktif-ammonia, karbon aktif-metanol [6]. Pasangan adsorben dan adsorbat, pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

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

2.2.1. Adsorben

Silika gel cenderung mengikat adsorbate dengan energi yang rendah dibandingkan dengan kebanyakan karbon atau zeolit [11]. Silika gel mempunyai kapasitas yang besar dalam penyerapan air, khususnya pada tekanan uap yang tinggi. Silika gel sangat luas dipergunakan sebagai desikan karena ia mempunyai kapasitas penyimpanan air yang besar (40%). Silika gel yang komersial berbentuk mesoporos, oleh sebab itu dengan pori-pori yang berdiameter 20 Å. Ada dua model silika gel yang dikenal yaitu *regular density* dan *low-density*. *Regular-density* mempunyai luas permukaan 750–850 m²/g dan diameter pori rata-rata 22–26 Å, sedangkan tipe *low-density* dengan luas permukaan 300–350 m²/g dan 100–

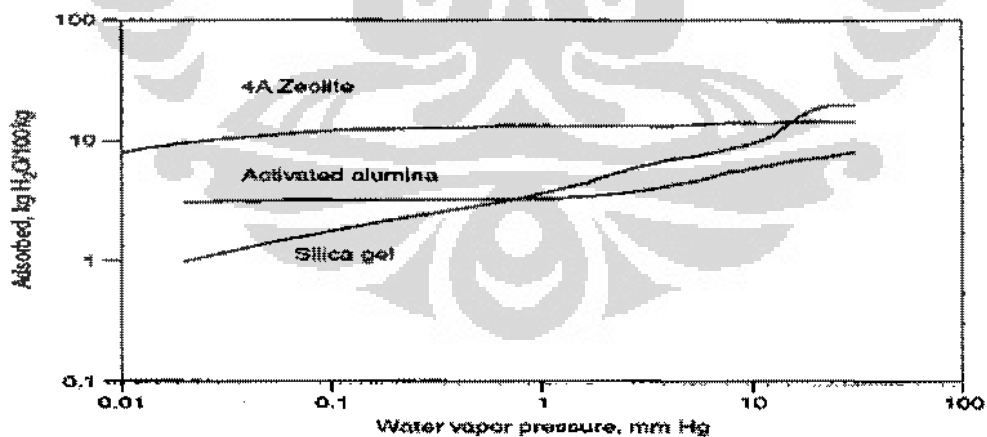
150 Å. Silika gel banyak dipergunakan didunia industri untuk proses penyaringan air dikarenakan sifat hydrophilic yang kuat.



Grafik 1.1. Hubungan relatif humidity dengan massa penyerapan uap-air [15]

Keterangan :

- A : Alumina granular
- B : Alumina spherical
- C : Silika gel
- D : 5A zeolit
- E : Karbon aktif



Grafik 1.2. Hubungan tekanan uap-air terhadap banyaknya penyerapan [15]

2.2.2. 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 [13]. 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 di batasi oleh transfer massa.

Berikut adalah table sifat – sifat fisik air pada temperatur 30°C dan 32°C :

Temp. (°C)	Tek. Saturasi (mbar)	Densitas (kg/m ³)	Densitas uap (kg/m ³)	Entalphy cair	Enthalpy uap	Entropie air	Entropi uap
30	42,5	995,61	0,030415	125,73	2555,5	0,43675	8,4520
32	46,7	993,99	0,039674	146,63	2564,5	0,50513	8,3517

Tabel 1.1 Sifat – sifat fisika air pada temperatur 30°C dan 32°C

2.3. LAJU PENYERAPAN

Dalam periode laju penyerapan konstan pergerakan kadar uap-air pada zat padat sangat cepat untuk mendapatkan kondisi jenuh pada permukaan. Jika kalor hanya didapat dari konveksi dengan udara yang lebih panas, temperatur permukaannya adalah temperatur bola basah (wet bulb) pada kondisi tersebut. Laju penyerapan dalam kg/s dapat ditulis [19]:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{hA (T_a - T_w)}{\Delta h_v} = K_g A (p_s - p) \quad (2.1)$$

Dalam prakteknya penggunaan persamaan dengan variable temperatur (T) dapat memperkecil kesalahan perhitungan dibanding dengan tekanan (p). Jika kalor didapat dari konveksi, konduksi dan radiasi temperatur permukaan akan lebih tinggi dari temperatur bola basah. Perhitungan laju penyerapan, merupakan suatu faktor penting yang digunakan untuk menunjukkan kemampuan silika gel atau adsorben lain dalam menyerap uap-air

2.4. 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 [9]. Dalam penelitian ini memakai metode volumetrik.

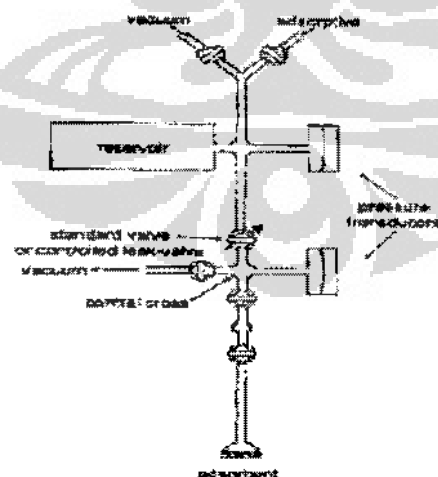
2.4.1. Metode volumetrik

Dasar pengukuran metode volumetrik adalah tekanan, volume dan temperatur. Perhitungan adsorpsi isothermal 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 isothermal.

Data pengukuran pada metode volumetrik adalah tekanan dan temperatur, dimana data diukur saat adsorbat masuk ke tempat diletakkannya adsorben (adsorption bulb). Setelah keseimbangan adsorpsi terjadi, jumlah adsorbat yang terserap dihitung dari perubahan tekanan yang terjadi. Hal yang terpenting dalam pengukuran adsorpsi isotermaal menggunakan alat uji adsorpsi metode volumetrik adalah, sebagai berikut [9] :

- i. Volume efektif alat uji harus diketahui.
- ii. Alat uji harus dapat mengukur temperatur dari gas yang menjadi adsorbat.
- iii. Keakuratan alat uji untuk mengukur perubahan tekanan pada metode volumetrik adalah hal yang utama.
- iv. Kesetimbangan adsorpsi terjadi apabila tekanan relatif mencapai $p/p_0 = 1$, maka pengukuran berakhir.
- v. 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 murah dan mudah dibuat karena komponennya ada di pasar dan relatif murah [8]. Skema metode volumetrik, sebagai berikut :



Gambar 1.2. Skematik metode volumetrik [13]

2.5. 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. Kesetimbangan massa uap adsorbat dalam *measuring cell* menurut Dawoud dan Aristov, 2003, dapat diasumsikan sebagai berikut :

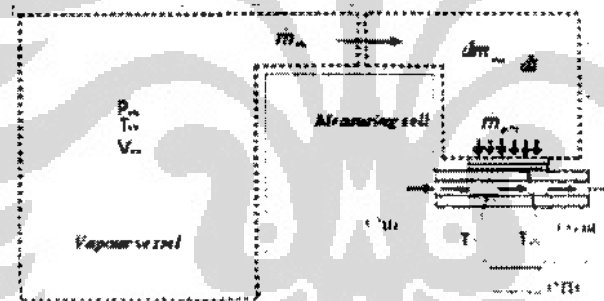
$$\frac{dm_{wv,mc}}{dt} = |\dot{m}_{wv,vv}| - \dot{m}_{wv,s} \quad (2.2)$$

Dimana:

$\frac{dm_{wv,mc}}{dt}$: laju aliran massa adsorbat di *measuring cell* (kg/s)

$\dot{m}_{wv,vv}$: laju aliran massa adsorbat di *pressure vessel* (kg/s)

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



Gambar 1.3. Skema laju penyerapan [4]

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

$$|\dot{m}_{wv,vv}| = \frac{|\Delta m_{wv,vv}|}{\Delta t} = \frac{m_{wv,vv}(t) - m_{wv,vv}(t + \Delta t)}{\Delta t} = \frac{(p_1(t) - p_1(t + \Delta t)) \cdot V_{vv}}{R_{wv} \cdot T_{vv} \cdot \Delta t} \quad (2.3)$$

$$\frac{dm_{wv,mc}}{dt} = \frac{(m_{wv,mc}(t + \Delta t) - m_{wv,mc}(t))}{\Delta t} = \frac{(p_2(t + \Delta t) - p_2(t)) \cdot V_{mc}}{R_{wv} \cdot T_{mc} \cdot \Delta t} \quad (2.4)$$

Universitas Indonesia

$$m_{wv,s} = \frac{\Delta m_{wv,s}}{\Delta t} = \frac{(p_1(t) - p_1(t + \Delta t)) \cdot V_{vV}}{R_{wv} \cdot T_{vV} \cdot \Delta t} - \frac{(p_2(t + \Delta t) - p_2(t)) \cdot V_{sC}}{R_{wv} \cdot T_{sC} \cdot \Delta t} \quad (2.5)$$

$$\Delta m_{wv,s} = \frac{|\Delta p_1| \cdot V_{vV}}{R_{wv} \cdot T_{vV}} - \frac{\Delta p_2 \cdot V_{sC}}{R_{wv} \cdot T_{sC}} \quad (2.6)$$

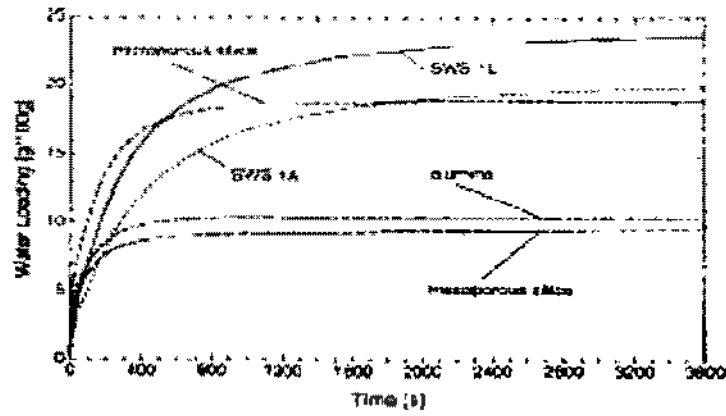
Dengan telah diketahuinya massa sample adsorben kering $m_{s,dry}$ dan juga kapasitas adsorpsi awal x_0 , maka variasi waktu untuk kapasitas adsorpsi dapat dihitung:

$$x = x_0 + \sum_{i=0}^t \frac{\Delta m_{wv,s}}{m_{s,dry}} \quad (2.7)$$

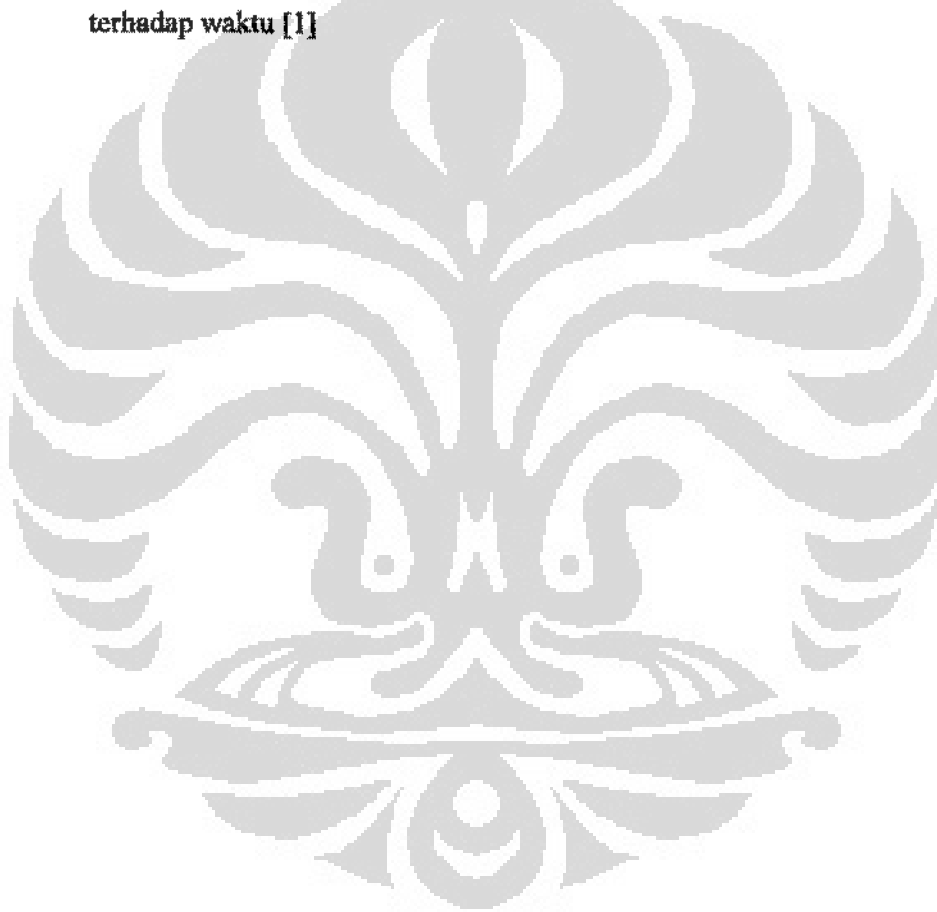
Langkah membandingkan hasil pengukuran adsorpsi kinetik pada kondisi yang berbeda, perlu dinyatakan perubahan kapasitas adsorpsi terhadap waktu dalam bentuk tanpa dimensi. Dalam hal ini dapat dinyatakan sebagai kapasitas adsorpsi uap adsorbat e , sebagai rasio antara selisih kapasitas adsorpsi uap adsorbat sesaat terhadap selisih kapasitas adsorpsi uap adsorbat maksimal yang dicapai pada setiap kondisi operasi dalam proses adsorpsi pada sampel adsorben.

$$\Delta(\tau) = \frac{x(t) - x_0}{x_{\infty} - x_0} \quad (2.8)$$

Berikut ini adalah salah satu contoh grafik hubungan antara penyerapan uap-air pada Tadsorben 50°C dan P 60 mbar terhadap waktu (detik), terlihat bahwa seiring bertambahnya waktu maka uap-air yang terserap semakin bertambah besar namun pada waktu tertentu uap-air tidak lagi mampu terserap oleh adsorben dengan demikian adsorben berada pada kondisi jenuh. Grafik ini memperlihatkan laju penyerapan dan kemampuan penyerapan maksimum adsorben tersebut adsorbat pasangannya.



Grafik 1.3. hubungan penyerapan uap-air pada $T_{\text{adsorben}} 50^{\circ}\text{C}$ dan $P 60 \text{ mbar}$ terhadap waktu [1]



BAB 3

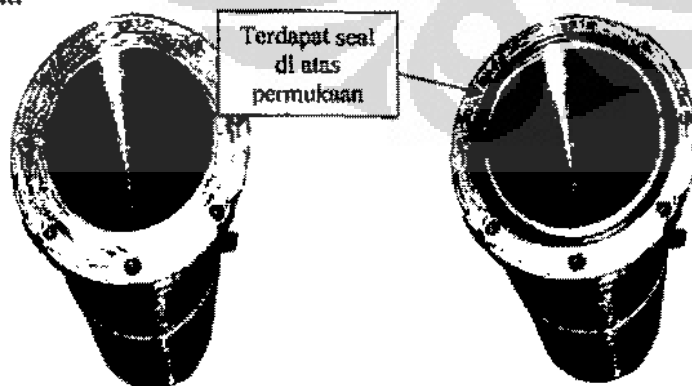
METODOLOGI PENELITIAN

3.1.PENGEMBANGAN ALAT UJI ADSORPSI KINETIK

Alur perancangan merupakan pola yang dikembangkan antara variabel yang satu dengan variabel yang lain yang digambarkan dalam bentuk model. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan telah dibuat alat uji adsorpsi kinetik volumetrik. Alat uji tersebut hanya dipergunakan pada pasangan adsorbat/adsorben yang bersifat hydrophobic, oleh sebab itu untuk proses penyempurnaan alat perlu adanya dilakukan *redesign* agar didapat alat uji adsorpsi kinetik yang layak dijadikan sebagai media pengujian.

3.1.1. Pressure Vessel

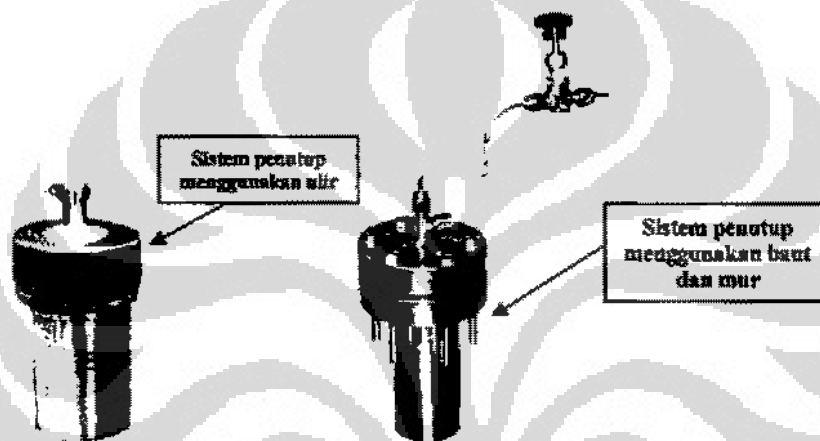
Pressure vessel dirancang sebagai alat tempat untuk merubah fasa adsorbat menjadi *vapour*. Pada perancangan *pressure vessel* parameternya adalah tekanan maksimum adsorbat, karena alat uji yang telah dibuat tidak hanya menyimpan uap – air tetapi juga menyimpan adsorbat bertekanan tinggi maka *Pressure vessel* dibuat dari bahan *stainless steel 304*, *pressure vessel* dirancang dapat digunakan sampai dengan tekanan maksimum 10 Mpa. Ukuran diameter dalam ($\varnothing d$) 100 mm dan diameter luar ($\varnothing l$) 140 mm. Ketebalan *pressure vessel* 6 mm dan panjang 220 mm. Volume dari *pressure vessel* dirancang dapat memuat 1000 cm³ adsorbat. Pada perancangan sebelumnya tidak terdapat seal di dinding permukaan bagian atas sehingga rawan akan kebocoran. Gambar sketsa *pressure vessel*, sebagai berikut:



Gambar 3.1. Pressure vessel sebelum dan sesudah

3.1.2. Measuring cell

Measuring cell dirancang sebagai tempat pengukuran dan tempat meletakkan adsorben. Pada perancangan *measuring cell* parameternya adalah tekanan maksimum dan volume *measuring cell*. *Measuring cell* dibuat dari bahan *stainless steel 304*, *measuring cell* dirancang dapat digunakan sampai tekanan maksimum 10 Mpa. 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 cm³ adsorbat. Gambar sketsa dari *measuring cell*, sebagai berikut:



Gambar 3.2. *Measuring cell* sebelum dan sesudah disain

3.1.3 Fluids jacket

3.1.3.1 Fluid 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 (\varnothing) 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 9 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.^oC. Gambar sketsa *Fluids jacket 1* pada *pressure vessel*, sebagai berikut:



Gambar 3.3. Sketsa *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 20 cell* dirancang dari bahan besi karbon (AISI 1010) ukuran diameter (\emptyset) 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 9 mm, *thermal Conductivity* adalah 0.04 W/m^oC. Selain menggunakan insulasi superlon *Fluids jacket 2*, juga diinsulasi plat alumunium dengan tebal 1 mm dan *thermal Conductivity* adalah 177 W/m.^oC. Gambar sketsa *Fluids jacket 2* pada *pressure vessel*, sebagai berikut :



Gambar 3.4 Fluids jacket 2

3.1.3.3. 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) 3.175 mm dan diameter dalam (\varnothing_a) 2.275 mm. Panjang keseluruhan pipa yang digunakan pada alat uji adsorpsi kinetik 1530 mm. Distribusi ukuran pipa terpasang, sebagai berikut :

Pipa terpasang	Panjang total (mm)	Volume (ml)
Pressure Vessel	850	1507
Measuring cell	680	90.29±3.50

Tabel 3.1. Dimensi pipa – pipa

Insulasi pipa pada alat uji adsorpsi kinetik digunakan terbuat dari Asbestos. Diameter (\varnothing) 6 mm dan tebal insulasi 9 mm. *Thermal Conductivity* adalah 0.04 W/m°C.

3.1.3.4. Selimut penutup pipa (fluid jacket)

Tujuannya adalah agar tidak terjadi proses kondensasi uap-air yang menghubungkan uap-air dari steam generator ke vapor vessel, dimana hal ini terjadi dikarenakan adanya perbedaan tekanan uap-air.

3.1.4. Steam Generator pada alat uji adsorpsi.

Steam generator berfungsi sebagai alat pembangkit uap yang akan dialirkan kedalam *measuring cell*. Pada penelitian ini air dimasukkan ke dalam *Pressure Vessel*, sehingga dengan mengkondisikan tekanan saturasi air pada dua variasi temperatur yaitu 30°C dan 32°C maka akan didapat uap-air dengan prosentase 100%, dengan syarat sebelumnya sistem divakum agar tidak terdapat udara.

Untuk mendapatkan titik didih air pada tekanan yang ditentukan dapat dicari dengan menggunakan persamaan *Antoine* :

$$\log_{10} P = 8.07131 - \frac{1730.63}{233.426 + T_b} \quad (3.1)$$

$$T_b = \frac{1730.63}{8.07131 - \log_{10} P} - 233.426 \quad (3.2)$$

Untuk mendapatkan titik didih air pada suhu 30°C maka perlu tekanan di vapor vessel sebesar :

$$\log_{10} P = 8.07131 - \frac{1730.63}{233.426 + 30} \quad (3.3)$$

$$P = 10^{1.3}$$

$$P = 31.72 \text{ Tor} = 0.03172 \text{ bar}$$

Dengan kondisi tekanan 32 mbar didalam vapor vessel diharap air akan menguap dan mengalir kedalam measuring cell pada temperatur 30°C dengan tetap menjaga kondisi isothermal dengan bantuan *circulating thermal bath*. Pemasangan isolator arnaflux yang menyelimuti pipa – pipa sangat membantu agar tidak terjadi proses kondensasi ketika perjalanan uap-air menuju ke measuring cell.

3.1.5. Alat ukur tekanan

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

Pabrikan : General electric

Tipe : Druck PTK 1400

Pressure range : 0 – 2.5 bar absolute

Analog Output : 4 – 20 mA

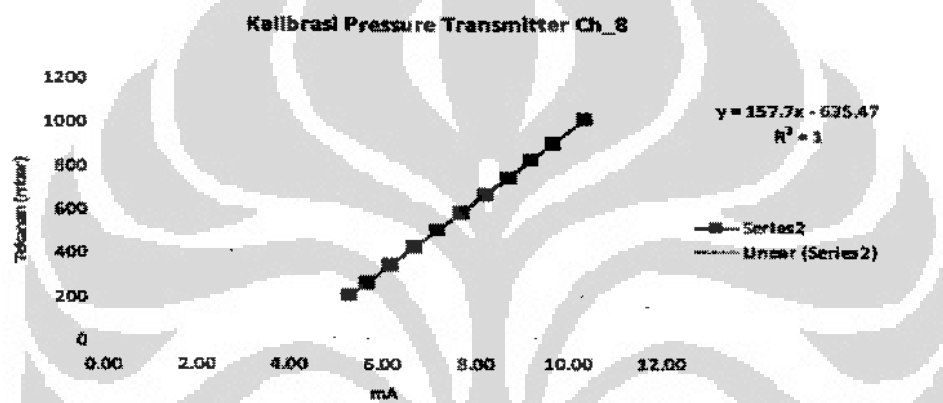
Akurasi : 0.15 %

Alat ukur telah dikalibrasi dengan manometer.

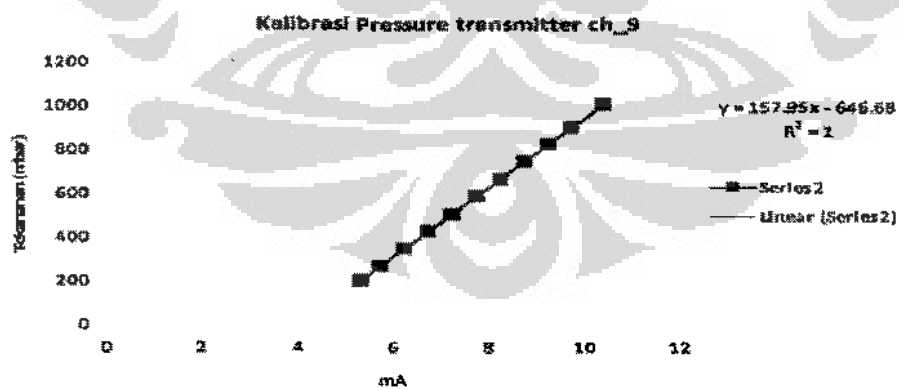


Gambar 3.5. Pressure transmitter tipe DRUCK PTX 14000

Berikut adalah grafik hasil kalibrasi Pressure transmitter dengan referensi arus :



Grafik 3.3. kalibrasi tekanan pada chanel 08



Grafik 3.4. kalibrasi tekanan pada chanel 09

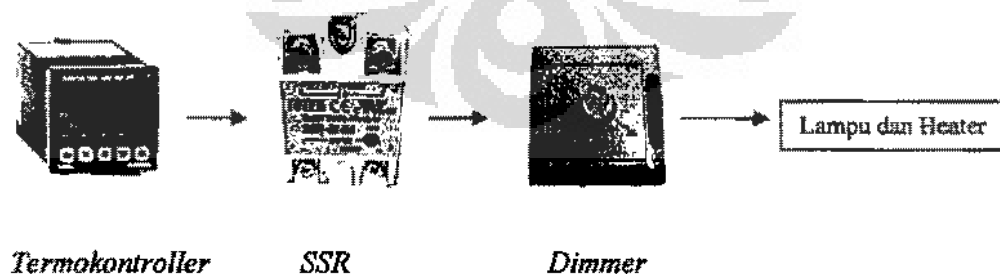
Universitas Indonesia

3.1.6. Alat ukur temperatur

Selain pengukuran tekanan dibutuhkan juga alat pengukur temperatur. Alat pengukur tersebut digunakan sebagai penunjuk temperatur pengukuran. Alat kinetik adsorpsi dirancang dapat melakukan pengukuran direntang 0°C sampai dengan 100°C , maka dipilih alat ukur temperatur yang sesuai dengan rancangan. Pada sistem kontrol temperatur memakai thermo controller autonics, dimana dengan pencapaian temperatur yang telah ditentukan akan berhenti secara otomatis. Proses kalibrasi termokopel dengan thermometer standar merek Ogawa Seiki Co.Ltd, 2 buah channel termokopel disamakan dengan thermometer standar (dengan membaca angka di thermometer) sedangkan termokopel dapat dibaca dilayar monitor

3.1.7. Sistem Kontrol temperatur

Pada proses degassing *Measuring cell* (didalamnya terdapat silika gel) dipanasi dengan heater pada temperatur konstan 130°C selama 1 jam dan untuk menjaga kondisi isothermal di dalam sistem perlu bantuan lampu yang juga dijaga konstan, hal tersebut perlu adanya alat untuk menjaga temperatur konstan yaitu termokontroller. Sistem kerja dari termokontroller adalah memanaskan ruangan sistem disaat temperatur yang diinginkan belum tercapai dan mematikan lampu jika temperatur telah tercapai. Termokontroller yang dipakai merek Autonics tipe TZN4S. Pada penelitian ini lampu dan heater sebagai beban di paralelkan dimana keluaran dari termokontroller terdapat dimmer sebagai pengatur arus yang masuk ke 2 buah beban (lampu dan heater), sehingga beban dapat diatur baik arus dan control temperatur (on – off).



Gambar 3.6. Gambar alat-alat sistem control

3.1.8. 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 *thermocouples* yang digunakan untuk mengukur temperatur di *pressure vessel* dan *measuring cell*. *Thermocouples* yang digunakan pada alat uji adsorpsi kinetik memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

Jenis	: Kabel
Tipe <i>thermocouples</i>	: K
Temperatur range	: - 200 -1250°C
Accuracy	: Class I \pm 0.95 %

Metode instalasi termokopel sangat besar pengaruhnya terhadap kebocoran sistem, hal tersebut telah dilakukan cara pemasangan termokopel dengan menggunakan *ferol* dan *nut*.



Pemasangan dengan sistem ferol dan nut

Gambar 3.7. Sistem instalasi termokopel

3.1.9. Circulating Thermal Bath (CTB)

CTB pada alat uji adsorpsi kinetik berfungsi sebagai alat penjaga temperatur pengukuran agar tetap konstan. Pada alat uji terdapat satu buah CTB dengan mengalirkan air ke dalam *Pressure vessel* dan *Measuring cell*.



Gambar 2.8. Circulating Thermal Bath

Spesifikasi CTB adalah :

Pabrikan	: Huber
Jenis	: CC1-E
Mesin Pendingin	: Tidak ada
Temperatur range	: 25 – 200°C
Akurasi	: ± 0.02°C

3.1.10. Pompa vakum

Pada pengujian alat uji adsorpsi kinetik perlu dievakuasi unsur-unsur selain adsorbat dan adsorben. Oleh karena itu pada alat uji adsorpsi kinetik diperlukan pompa vakum. Selain digunakan sebagai alat evakuasi, pompa vakum dapat digunakan untuk penelitian sistem adsorpsi yang membutuhkan tekanan dibawah tekanan atmosfer, seperti pada sistem pendingin. Pompa vakum yang digunakan pada alat uji, memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Pabrikan	: Ogawa seiki co, ltd
Tipe	: DRP-1400
Jenis	: Rotary vacuum pump
Vakum maksimal	: 6.7×10^{-2} pa
Laju pemvakuman	: 1200 l/ min. (50 Hz) : 1440 l/ min (60 Hz)

Universitas Indonesia

Konsumsi energi : 2.2 kW

Gambar pompa vakum yang digunakan dalam pengujian alat uji adsorpsi kinetik



Gambar 3.9. Pompa vakum Ogawa Seiki Co.Ltd

3.1.11. Data Akusisi (DAQ)

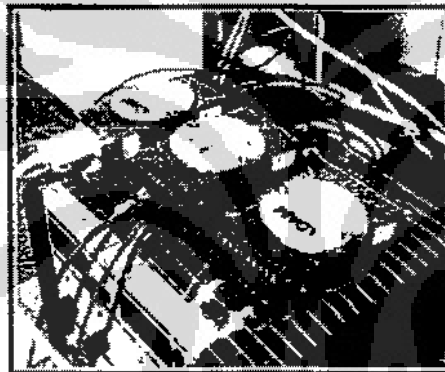
Data akusisi digunakan untuk menerima sinyal atau *analog output* dari alat ukur, yaitu *pressure transmitter* dan *termocouples*. Data *analog* yang diterima data akusisi dari alat ukur diubah menjadi data digital, sehingga mampu dibaca dan disimpan komputer .

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*. Pada alat uji adsorpsi kinetik terdapat dua data akusisi, yaitu data akusisi untuk menerima keluaran *thermocouples* 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 :

Pabrikan	Advantech
Tipe analog input modul	4018
Tipe converter	4520
Converter connection	RS232
Input accepted :	
Termokopel	J,K,T,E,R,S dan B
Millivolt :	-
Volt :	-
Current input :	4 – 20 mA
Rata-rata sampel	10 sampel/detik
Jumlah channel	8
Akurasi	0.1%
Power supply	10 – 28 Vdc

Tabel 3.2. Spesifikasi data akuisisi ADAM

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



Gambar 3.10. 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)

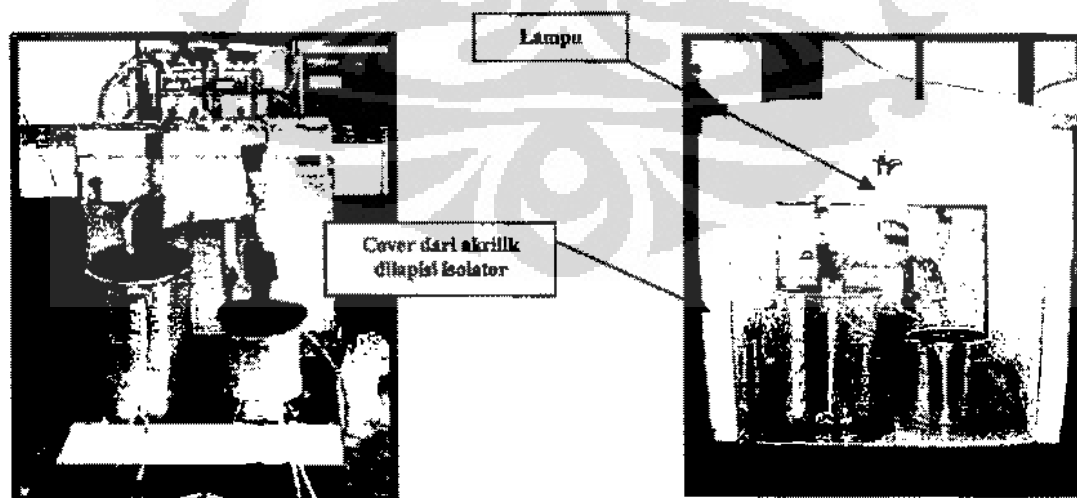
Gambar *Power supply* yang digunakan dalam pengujian alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut :



Gambar 3.11. Power Supply

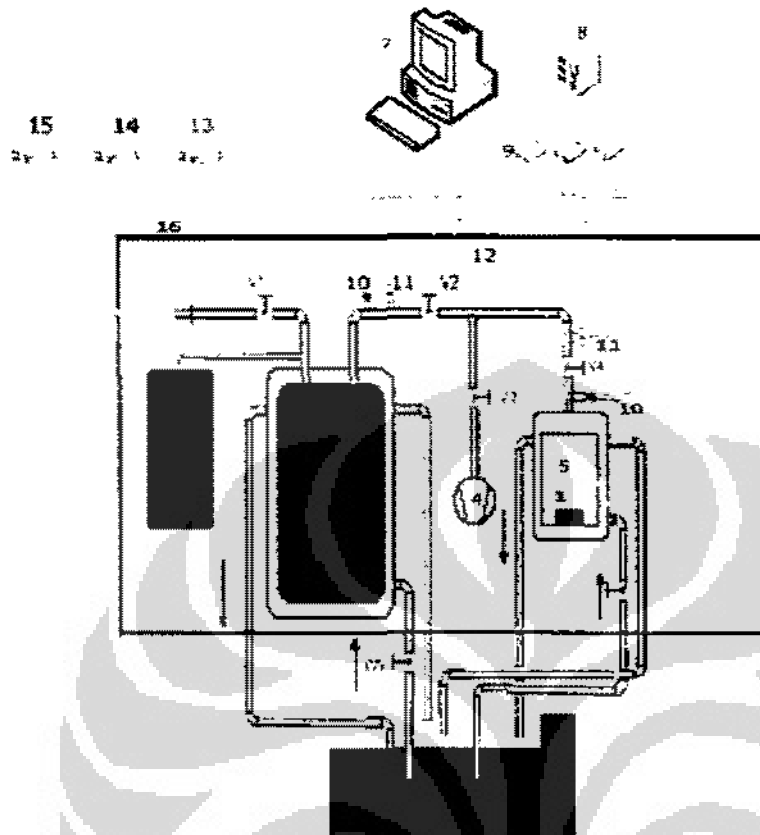
3.1.13. Instalasi alat uji adsorpsi kinetik

Setelah melakukan perancangan ulang dari alat uji dan merakit menjadi satu kesatuan alat uji adsorpsi kinetik, maka didapat gambar sebagai berikut :



Gambar 3.12. Sistem instalasi alat uji adsorpsi kinetik

Dan berikut skema gambar beserta keterangan secara keseluruhan :



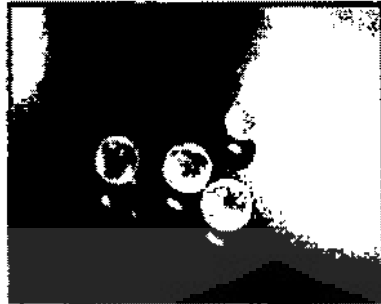
Gambar.3.13. Skema alat uji adsorpsi kinetic secara keseluruhan

Keterangan gambar :

1. Adsorben (silika gel)
2. Steam generator
3. Pressure vessel
4. Katup pompa vakum
5. Measuring cell
6. Circulating thermal bath
7. Komputer
8. Power supply
9. ADAM DAQ
10. Termokopel
11. Pressure transmitter
12. Lampu
13. Termokontroller
14. Solid state relay
15. Dimmer
16. Penutup akrilik

3.2. SILIKA GEL

Silika gel adalah adsorben dengan type butiran 2 – 5 mm produksi Merck KGaA, mempunyai sifat fisik sebagai berikut :



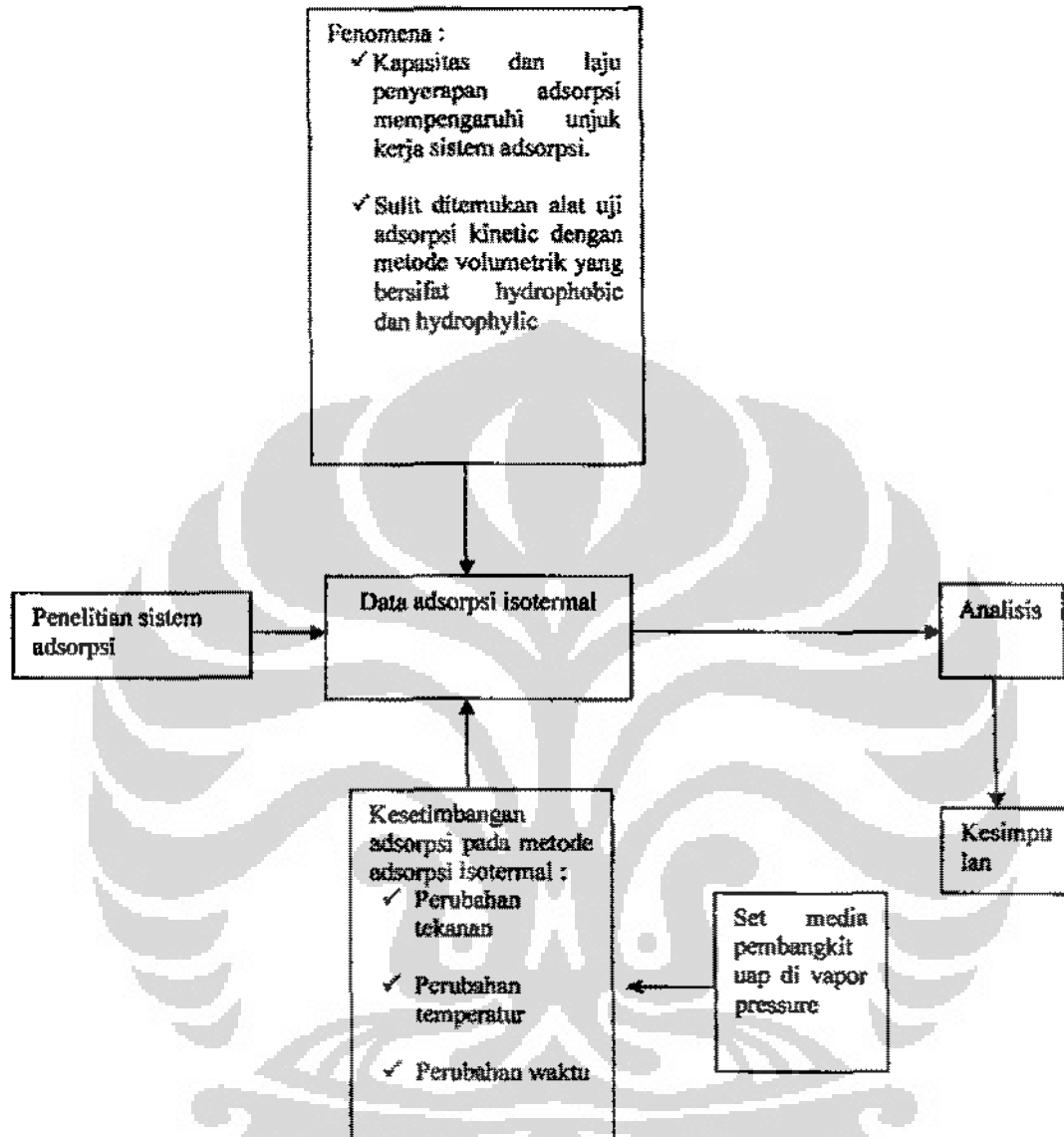
Gambar 3.14. Silika gel Merck KGaA 2-5 mm

Sifat fisik Silika gel	Merek KGaA
Surface (BET)	700(m ² /g)
Heat adsorption per kg adsorbed water	3200 kj
Ukuran pori	2 – 2,5(nm)
range of partikel	2.0 – 5 mm
particle bulk density	750 - 800 (kg/m ³)
Ukuran partikel	2 – 5 mm
water content	2.0 %
specific heat capacity	1Kj/Kg ^o C

Tabel 3.3. Data spesifik silika gel

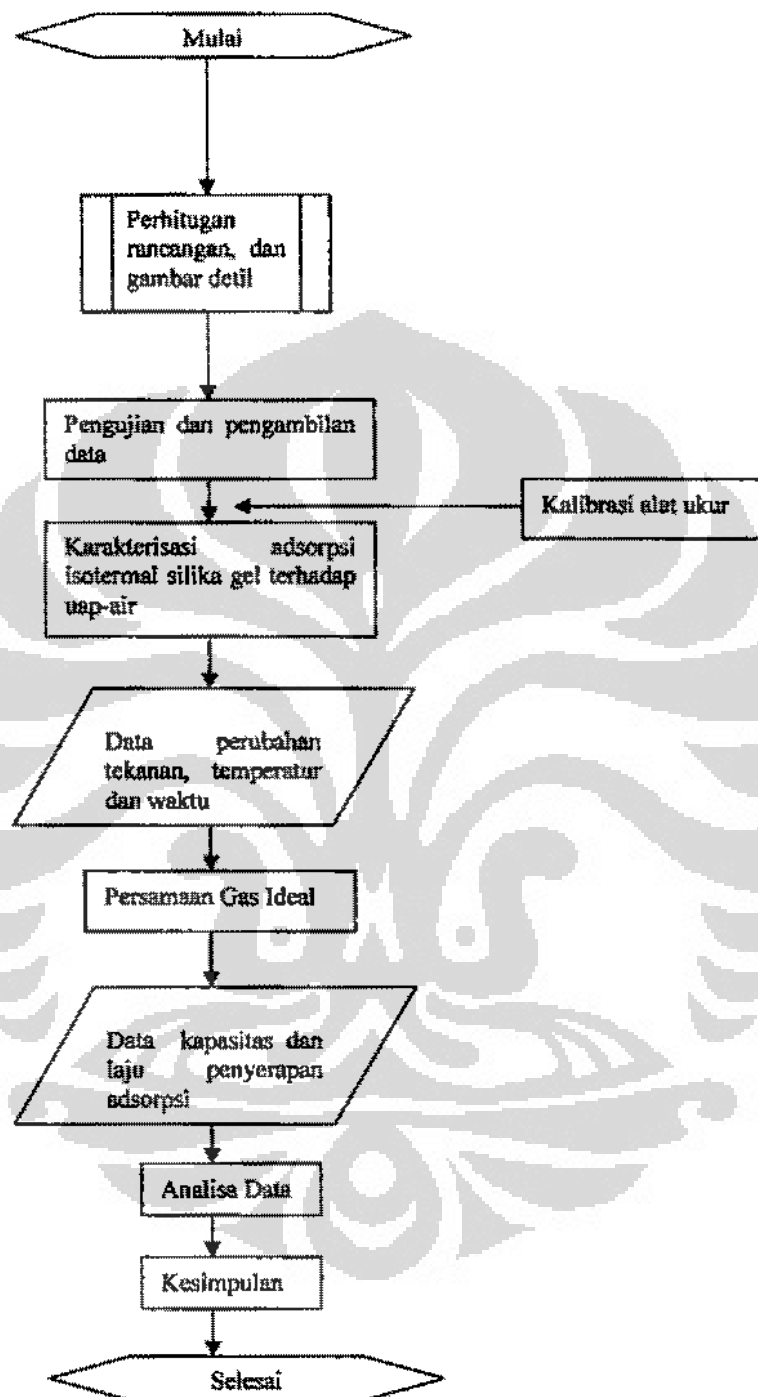
Metode yang paling baik untuk menghilangkan uap-air dari silika gel adalah dengan cara memanaskan, walaupun secara teori silika gel akan meleleh pada suhu 1600^oC, tetapi air akan kehilangan ikatan kimianya dan sifat higroskopis apabila dipanaskan diatas suhu 300^oC. (Steven Weintraub “Demystifying silika gel”). Pada penelitian ini silika gel di degassing selama 1 jam dengan suhu pemanasan 130^oC.

Adapun diagram alur perancangan dibuat berdasarkan alur penulisan tesis. Berikut ini adalah alur penulisan tesis, sebagai berikut :



Flowchart.3.1. Alur penulisan tesis

Implementasi alur penulisan tesis maka dapat dibuat alur perancangan dan pembuatan alat uji adsorpsi kinetik sebagai berikut :



Flowchart 3.2. Alur perancangan dan pembuatan alat uji steam generator

3.3. METODE UJI VOLUME PRESSURE VESSEL DAN MEASURING CELL

Proses uji volume void sangat ditentukan oleh temperatur isothermal dari kedua pressure vessel dan measuring cell agar didapatkan uncertainty yang konsisten dari data. Berikut metode uji volume di PV dan MC

1. Kalibrasi volume pressure vessel (PV)

- a. Mengisi PV serta tube-tube dengan air
- b. Menimbang PV beserta air, maka akan diperoleh volume dari data massa pada temperatur tersebut

2. Kalibrasi volume measuring cell (MC)

Pada MC terdapat silika gel sebagai adsorben, volume kosong dari MC adalah volume total dari ruang kosong yang terdapat pada MC.

$$V_{\text{kosong}} = V_{\text{MC}} - V_{\text{ruang yang terisi adsorben}} + V_{\text{pori-pori adsorben}} \quad (3.4)$$

Prosedur pencarian volume kosong MC, yaitu:

- a. Mengatur temperatur yang diinginkan (misal: 30°C)
- b. Mengisi PV dengan gas He dengan cara membuka valve₁ dan mengalirkan gas He ke dalam alat tersebut. Sementara valve₂ dalam keadaan tertutup. Valve₁ ditutup ketika pada tekanan tertentu di dalam PV. Setelah itu, mencatat tekanan awal PV (p_{PV0}) serta tekanan awal MC (p_{MC0}). Dengan data tersebut, maka akan diperoleh jumlah mol He yang terdapat pada PV berdasarkan persamaan:

$$n = \frac{p_{PV} \cdot V_{PV}}{z_{He} \cdot R \cdot T} \quad (3.5)$$

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

- c. Membuka valve₂ dan mengalirkan He ke dalam MC, kemudian mencatat tekanan akhir PV (p_{PV}).

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

$$n_1 = \left(\frac{P_{PV0}}{z_{He,PV0} \cdot R \cdot T} - \frac{P_{PVn}}{z_{He,PVn} \cdot R \cdot T} \right) \cdot V_{PV} \quad (3.6)$$

- d. Menunggu 15 menit, setelah itu mencatat tekanan akhir MC (P_{MCn}).
Maka akan diketahui volume kosong MC dengan persamaan:

$$V_{\text{kosong}} = \frac{n_1 \cdot z_{He,MCn} \cdot R \cdot T}{P_{MCn}} \quad (3.7)$$

- e. Mengeluarkan He dari MC dengan membuka valve;
f. Langkah-langkah a sampai e dilakukan 5 kali, kemudian dirata-ratakan.

Perhitungan volume kosong MC dengan air :

Massa kosong	2764,55 gr
Massa berisi air	2842,47 gr
	<hr/>
	77,92 gr

Temperatur : 28,6°C

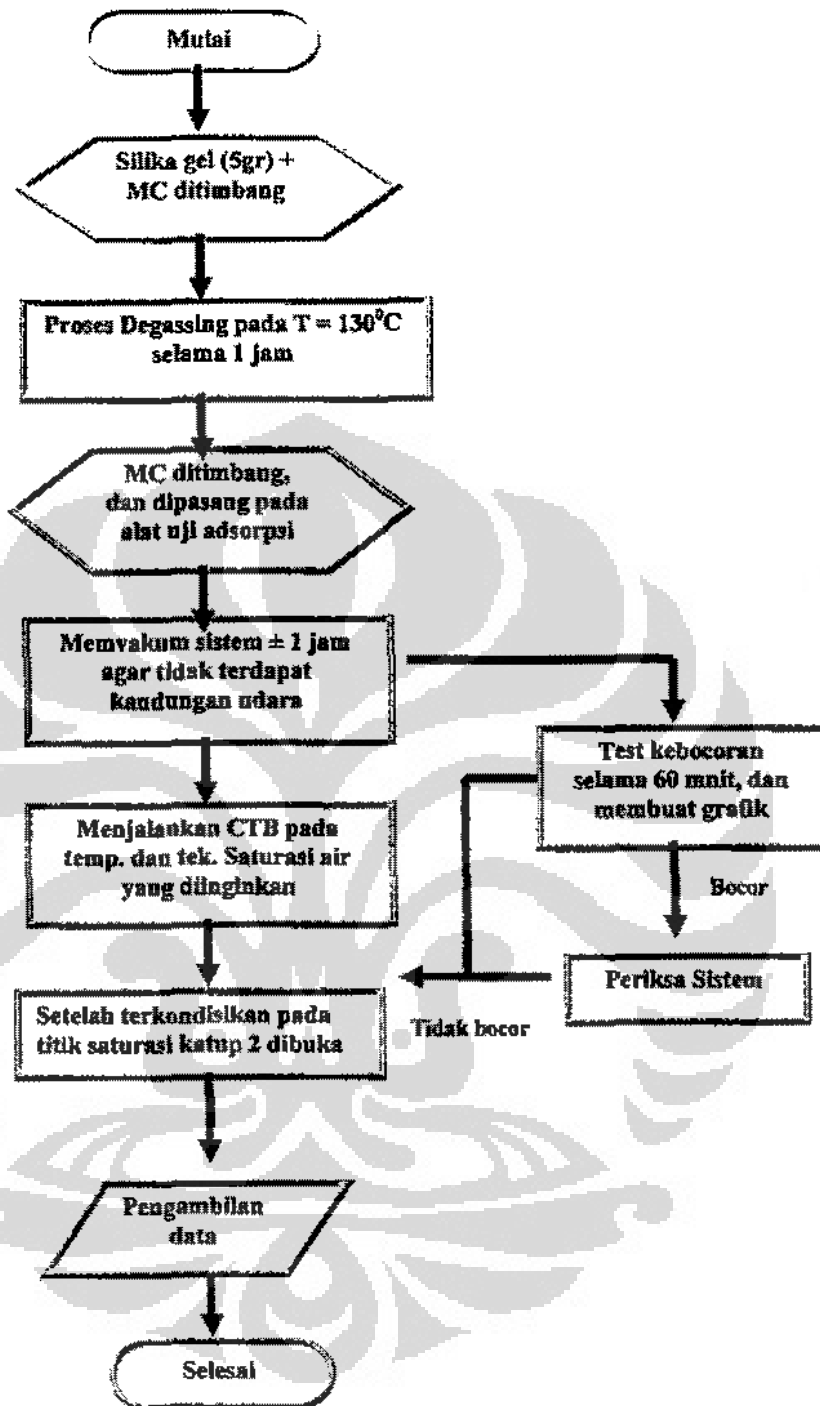
Maka volume tube + measuring cell adalah : 78,21 cm³

Perhitungan Volume kosong MC dengan gas Helium :

Data :	- 96,446
	- 85,932
	- 88,484
	<hr/>
	90,287 cm ³

3.4. PENGUJIAN LAJU ADSORPSI DENGAN ALAT UJI ADSORPSI KINETIK VOLUMETRIK.

Untuk mendapatkan data pengujian perlu dirancang dan dibuat metode pengambilan data, agar nantinya akan didapat data yang valid dan benar. Berikut adalah flow chart dan langkah-langkah pengambilan data uji adsorpsi uap-air/silika gel.



Penentuan variasi tekanan antara (0 – 6000) pa dan temperatur antara (303 – 338 K) untuk pasangan uap-air dengan silika gel sebagai adsorben adalah interval yang ideal dalam mendesain sistem pendingin adsorpsi [12], oleh sebab itu penulis melakukan penelitian performansi silika gel pada temperatur saturasi 30⁰C dan 32⁰C. Tes kebocoran merupakan hal sangat diperhatikan, karena kevaliditasan data adsorpsi isothermal akan berpengaruh, dalam hal ini terlihat grafik tekanan akan cenderung naik pada saat temperatur konstan sehingga proses adsorpsi tidak akan dapat dihitung.

3.5. PROSEDUR PENGAMBILAN DATA

Dari gambar skema diatas, berikut adalah prosedur pengujian alat uji adsorpsi kinetic :

1. Pengujian di mulai dengan memasukkan sampel silika gel ke dalam measuring cell untuk dilakukan degasing dengan memvakum selama 60 menit pada temperatur 130⁰C, sebelum dan sesudah proses degasing sampel + Measuring cell ditimbang untuk mendapatkan berat kering sampel (dry sorbent)
2. Setelah proses degasing, measuring cell dihubungkan dengan tube yang menghubungkan antara pressure vessel dan measuring cell.
3. Setelah terhubung seluruhnya, katup 2, 3 dan 4 dibuka dan pompa vakum diaktifkan. Pompa vakum dinon-aktifkan setelah tercapai dibawah tekanan saturasi temperatur 30⁰C dan 32⁰C, sementara tekanan di MC dikondisikan 10 mbar.
4. Proses pemvakuman sistem juga dilakukan untuk memastikan agar tidak terdapat udara di dalam sistem, sehingga didapat prosentase uap – air 100%.
5. *Circulating thermal bath* dioperasikan untuk menaikkan dan kemudian menjaga temperatur pada pressure vessel dan *measuring cell* pada temperatur 30⁰C dan 32⁰C guna memastikan kondisi dalam keadaan uap-air.
6. Setelah tekanan di PV mencapai tekanan saturasi air, dan temperatur dalam keadaan isothermal, katup V2 penghubung aliran PV ke MC dibuka.

7. Proses adsorpsi isothermal berlangsung selama 1 jam.

Proses saturasi terjadi di saat tekanan didalam vapor vessel bertambah dengan tekanan uap dididih air yang rendah katup v1 dan v2 ditutup, pada kondisi tersebut temperatur Pressure vessel (PV) dan Measuring cell (MC) dijaga konstan dengan menggunakan CTB, untuk menghindari terjadinya kondensasi saat adsorpsi pipa-pipa dilapisi dengan *fluid jacket*. Dengan adanya perbedaan tekanan antara vapor vessel dan measuring cell maka uap-air akan mengalir ke measuring cell dan menempel diatas permukaan silika gell, kondisi isothermal tersebut tetap dengan alasan terjadinya adsorpsi kinetic bukan dikarenakan oleh perbedaan temperatur.

Pada rentang waktu tersebut perubahan tekanan persatuan waktu direkam oleh komputer. Dengan mendapatkan data perubahan tekanan pada temperatur konstan yang ada di PV dan MC kita dapat mengetahui laju adsorpsi dan massa yang ada di adsorben persatuan waktu dengan pendekatan persamaan :

$$p V = m R T \quad (3.8)$$

$$p \frac{V}{m} = R T \quad (3.9)$$

$$m = \frac{p V}{R T} \quad (3.10)$$

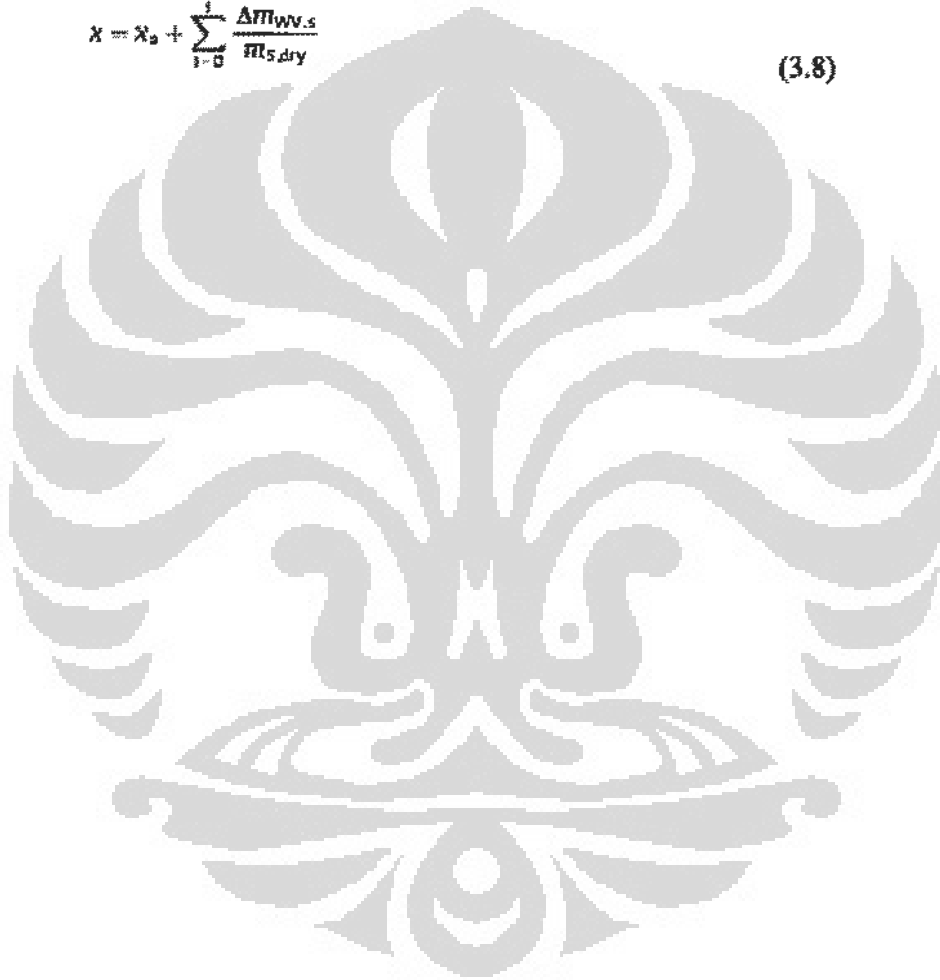
Maka perubahan laju massa persatuan waktu di measuring cell adalah :

$$\frac{dm_{wv,mc}}{dt} = |\dot{m}_{wv,vv}| - \dot{m}_{wv,s} \quad (3.11)$$

3.6. PENGUJIAN WATER LOADING DENGAN METODE ADSORPSI KINETIK VOLUMETRIK

Kemampuan atau kapasitas adsorpsi adsorben ini biasa disebut sebagai water loading. Besarnya kapasitas adsorpsi uap-air, biasa dinyatakan dalam satuan ($\text{mg}/\text{gr}_{\text{adsorben}}$) versus waktu (s) yang diperlukan untuk proses adsorpsi. Seringkali kapasitas adsorpsi dinyatakan dalam variasi waktu, ditulis dalam bentuk tanpa dimensi atau *dimensionless water loading* yang dinyatakan dalam persamaan :

$$X = X_0 + \sum_{i=0}^t \frac{\Delta m_{wv,s}}{m_{s,dry}} \quad (3.8)$$



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

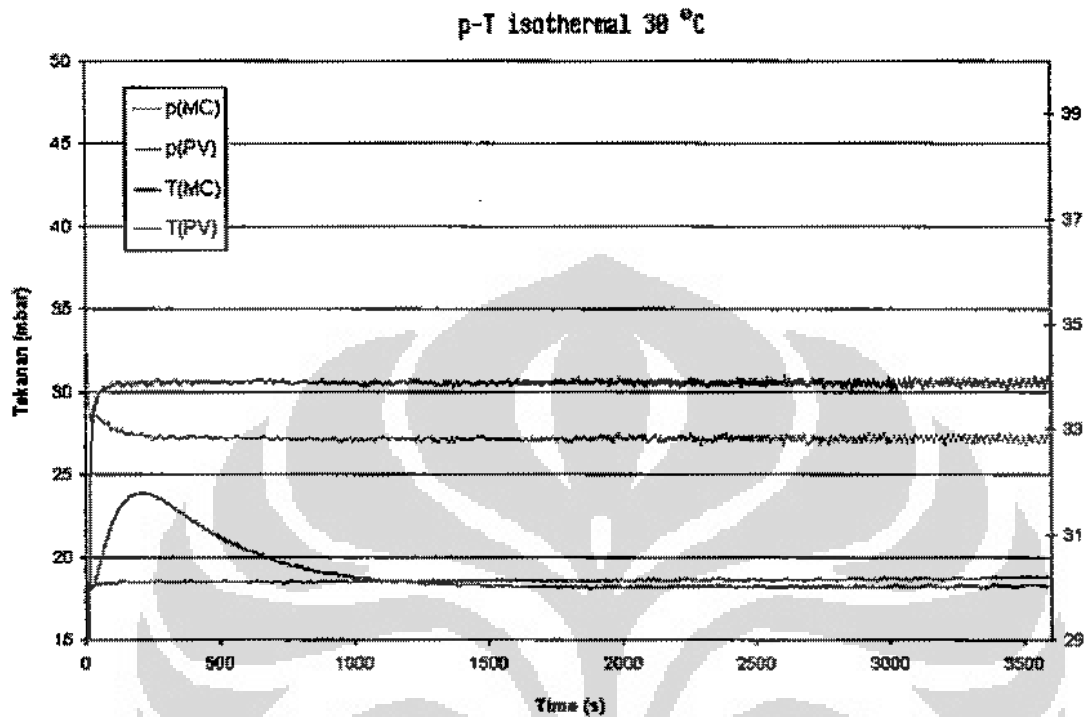
4.1.PENGULANGAN DATA

Untuk menjamin pembacaan data pada kondisi yang hampir sama maka dilakukan pengulangan data sebanyak 3 kali pada masing – masing temperatur 30°C dan 32 °C. Pengulangan data sebanyak tiga kali adalah untuk memastikan kecenderungan data ketiga mendekati salah satu dari dua data yang berbeda, sehingga akan didapat data yang sama pada dua kali perulangan dan data tersebut dapat dipertanggung-jawabkan. Pada perulangan pengambilan data diusahakan pembukaan katup V2 pada kondisi tekanan yang sama, yaitu tekanan saturasi air di *Pressure vessel* pada temperatur isothermal 30°C dan 32 °C (42,5 dan 47,6 mbar) dan tekanan 8 mbar di *measuring cell*.

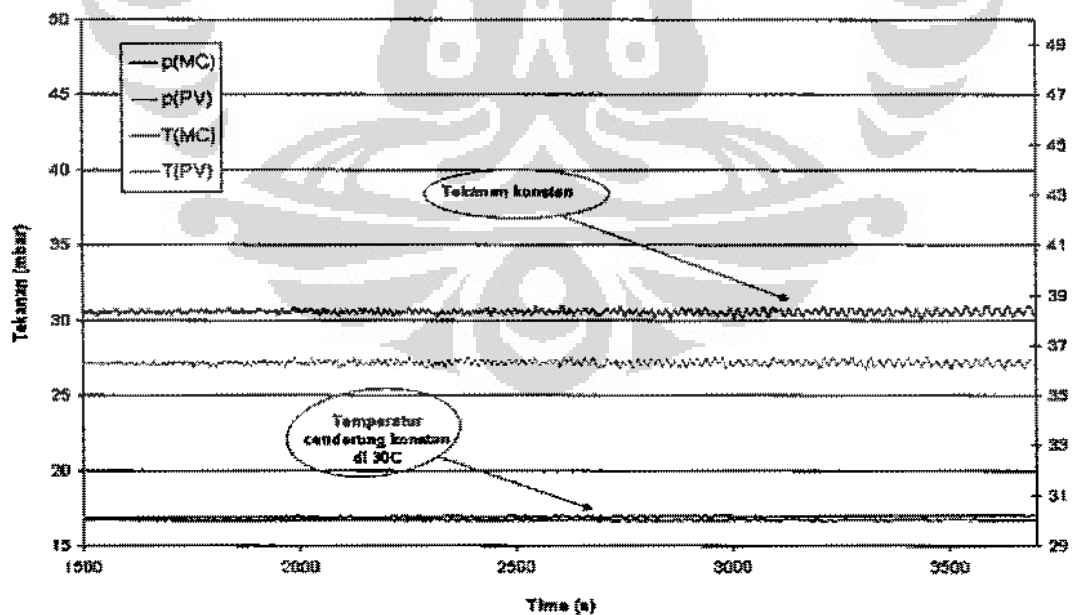
Ditentukannya tekanan 8 mbar di *measuring cell* adalah pertimbangan tingkat kestabilan alat ukur dalam membaca tekanan, dan posisi tersebut sudah dianggap vakum (0,008 bar). Pada penelitian ini variasi temperatur yang diuji adalah 30°C dan 32 °C dan sebagai pelengkap perbandingan penulis juga menguji pada kondisi isothermal 35 °C. Penentuan pengambilan data pada variasi temperatur di 30°C, 32°C dan 35°C adalah temperatur adsorpsi dan desorpsi di aplikasi teknik pendingin

4.2. ANALISA GRAFIK

Berikut adalah grafik tekanan pada keadaan isothermal 30°C dengan sampel silika gel 5 gram.



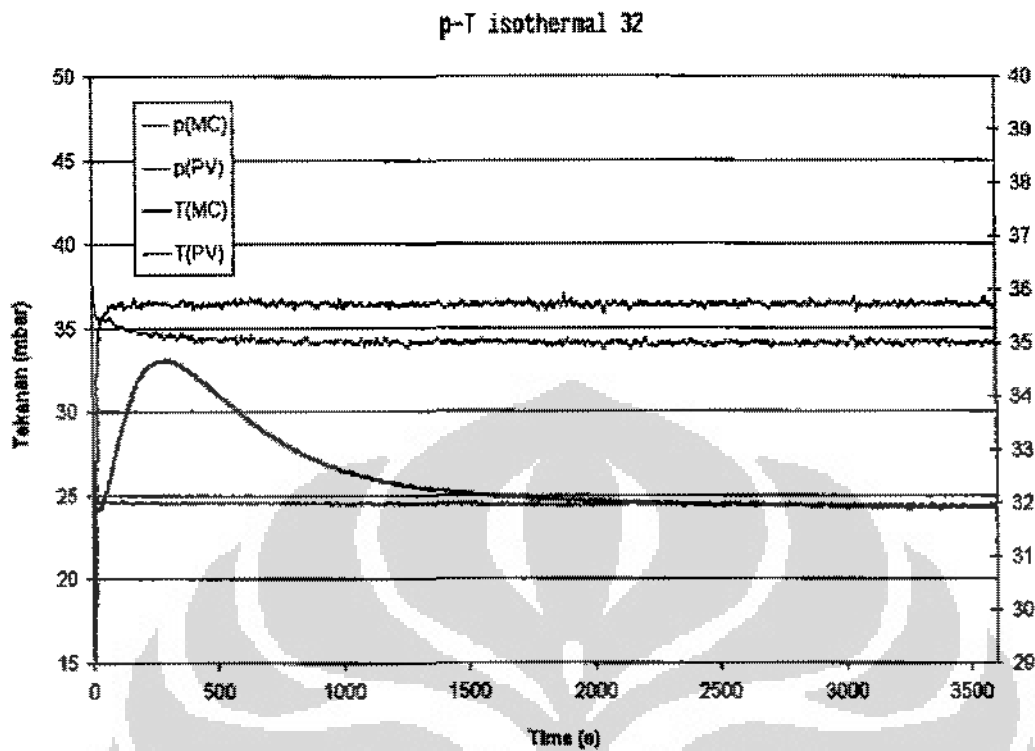
Grafik 4.1. Temperatur dan tekanan terhadap waktu pada kondisi isothermal 30°C



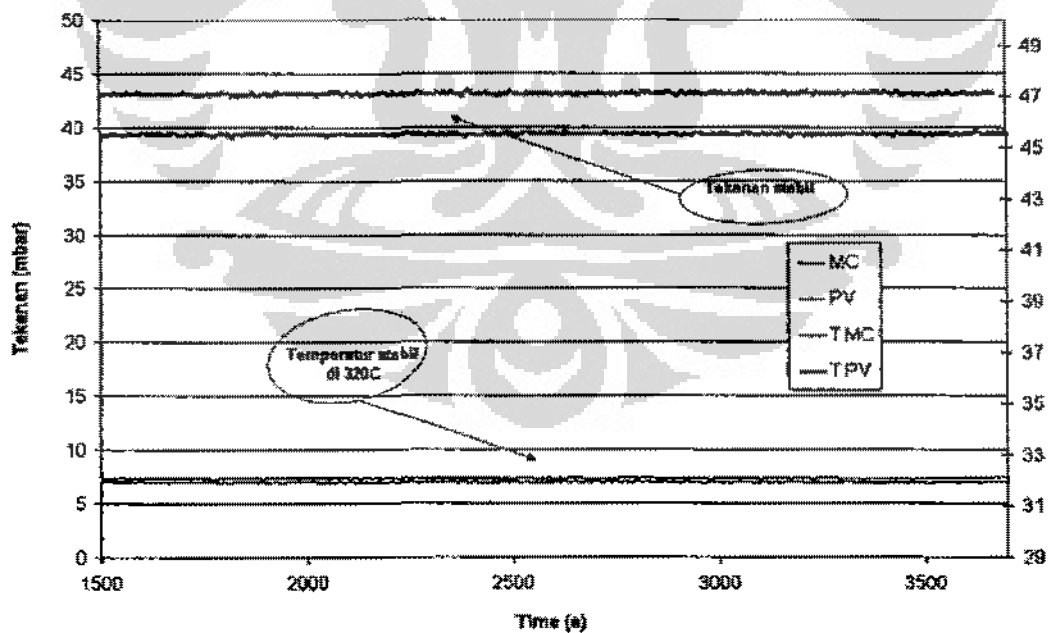
Grafik 4.2. Kestabilan tekanan dan temperatur di isothermal 30°C

Temperatur di Pressure vessel dan measuring cell cenderung konstan begitu juga dengan tekanan sehingga dapat disimpulkan bahwasannya selama proses adsorpsi tidak terjadi kebocoran. Proses adsorpsi diatas adalah isothermal hal tersebut dibuktikan dengan kestabilan temperatur PV ($0.249 \pm 4,65E^{-05}$) dan MC ($1,8 \pm 3.4E^{-04}$). Dari grafik diatas tampak proses awal pembukaan katup pada temperatur yang sama yaitu 30°C dengan tekanan di PV 32,5 mbar dan di MC 8 mbar, Temperatur adsorben tidak konstan diawal pembukaan katup dimana naik seketika dan kemudian turun menuju kondisi isothermal. Kenaikan temperatur pada awal adsorpsi di measuring disebabkan oleh *heat adsorption* yaitu efek pelepasan panas yang disebabkan oleh kenaikan tekanan di dalam *measuring cell*.

Kenaikan temperatur yang tinggi di measuring cell dapat mempengaruhi besarnya penurunan tekanan atau besarnya kapasitas adsorpsi, dan setelah mencapai titik puncaknya kemudian perlahan-lahan turun dan pada saat itulah terjadinya proses adsorpsi. Silika gel adalah bersifat *mesoporous*, dan mempunyai ikatan yang lemah (*van der waals*) dengan adsorbat pasangannya sehingga diferensiasi temperatur dan tekanan sedikit saja di measuring cell akan berpengaruh terhadap proses ad/desorpsi silika gel dengan uap-air. Pasangan ini sangat mudah diregenerasi, hal tersebut cocok digunakan dalam aplikasi di bidang teknik pendingin. Pengkondisian temperatur konstan, baik di dalam sistem maupun disekitarnya sangat berperan penting yang mana dibuktikan dengan lurusnya garis horizontal pada temperatur.

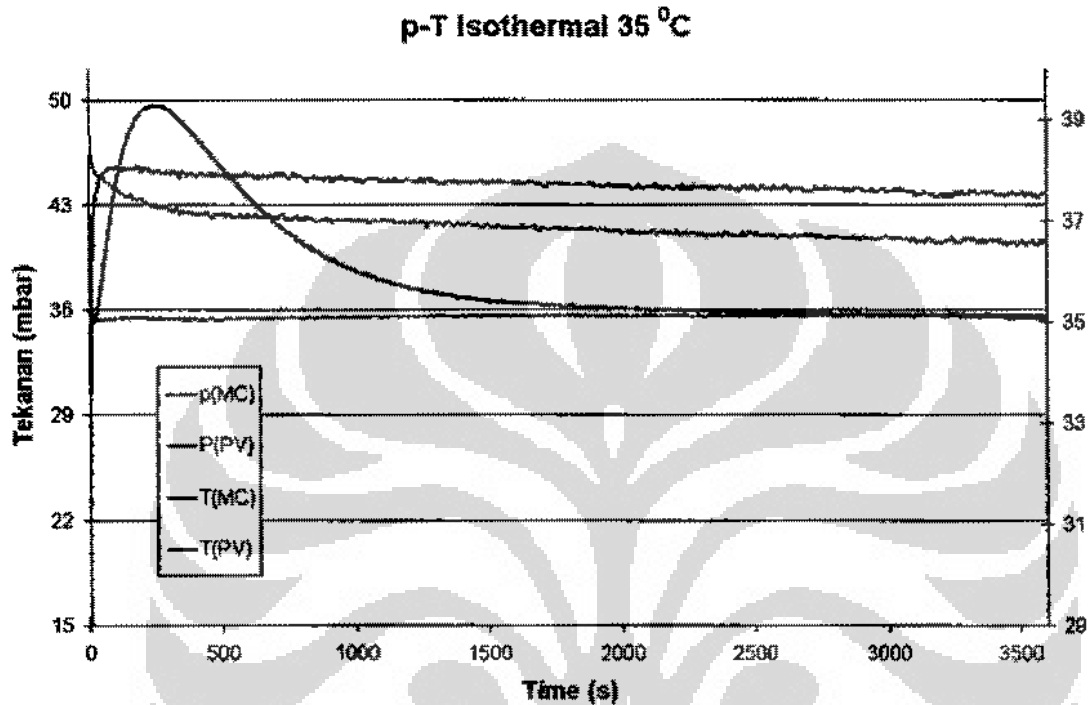


Grafik 4.3. Temperatur dan tekanan terhadap waktu pada kondisi isothermal 32°C di PV dan MC.



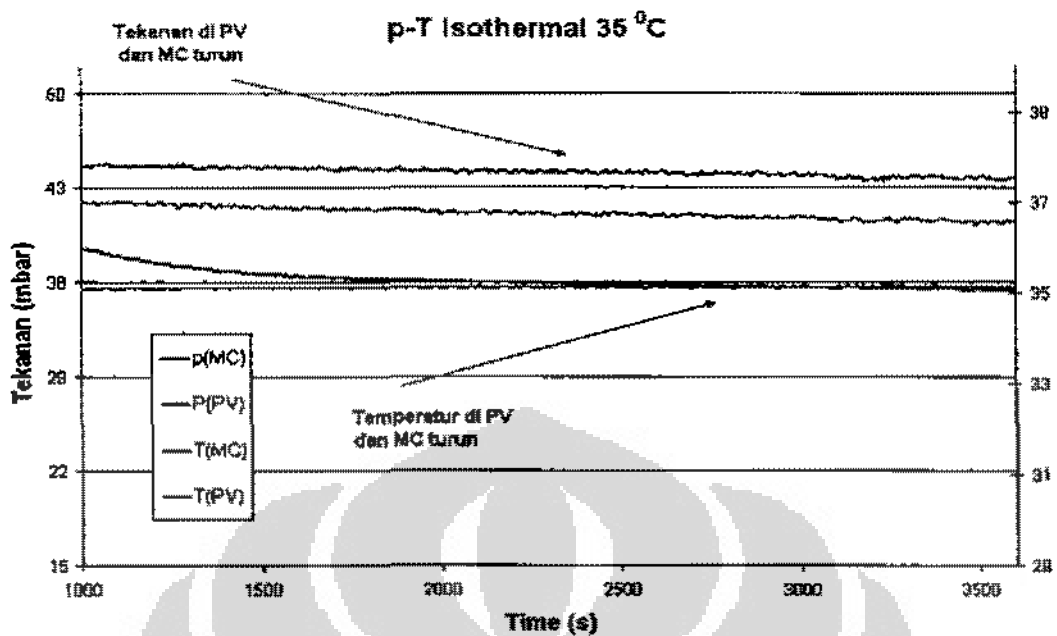
Grafik 4.4. Kestabilan tekanan dan temperatur di isothermal 32°C

Dari grafik diatas tampak proses awal pembukaan katup pada temperatur yang sama yaitu 32 °C dengan tekanan di PV 37,6 mbar dan di MC 8 mbar. Proses adsorpsi diatas adalah isothermal dikarenakan kestabilan temperatur PV ($0,2 \pm 2,46.E^{-05}$) dan MC ($2,86 \pm 3,5.E^{-04}$).



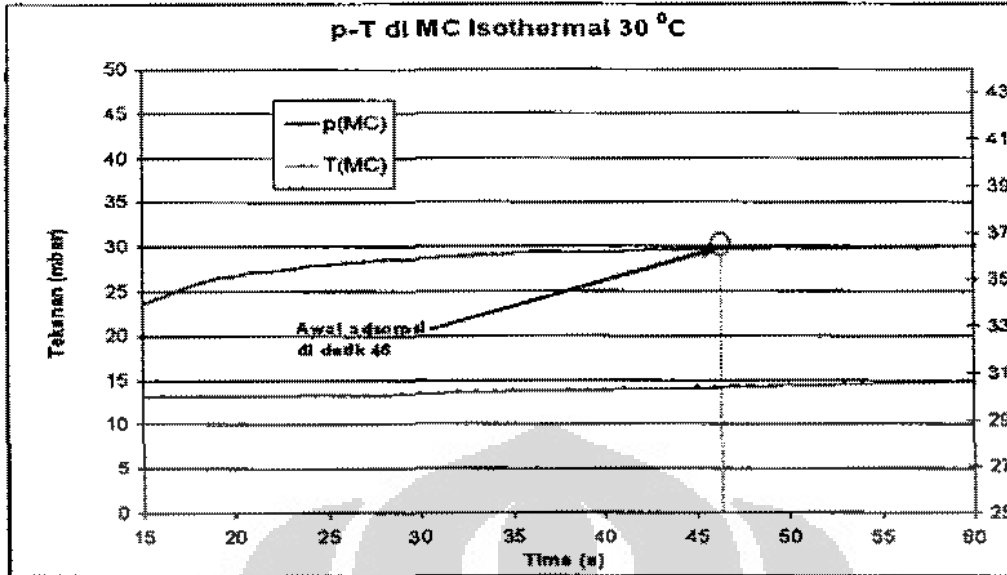
Grafik 4.5. p-T pada kondisi isothermal 35 °C

Pada grafik kondisi isothermal 35 0C terjadi penurunan tekanan yang cukup drastis dikarenakan temperatur di measuring juga cenderung turun. Efek penurunan tekanan di measuring cell akan berpengaruh kepada besarnya kapasitas penyerapan yang dapat dilihat pada grafik kapasitas penyerapan dibawah

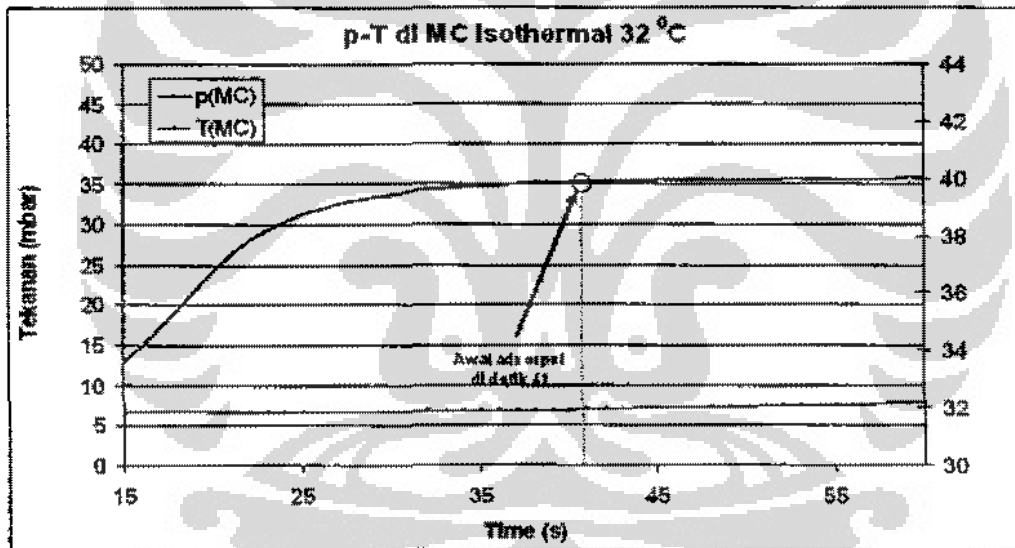


Grafik 4.6. Penurunan p-T di MC dan PV pada kondisi isothermal 35 °C

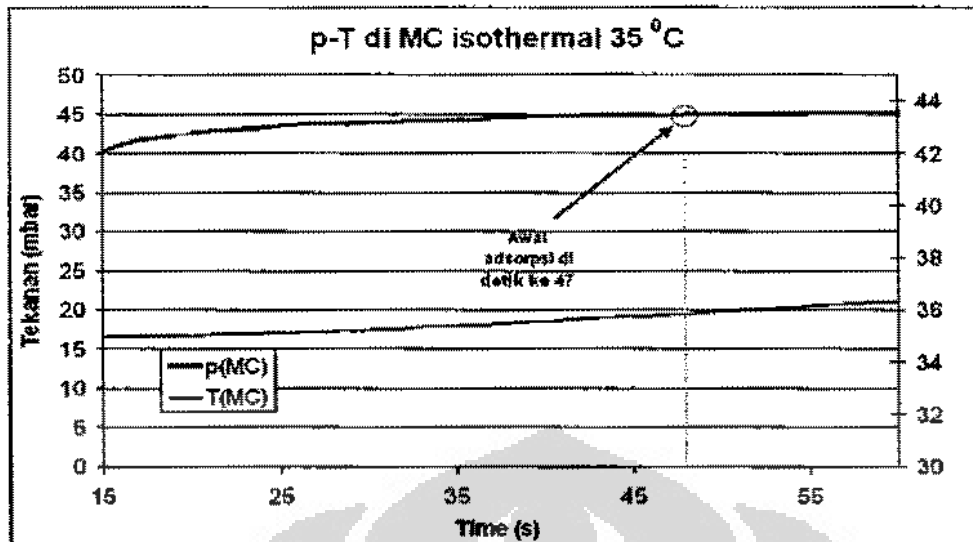
Fenomena diatas menunjukkan dengan terjadinya penurunan temperatur di *measuring cell* akan berdampak pada penurunan tekanan juga. Penurunan tekanan di *measuring cell* akan menambah besar kapasitas penyerapan adsorben silika gel (SiO_2) terhadap adsorbat pasangannya. Proses terjadinya adsorpsi pada isothermal 35 °C sangat berbeda dengan dua data kondisi isothermal 30 °C dan 32 °C yang mengalami kestabilan temperatur dan tekanan.



Grafik 4.7. Titik awal terjadinya adsorpsi pada isothermal 30 °C



Grafik 4.8. Titik awal terjadinya adsorpsi pada isothermal 32°C dan 35°C

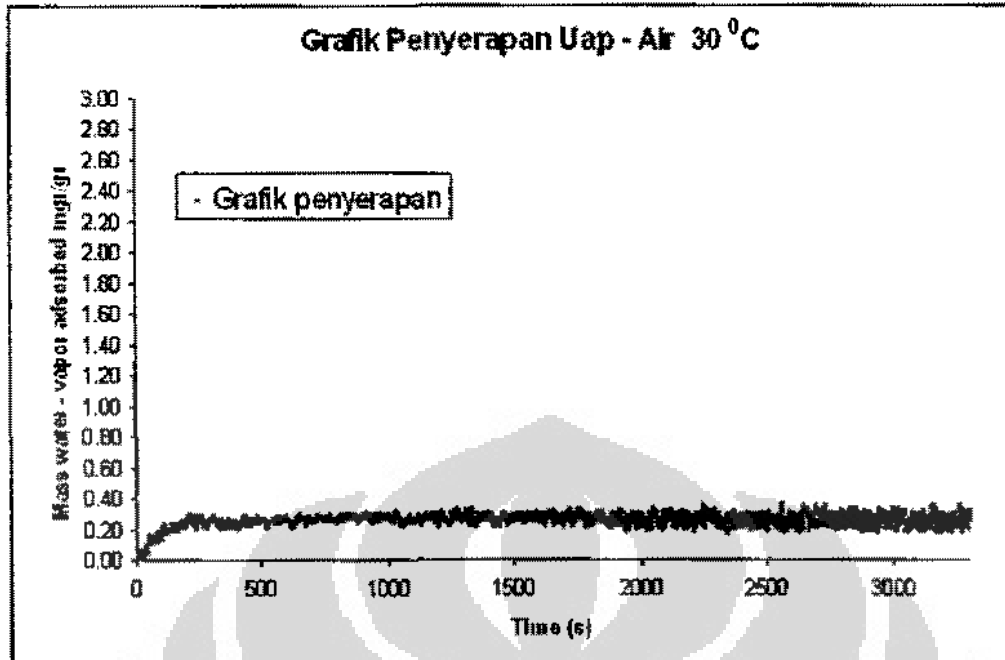


Grafik 4.9. Titik awa terjadinya adsorpsi pada isothermal 35⁰C

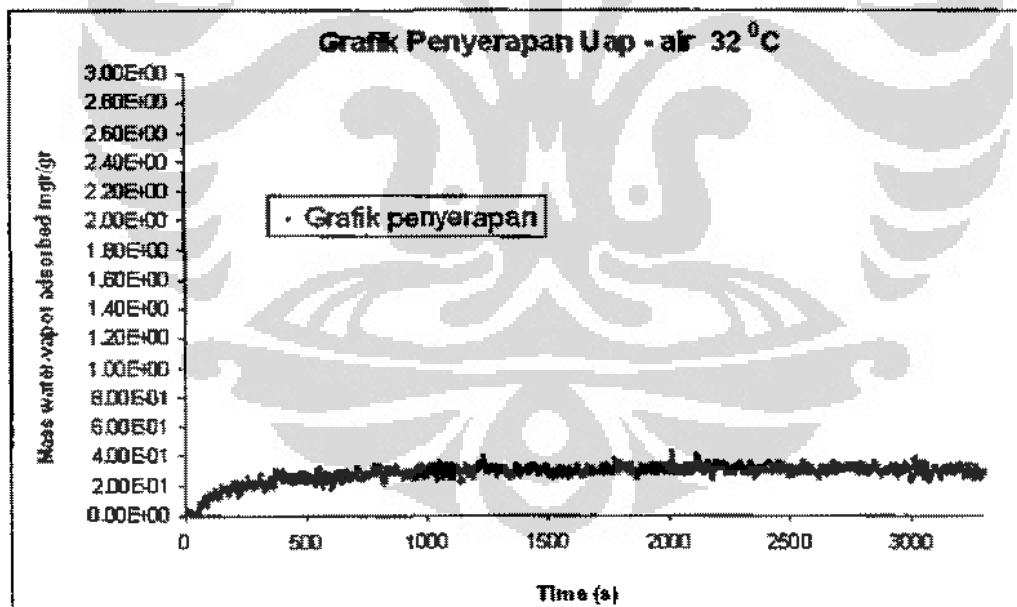
Fenomena terjadinya awal adsorpsi pada temperatur 30⁰C adalah pada detik ke 46 s, untuk temperatur isothermal 32⁰C yaitu dimulai pada detik 41 s, dan pada kondisi isothermal 35⁰C terjadi di detik 47. Sehingga proses terjadinya penyerapan silika gel terhadap uap-air dimulai pada menit pertama.

4.3.KAPASITAS PENYERAPAN

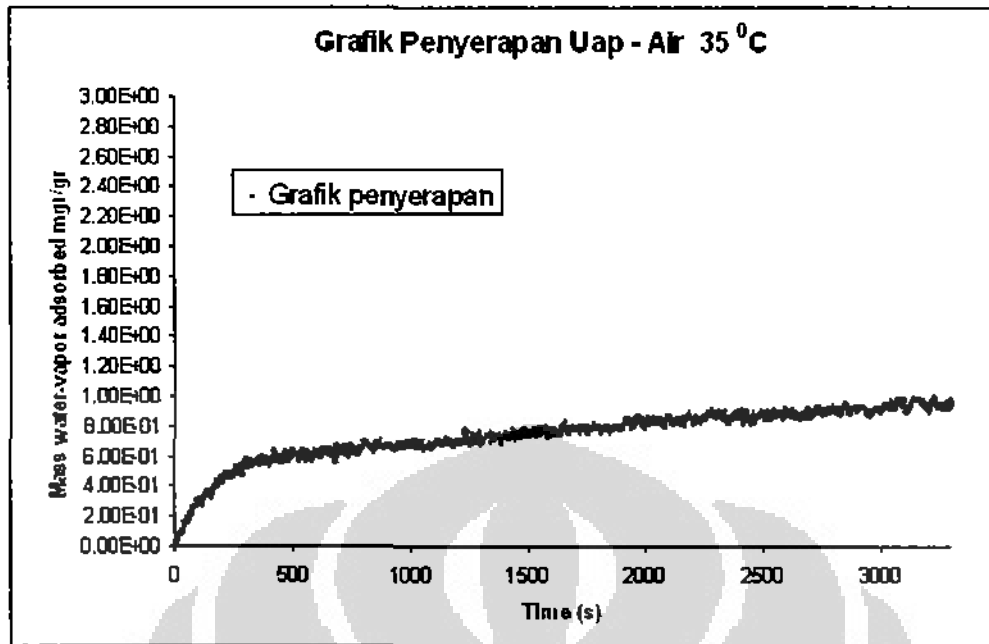
Dari gambar terlihat bahwa semakin besar tekanan pada adsorbat maka semakin besar pula kapasitas penyerapannya. Karena semakin besar tekanan yang diberikan pada adsorbat maka molekul-molekul dari adsorbat akan semakin banyak yang terdorong masuk ke dalam pori-pori dari adsorben yang menyebabkan semakin banyak pula jumlah adsorbat yang menempel pada permukaan adsorben. Hal tersebutlah yang menyebabkan meningkatnya kapasitas penyerapan dari adsorben.



Grafik 4.10. Kapasitas penyerapan uap – air pada kondisi isotermal 30^oC

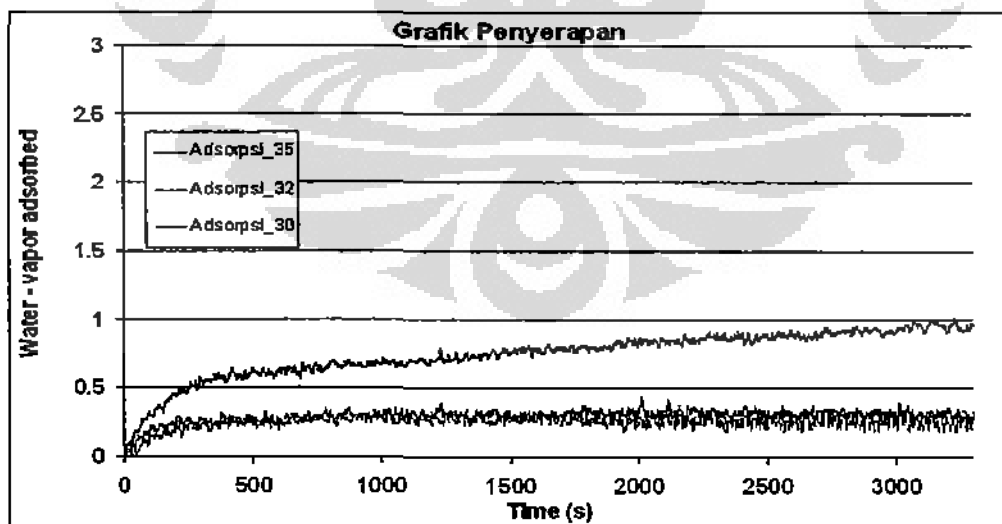


Grafik 4.11. Kapasitas penyerapan uap-air pada kondisi isotermal 32^oC

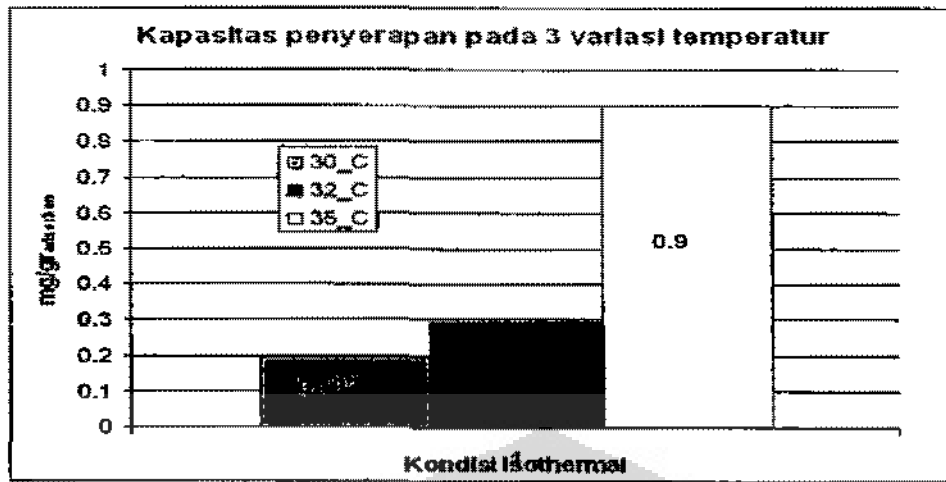


Grafik 4.12. Kapasitas penyerapan pada isoterma 35⁰C

Kapasitas penyerapan uap-air terhadap adsorben silika gel di temperatur 30⁰C adalah 0,197 mg/gr_{adsorben} pada detik ke 46 s, pada temperatur 32⁰C adalah 0,296 mg/gr_{adsorben} pada detik ke 41 s, sedangkan di 35⁰C adalah 0,9 mg/gr_{adsorben}, sehingga dapat disimpulkan kapasitas penyerapan uap-air terhadap silika gel (SiO₂) yang terbesar yaitu pada kondisi isoterma 35⁰C dimana factor penyebabnya temperatur cenderung turun di measuring cell.



Grafik 4.13. Grafik penyerapan uap-air pada isoterma 30⁰C, 32⁰C dan 35⁰C



Grafik 4.14. Kapasitas penyerapan pada isothermal 30°C , 32°C dan 35°C



BAB 5

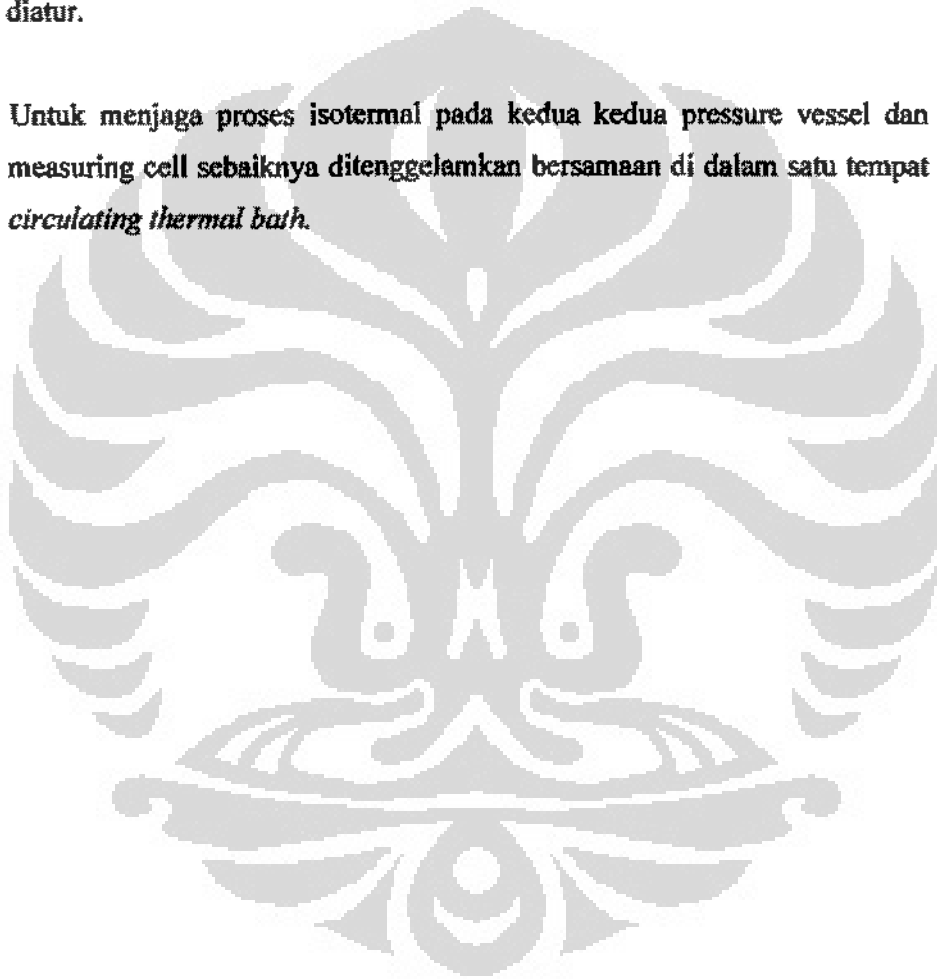
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

- Kapasitas penyerapan uap-air terhadap silika gel (SiO_2) tipe butiran 2 – 5 mm produksi Merck KGaA memiliki nilai yang berbeda pada variasi temperatur isotermal 30°C , 32°C dan 35°C yaitu $0,197 \text{ mg/gr}_{\text{adsorben}}$, $0,296 \text{ mg/gr}_{\text{adsorben}}$ dan $0,9 \text{ mg/gr}_{\text{adsorben}}$.
- Penurunan tekanan setelah mencapai titik puncak di Measuring cell akan berpengaruh terhadap besarnya kapasitas penyerapan oleh adsorben terlihat pada grafik pengujian temperatur isotermal 35°C .
- Kenaikan dan penurunan temperatur di *measuring cell* sangat besar pengaruhnya terhadap proses ad/desorpsi silika gel sebagai adsorben dengan uap-air sebagai adsorbat pasangannya, mengingat silika gel bersifat mesoporous dan juga ikatan yang terjadi adalah ikatan yang lemah.
- Efek penurunan temperatur di *measuring cell* dapat meningkatkan besarnya kapasitas adsorpsi silika gel terhadap adsorbat pasangannya.

5.2. SARAN

- Untuk mengukur tekanan rendah sebaiknya menggunakan pressure transmitter dengan skala tekanan yang rendah pula.
- Perlu adanya penambahan katup sebelum masuk ke pressure transmitter agar pengontrolan tekanan di dalam measuring cell bisa dengan mudah diatur.
- Untuk menjaga proses isothermal pada kedua kedua pressure vessel dan measuring cell sebaiknya ditenggelamkan bersamaan di dalam satu tempat *circulating thermal bath*.



DAFTAR PUSTAKA

- Dawoud, Belal, Yuri Aristov, 2003, *Experimental Study on The Kinetics of Water Vapor Sorption on Selective Water Sorbent, Silika gel and Alumina Under Typical Operating Conditions of Sorption Heat Pumps*, International Journal of Heat and Mass Transfer, pp 273-281 [1]
- El-Sharkawy, Ibrahim I, Bidyut B. Saha , Shigeru Koyama , Kim Choon Ng , *A study on the kinetics of ethanol-activated carbon fiber: Theory and experiments*, International Journal of Heat and Mass Transfer 49 (2006) 3104–3110 [2]
- El-Sharkawy, Ibrahim I., He Jing Ming, Kim Choon Ng., Christopher Yap, and Bidyut Baran Saha, *Adsorption Equilibrium and Kinetics of Gasoline Vapors onto Carbon -Based Adsorbents*, J. Chem. Eng. Data 2008, 53, 41–47 [3]
- Elyas, Anas, 2006, *Experimentelle Untersuchung der Adsorptions- und Desorptionskinetik von Wasserdampf auf losen Pellets von SWS -IL unter den Betriebsbedingungen von dsorptionswärmepumpen*, Tesis, Rheinisch - Westfälische Technische Hochschule, Aachen [4]
- 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 [5]
- info@solarnext.de www.solarnext.de [6]
- Herawaty, 1993, *Sifat-Sifat Permukaan dan Proses Katalisis* , Skripsi, Jurusan Gas dan Petrokimia FTUI, Depok [7]
- Hines, A. L and R. Madrox, 1985, *Mass Transfer Fundamental and Applications*, Praticce -Hall, New Jersey [8]
- Keller, Jürgen U, Erich Robens, Cedric du Fresne von Hohenesche, 2002 *Thermogravimetrik and Sorption Measurement Techniques/Instruments*, Journal of Universität Siegen GH, D - 57068 Siegen, Germany [9]
- Kurmi, R.S , J.K.Gupta, 1980, *Machine Design* , Eurasia Publishing House (Pvt.) LTD, New Delhi [10]
- Nasruddin, 2005, *Dynamic Modeling and Simulation of a two Bed Silicagel-Water Adsorption Chille* , Disertasi, Rheinisch - Westfälische Technische Hochschule, Aachen [11]

Research report of the International Joint Research Grant Project for FY2003 [12]

Rouquerol, Jean, François Rouquerol and Kenneth Sing, 1998, *Adsorption By Powders And Porous Solids*, Academic Press, UK [13]

Schnable, Lena 2009, Experimentelle und numerische Untersuchung der Adsorptionskinetik von Wasser an Adsorbens-Metallverbundstrukturen [14]

Yang, R.T, 2003 *Adsorbents : fundamental and applications*. A Jhon wiley & sons, inc., publication [15]

Suryawan, Bambang, 2004, *Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap-air*, Disertasi, FTUI, Depok [16].

Sudibandriyo, M, 2007, Metode baru prediksi kapasitas adsorpsi gas tekanan tinggi, Karya ilmiah Departemen teknik kimia fakultas teknik Universitas Indonesia. [17].

Steven Weintraub “Demystifying silica gel” [18]

Suzuki Motoyuki, *Adsorption Engineering*, 1990, Kodansha Ltd, Tokyo [19]

Wark, Kenneth, 1999, *Thermodynamics*, McGraw-Hills Book Co, Singapore. [20]

Lampiran 1. Perhitungan Volume *Pressure vessel* dan *Measuring cell*

Pengujian volume tuang *Pressure vessel* _1:

Jam : 15 : 00

Massa isi air : 10 kg

Tair : 27,4 °C

Rho : 996,4 kg/cm³

Massa : 8,5 kg

Selisih : 1500 g

Volume kosong : $1500 \text{ gr} / 996,4 \cdot 10^3$
 $: 1,505 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 1,5054 \text{ l}$

Pengujian volume tuang *Pressure vessel* _2:

Jam : 09 : 30

Berat kosong : 8,498 kg

Berat tabung + air : 9,998 kg

Tair : 26 °C

Rho : 996,79 kg/cm³

Massa : 8,5 kg

Selisih : 1500 g

Volume kosong : $1500 \text{ gr} / 996,79 \cdot 10^3$
 $: 1,5048 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 1,5054 \text{ liter}$

Pengujian volume tuang *Pressure vessel* _2:

Jam : 10 : 20

Berat kosong : 8,500 kg

Berat tabung + air : 10,002 kg

Tair : 26,4 °C

Rho : 996,68 kg/cm³

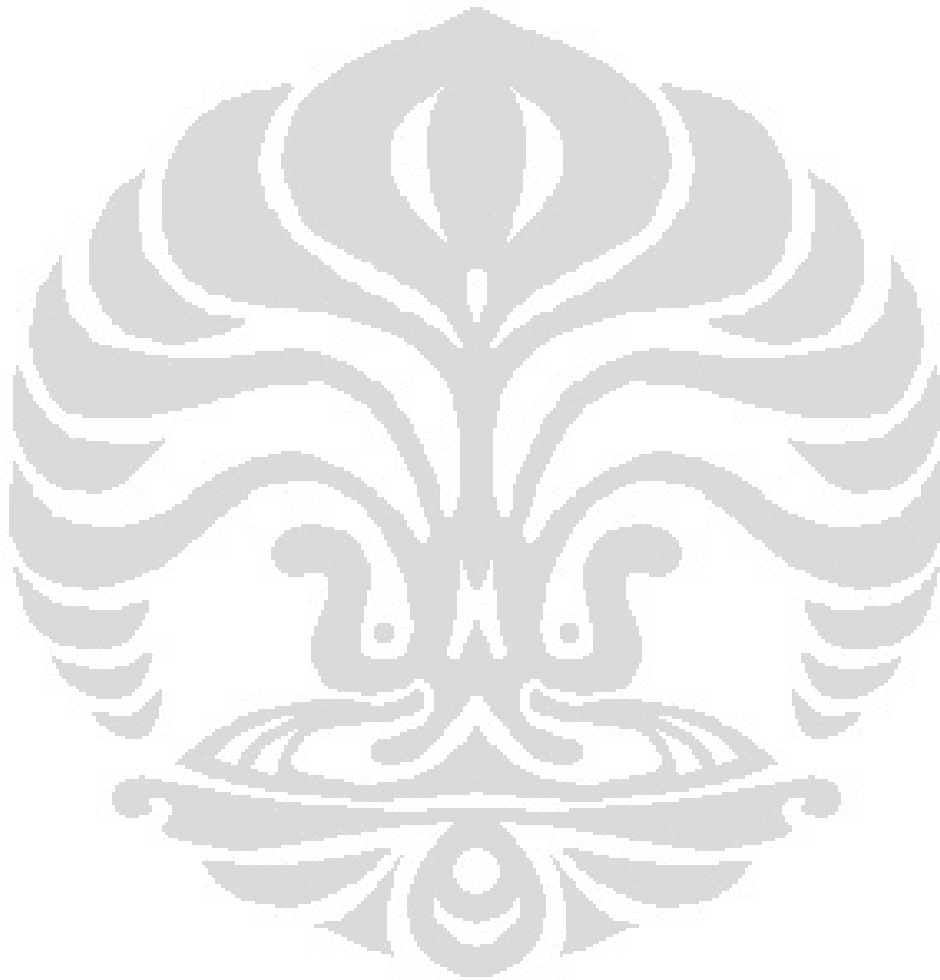
Massa : 8,5 kg

Selisih : 1502 g

Volume kosong : $1502 \text{ gr}/996,68 \cdot 10^3$

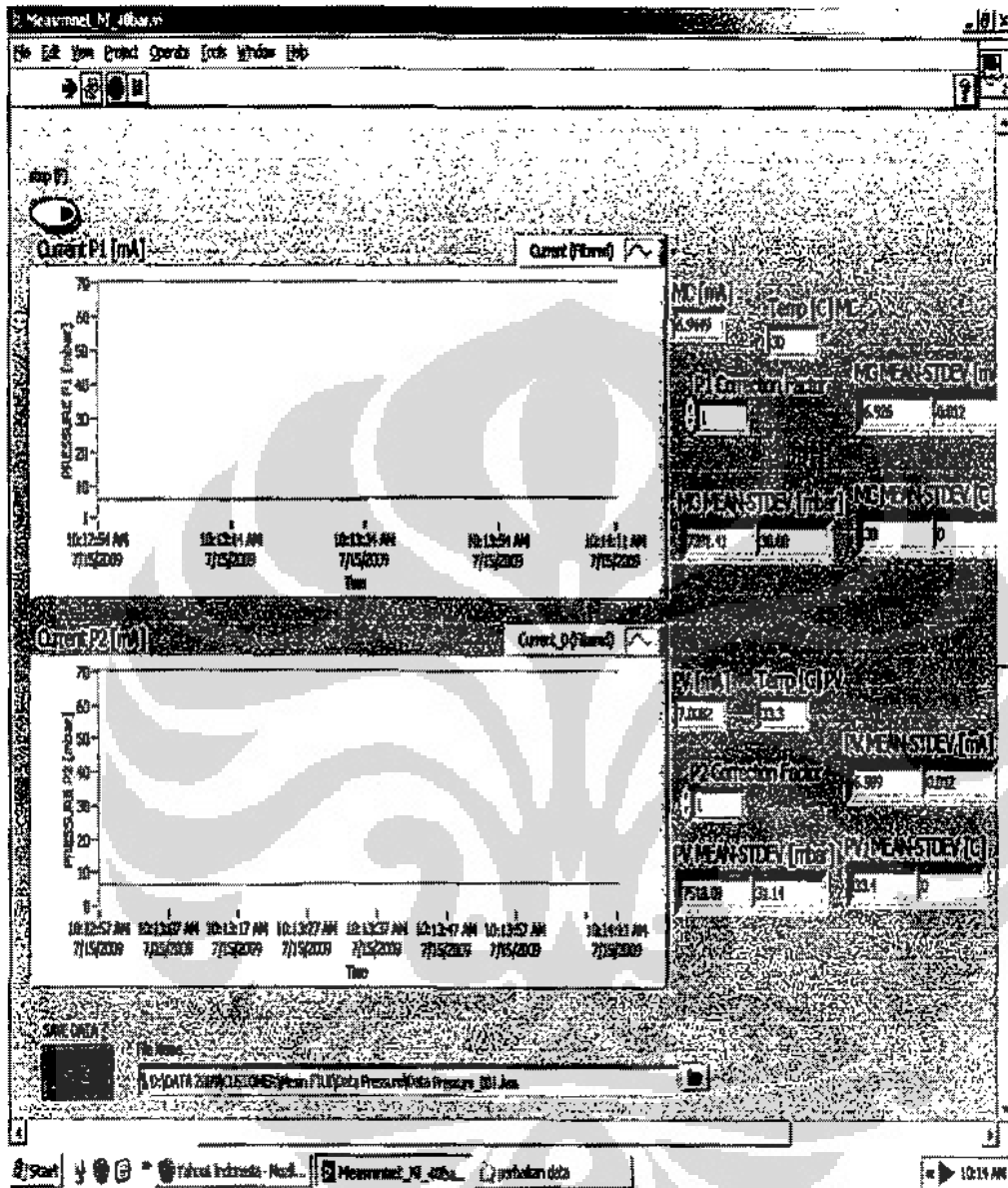
: $1,5048 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 1,507 \text{ liter}$

Rata – rata volume pressure vessel : $1,5057 \pm 1 \cdot 10^{-4} \text{ liter}$

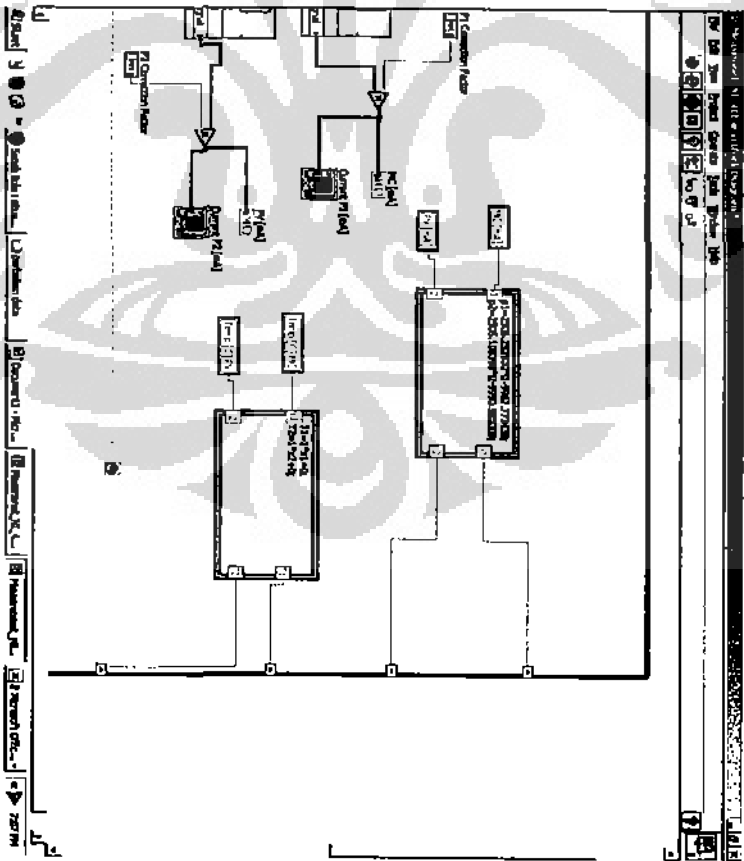
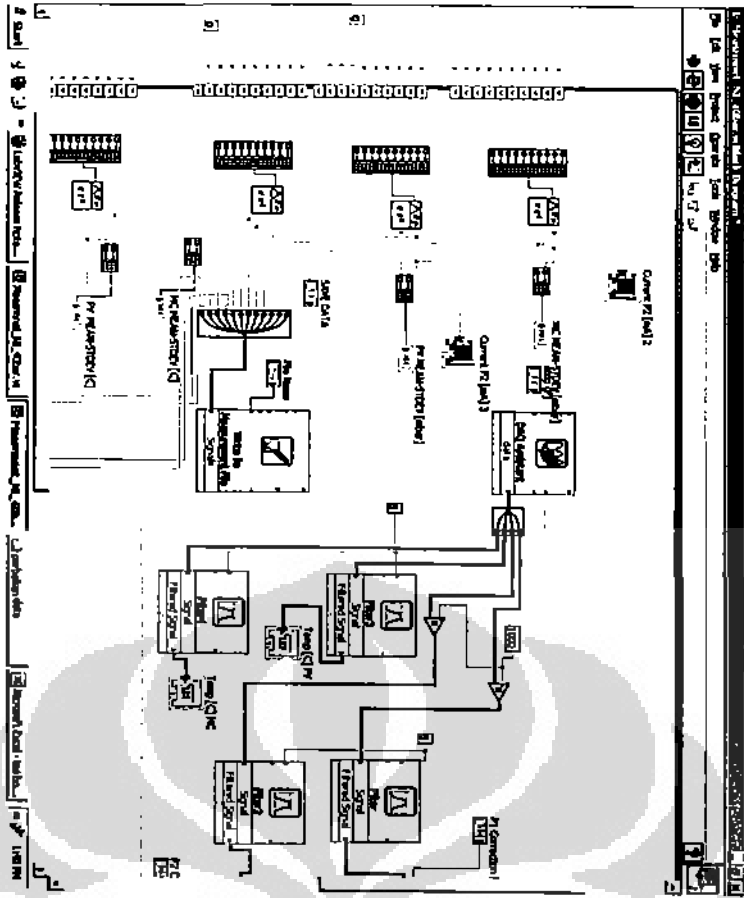


Universitas Indonesia

Lampiran 2. Tampilan Graphical User Interface (GUI) Prog. Labview 8.5



Lampiran 3. Block diagram pemrograman Labview 8.5



Lampiran 4. Perhitungan Void volume

Diketahui :

- Volume *Pressure vessel* V_{pv} = 1,057 liter
- Konstanta gas (Ru) = 0.0820575
- Kompressibility factor(z_{He,PV_0}) = 1.0023
- Kompressibility factor (z_{He,PV_n}) = 1.0022
- Tekanan akhir di *Measuring cell* = 4,84 atm

$$\begin{aligned}
 \text{- Jumlah mol } (n_i) \text{ Helium} &= \left(\frac{P_{PV_0}}{z_{He,PV_0} \cdot R \cdot T} - \frac{P_{PV_n}}{z_{He,PV_n} \cdot R \cdot T} \right) \cdot V_{PV} \\
 &= \left(\frac{5.1240184}{1,0023 \cdot 0,082057 \cdot 303,17} - \frac{4,857720}{1,002 \cdot 0,082057 \cdot 303,17} \right) \cdot (1,5057) \\
 &= 0,01605
 \end{aligned}$$

- Maka untuk mendapatkan Void volume Silika gel adalah =

$$\text{- } Void_{volume} = \left(\frac{n_i \cdot z_{HeMCn} \cdot R \cdot T}{P_{MCn}} \right)$$

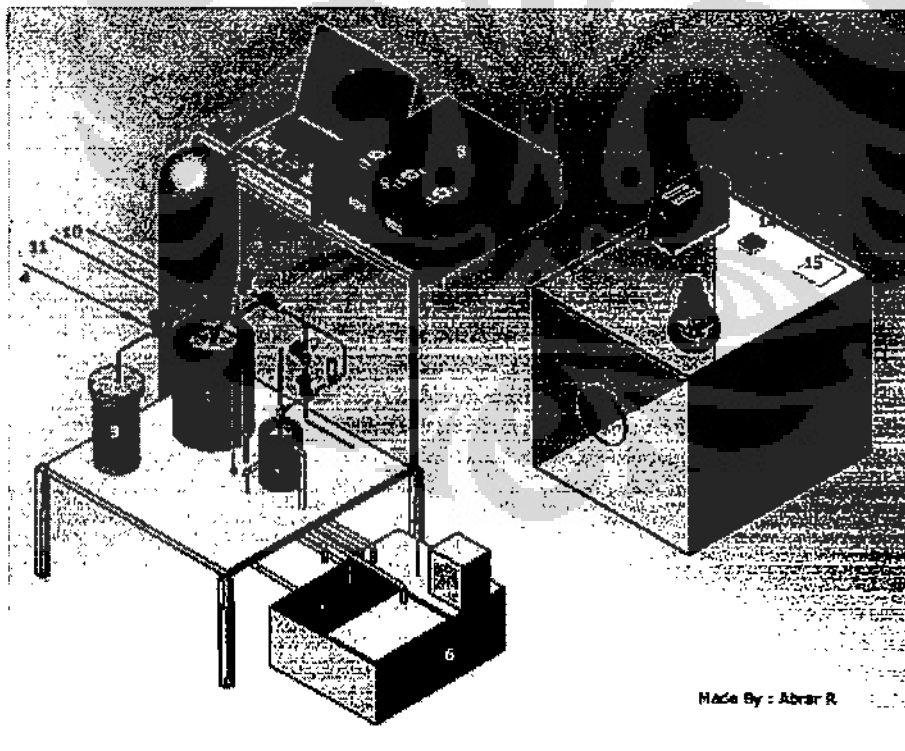
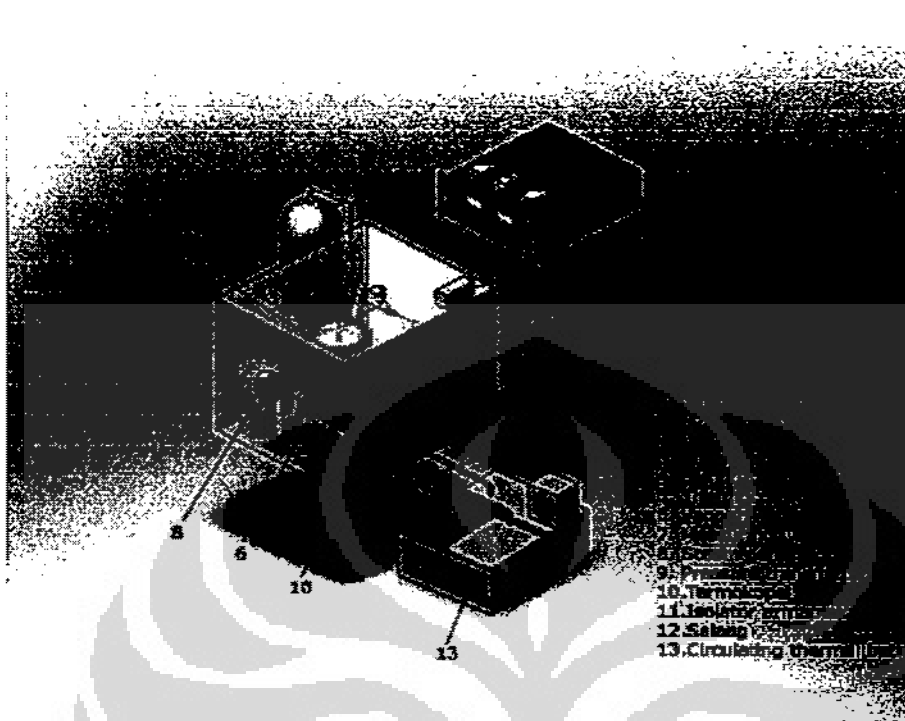
$$\begin{aligned}
 \text{- } Void_{volume} &= \left(\frac{0,01605 \cdot 1,0022 \cdot 0,0820575 \cdot 303,17}{4,844997} \right) \\
 &= 0,08259 = 82,59
 \end{aligned}$$

Perulangan dilakukan sebanyak 6 kali :

No	liter	Cm ³
1	0,0826	82,6
2	0,0853	85,3
3	0,0883	88,3
4	0,0902	90,2
5	0,0937	93,7
6	0,095	95
Rata-rata		89,18

Maka void volume silika gel (SiO_2) 5 gr yang mengisi measuring cell adalah = 89,18 \pm 2,06 cm³.

Lampiran 5. Gambar 3D Alat Uji Adsorpsi Kinetik



Universitas Indonesia

Certificate of Analysis

<http://certificates.merck.de>

Date of print: 22.04.2009

1.07735.1000 Silica gel beads, desiccant - 2 - 5 mm
Batch K36942535

Batch Values

Bulk density	78	g/100ml
Loss on drying (180 °C)	2	%
Water absorption capacity (24 hrs., 80 % relative humidity)	28	%

Test date (DD.MM.YYYY): 11.01.2007
Minimum shelf life (DD.MM.YYYY): 31.01.2012

Dr. Joachim Ruf

responsible laboratory manager quality control

This document has been produced electronically and is valid without a signature

Safety Data Sheet

According to EC Directive 91/155/EEC

Date of issue:
Supersedes edition of

12.01.2004
19.09.2000

1. Identification of the substance/preparation and of the company/undertaking

Identification of the product

Catalogue No.: 107735
Product name: Silica gel beads, desiccant ~ 2 - 5 mm

Use of the substance/preparation

Reagent for analysis
Chemical production

Company/undertaking identification

Company: Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Germany * Phone: +49 6151 72-0
Emergency telephone No.: Please contact the regional Merck representation in your country.

2. Composition/information on ingredients

silicon dioxide amorphous.

CAS-No.:	7631-86-9	EC-No.:	231-545-4
Mf:	60.09 g/mol		
Formula Hill:	O ₂ Si		

3. Hazards identification

No hazardous product as specified in Directive 67/548/EEC.

4. First aid measures

After inhalation: fresh air.
After skin contact: wash off with plenty of water. Remove contaminated clothing.
After eye contact: rinse out with plenty of water with the eyelid held wide open.
After swallowing: make victim drink plenty of water. Consult doctor if feeling unwell.

5. Fire-fighting measures

Suitable extinguishing media:
In adaption to materials stored in the immediate neighbourhood.

Special risks:
Non-combustible.

6. Accidental release measures

Person-related precautionary measures:
Avoid inhalation of dusts.

Procedures for cleaning / absorption:
Take up dry. Forward for disposal. Clean up affected area. Avoid generation of dusts.

Merck Safety Data Sheet

According to EC Directive 91/155/EEC

Catalogue No.: 107735
Product name: Silica gel beads, desiccant ~ 2 - 5 mm

7. Handling and storage

Handling:

No further requirements.

Storage:

Tightly closed. Dry. Storage temperature: no restrictions.

8. Exposure controls/personal protection

Personal protective equipment:

Protective clothing should be selected specifically for the working place, depending on concentration and quantity of the hazardous substances handled. The resistance of the protective clothing to chemicals should be ascertained with the respective supplier.

Respiratory protection: required when dusts are generated.

Eye protection: required

Hand protection:

In full contact:

Glove material: nitrile rubber
Layer thickness: 0.11 mm
Breakthrough time: > 480 Min.

In splash contact:

Glove material: nitrile rubber
Layer thickness: 0.40 mm
Breakthrough time: > 480 Min.

The protective gloves to be used must comply with the specifications of EC directive 89/686/EEC and the resultant standard EN374, for example KCL 740 Dermatril® (full contact), 730 Camatril® -Velours (splash contact). The breakthrough times stated above were determined by KCL in laboratory tests acc. to EN374 with samples of the recommended glove types.

This recommendation applies only to the product stated in the safety data sheet and supplied by us as well as to the purpose specified by us. When dissolving in or mixing with other substances and under conditions deviating from those stated in EN374 please contact the supplier of CE-approved gloves (e.g. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de).

Industrial hygiene:

Change contaminated clothing. Wash hands after working with substance.

9. Physical and chemical properties

Form: solid
Colour: colourless
Odour: odourless

pH value: not available
Melting point: not available
Boiling point: not available
Ignition temperature: not available
Flash point: not available

Merck Safety Data Sheet

According to EC Directive 91/155/EEC

Catalogue No.: 107735
Product name: Silica gel beads, desiccant ~ 2 - 5 mm

Explosion limits	lower	not available
	upper	not available
Density		not available
Bulk density		~ 750-800 kg/m ³
Solubility in water	(20 °C)	insoluble
Particle size		~ 2-5 mm

10. Stability and reactivity

Conditions to be avoided

no information available

Substances to be avoided

halogen oxides, hydrogen halides, light metals / heat, xenon hexafluoride, sodium / heat.

Hazardous decomposition products

no information available

11. Toxicological information

Acute toxicity

Quantitative data on the toxicity of this product are not available.

Further toxicological information

This is a generally physiologically inert substance that displays no hazardous properties after oral intake and skin contact and after inhalation of its dusts as long as the total dust limit for silicic acid is adhered to. Intensive contact with the eye may lead to irritation symptoms.

Further data

The product should be handled with the care usual when dealing with chemicals.

12. Ecological information

Ecotoxic effects:

Quantitative data on the ecological effect of this product are not available.

Further ecologic data:

No ecological problems are to be expected when the product is handled and used with due care and attention.

13. Disposal considerations

Product:

Chemicals must be disposed of in compliance with the respective national regulations. Under www.reto-logistik.de you will find country- and substance-specific information as well as contact partners.

Merck Safety Data Sheet

According to EC Directive 91/155/EEC

Catalogue No.: 107735
Product name: Silica gel beads, desiccant ~ 2 - 5 mm

Packaging:

Merck product packaging must be disposed of in compliance with the country-specific regulations or must be passed to a packaging return system. Under www.retrologistik.de you will find special information on the respective national conditions as well as contact partners.

14. Transport information

Not subject to transport regulations.

15. Regulatory information

Labelling according to EC Directives

Symbol: ---
R-phrases: ---
S-phrases: ---

16. Other information

Reason for alteration

General update.

Regional representation:

This information is given on the authorised Safety Data Sheet for your country.

The information contained herein is based on the present state of our knowledge. It characterizes the product with regard to the appropriate safety precautions. It does not represent a guarantee of the properties of the product.