



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PROSES ADSORPSI DENGAN VARIASI BENTUK
KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN DAN METANOL
SEBAGAI ADSORBAT UNTUK APLIKASI PENDINGIN
ALTERNATIF**

SKRIPSI

MUHAMAD FADILLAH UTAMA PUTERA

0706198713

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PROSES ADSORPSI DENGAN VARIASI BENTUK
KARBON AKTIF SEBAGAI ADSORBEN DAN METANOL
SEBAGAI ADSORBAT UNTUK APLIKASI PENDINGIN
ALTERNATIF**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

MUHAMAD FADILLAH UTAMA PUTERA

0706198713

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul:

**ANALISA PROSES ADSORPSI DENGAN VARIASI BENTUK KARBON
AKTIF SEBAGAI ADSORBEN DAN METANOL SEBAGAI ADSORBAT
UNTUK APLIKASI PENDINGIN ALTERNATIF**

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan tiruan atau duplikasi 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. Penulisan tugas akhir ini dibuat bersama **Muhammad Riyadh** dengan judul tugas akhir “**Analisa Proses Adsorpsi dengan Variasi Bentuk Silika Gel sebagai Adsorben dan Air sebagai Adsorbat untuk Aplikasi Pendingin Alternatif**” sehingga terdapat kata-kata atau kalimat yang sama.

Nama : Muhamad Fadillah Utama Putera

NPM : 0706198713

Tanda Tangan :

Tanggal : 6 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Muhamad Fadillah Utama Putera
NPM : 0706198713
Program studi : Teknik Mesin
Judul skripsi : Analisa Proses Adsorpsi Dengan Variasi
Bentuk Karbon Aktif Sebagai Adsorben dan
Metanol Sebagai Adsorbat Untuk Aplikasi
Pendingin Alternatif

Telah berhasil dipertahankan dihadapan 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, MEng (.....)
Penguji : Dr. Ir. M Idrus Alhamid (.....)
Penguji : Dr. Ir. Budihardjo, Dipl-Ing (.....)

Ditetapkan di : DEPOK

Tanggal : 6 JULI 2009

KATA PENGANTAR

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

- (1) Dr.-Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Pak Awal, Pak Darwin dan Pak Abrar selaku senior Lab.Pendingin atas diskusi dan tanya jawabnya;
- (3) Papa dan Mama serta seluruh keluarga besar yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (4) Carina Mediyana untuk seluruh semangat yang diberikan kepada penulis;
- (5) Muhammad Riyadh selaku mitra kerja yang saling bahu-membahu dalam kesulitan;
- (6) Teman – teman Lab.Pendingin (Imam, Magribi, Lasman, Afda, Wira, Richak dan Zona) dan rekan Ekstensi 2007 yang telah banyak membantu saya dalam banyak hal dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap ALLAH swt berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu.

Depok, 6 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 : Muhamad Fadillah Utama Putera
NPM : 0706198713
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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 :

**ANALISA PROSES ADSORPSI DENGAN VARIASI BENTUK KARBON AKTIF
SEBAGAI ADSORBEN DAN METANOL SEBAGAI ADSORBAT UNTUK APLIKASI
PENDINGIN ALTERNATIF**

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 : 6 Juli 2009

Yang menyatakan

(Muhamad Fadillah Utama Putera)

ABSTRAK

Nama : Muhamad Fadillah Utama Putera
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Analisa Proses Adsorpsi Dengan Variasi Bentuk Karbon Aktif
Sebagai Adsorben dan Metanol sebagai Adsorbat Untuk Aplikasi
Pendingin Alternatif

Isu lingkungan mengenai pemanasan global dan penipisan ozon merupakan faktor pendorong inovasi ramah lingkungan. Oleh karena itu, dikembangkanlah alat pendingin adsorpsi menggunakan metanol yang ramah lingkungan sebagai refrigeran dan karbon aktif sebagai adsorben. Sistem ini menggunakan metanol sebagai refrigeran yang memiliki karakteristik *zero ozone depletion potential (ODP)* dan *zero global warming potential (GWP)*. Faktor yang paling penting dalam upaya peningkatan kapasitas pendinginan adalah dengan meningkatkan perpindahan panas dan massa di dalam adsorber/desorber dengan cara memperbesar luas bidang perpindahan panas adsorben dan mengembangkan material adsorben baru yang memiliki nilai laju penyerapan yang tinggi. Alat pengujian adsorpsi yang dibuat terdiri dari adsorber dan *adsorbat storage* yang disatukan dalam sebuah sistem dan variasi bentuk karbon aktif untuk mengetahui karakteristik proses adsorpsi dan efek pendinginan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metanol sebanyak 120 ml dan karbon aktif sebanyak 100 gr selama proses adsorpsi 60 menit. Perbedaan temperatur terendah yang dicapai di *adsorbat storage* adalah 6⁰C yaitu saat adsorben divariasikan bentuknya dengan menggunakan jaring yang bertujuan untuk memperbesar luas permukaan adsorben dengan *mass transfer* lebih tinggi..

Kata Kunci : karbon aktif, variasi , metanol, proses adsorpsi

ABSTRACT

Name : Muhamad Fadillah Utama Putera
Major : Mechanical Engineering
Title : Analysis of Adsorption Process with Form Variation of Activated Carbon as a Adsorbent and Methanol as a Adsorbat for Application of Alternative Refrigeration.

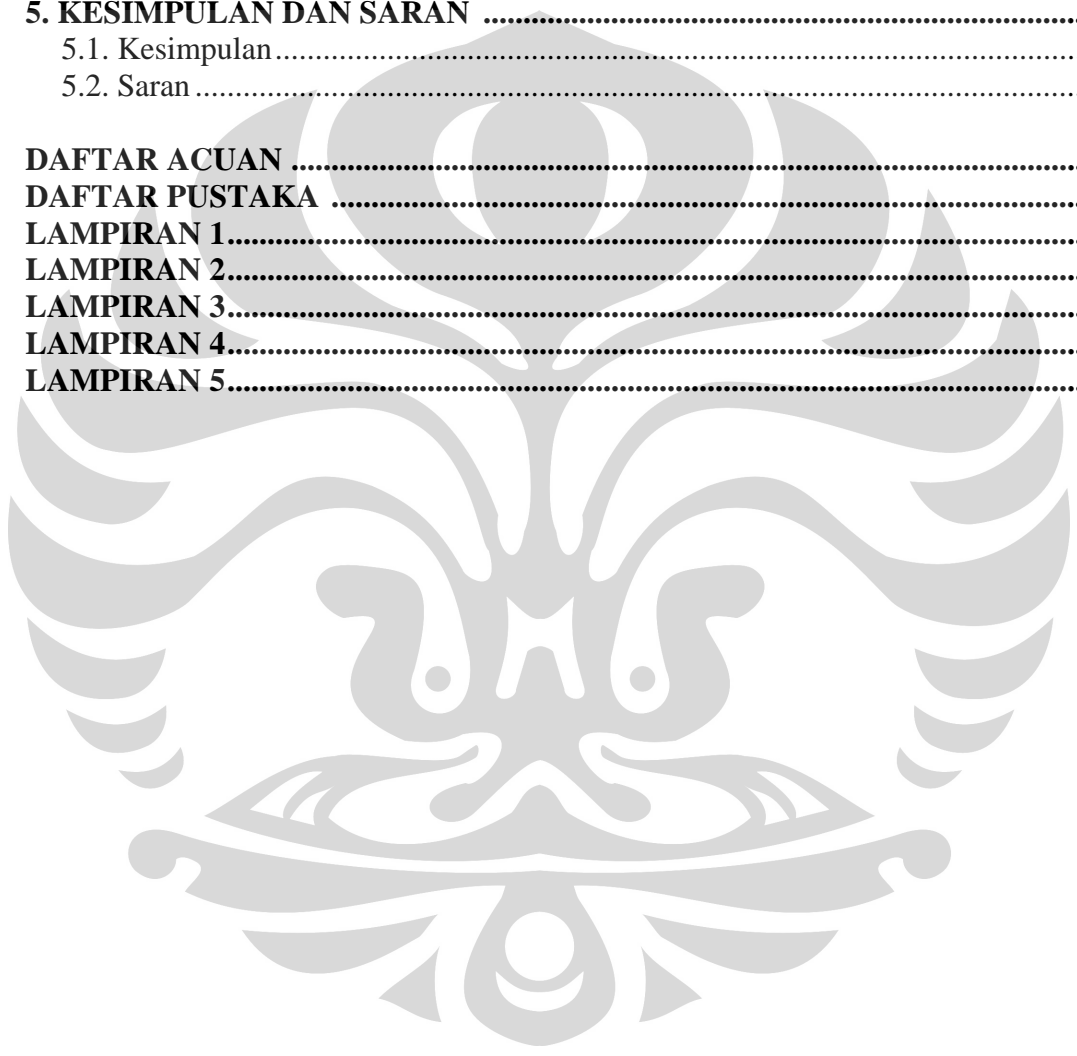
Environmental issues about global warming and ozone depleting are the factors stimulating green innovation. Therefore, adsorption refrigeration system has been developed with methanol as a green refrigerant and activated carbon as adsorbent. Methanol is a refrigerant which have characteristic zero ozone depletion potential (ODP) and zero global warming potential (GWP). Important factor to increase cooling capacity is increase heat transfer and mass inside of adsorber with increase face of heat transfer of adsorbent and improve new material for adsorbent which has high rate adsorption value. Experimental device adsorption consists of adsorber and adsorbat storage as a system and variation of activated carbon to understand characteristic of adsorption process and refrigeration effect. Experimental is done using 120 ml of methanol and 100 gr of activated carbon during adsorption process 60 minutes. Lowest temperature difference achieved on adsorbat storage is 6°C which is when apply variation form of activated carbon using net in order to expand surface area with higher mass transfer.

Keywords : activated carbon, variation, methanol, adsorption process.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Metode Penulisan	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
2. DASAR TEORI.....	5
2.1 Adsorpsi	5
2.1.1. Adsorpsi Secara Fisika	6
2.1.2. Adsorpsi Secara Kimia.....	7
2.2 Adsorben	7
2.2.1. Silika Gel.....	8
2.2.2 Karbon Aktif.....	9
2.2.3. Zeolit.....	11
2.2.3. Alumina	12
2.3 Adsorbat	12
2.3.1. Air.....	12
2.3.2 Amonia	13
2.3.3. Metanol (CH ₃ OH).....	13
2.3.4. Karbondioksida (CO ₂	13
2.4. Prinsip Sistem Pendinginan Adsorpsi.....	14
2.5. Siklus Ideal Sistem Pendinginan Adsorpsi.....	15
2.6. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi	19
2.7. Pengukuran Tekanan	20
2.8. Tekanan dan Temperatur Saturasi	20
3. METODE PENGUJIAN DAN PENGAMBILAN DATA	21
3.1. Deskripsi Alat Pengujian Adsorpsi.....	21
3.2. Alat Ukur	22
3.2.1. Data Akuisisi (DAQ)	22
3.2.2. <i>Pressure gauge</i>	23
3.2.3. Termokopel	23

3.3. Persiapan Pengujian.....	24
3.4. Metode Pengujian Adsorpsi.....	27
3.5. Pengambilan Data.....	28
4. DATA DAN ANALISIS HASIL PERCOBAAN	29
4.1. Analisa Proses Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif Tanpa Jaring	29
4.2. Analisa Proses Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif Dengan Jaring.....	33
5. KESIMPULAN DAN SARAN	36
5.1. Kesimpulan.....	36
5.2. Saran	36
DAFTAR ACUAN	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN 1.....	42
LAMPIRAN 2.....	43
LAMPIRAN 3.....	46
LAMPIRAN 4.....	47
LAMPIRAN 5.....	48



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Proses adsorpsi	5
Gambar 2.2 Silika Gel	8
Gambar 2.3 Karbon Aktif	9
Gambar 2.4 Pembesaran Permukaan Karbon Aktif	9
Gambar 2.5 <i>Granular Activated Carbon</i> (GAC)	10
Gambar 2.6 <i>Powder Activated Carbon</i>	11
Gambar 2.7 <i>Extruded Activated Carbon</i>	11
Gambar 2.8 Zeolit	12
Gambar 2.9 Alumina	12
Gambar 2.10 Siklus sistim pendingin adsorpsi	14
Gambar 2.11 Diagram tekanan vs temperatur yang menggambarkan garis isosters	15
Gambar 2.12 Diagram clapeyron ideal	16
Gambar 2.13 Proses pemanasan pada diagram <i>clapeyron</i> ideal	17
Gambar 2.14 Proses pemanasan-desorpsi-kondensasi pada diagram <i>clapeyron</i> ideal	17
Gambar 2.15 Proses pendinginan pada diagram <i>clapeyron</i> ideal	18
Gambar 2.16 Proses pendinginan-adsorpsi-evaporasi pada diagram <i>clapeyron</i> ideal	18
Gambar 2.17 Representasi grafik tekanan pengukuran dan tekanan mutlak	20
Gambar 3.1 Skema alat pengujian	21
Gambar 3.2 <i>Converter dan Analog input module</i>	23
Gambar 3.3 <i>Pressure gauge</i>	23
Gambar 3.4 Kompresor vakum	24
Gambar 3.5 <i>Power Supply</i>	25
Gambar 3.6 <i>Heater jenis Bend</i>	26
Gambar 3.7 Kipas	26
Gambar 3.8 Variasi bentuk Karbon aktif tanpa jaring	28

Gambar 3.9	Variasi bentuk Karbon aktif dengan jaring	28
Gambar 4.1	Grafik temperatur adsorbat terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk karbon aktif tanpa jaring.	29
Gambar 4.2	Grafik temperatur <i>ambient</i> terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk karbon aktif tanpa jaring	31
Gambar 4.3	Grafik temperatur adsorben terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk karbon aktif tanpa jaring.	32
Gambar 4.4	Grafik temperatur adsorbat terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk karbon aktif dengan jaring.	33
Gambar 4.5	Grafik temperatur <i>ambient</i> terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk karbon aktif dengan jaring.	35
Gambar 4.6	Grafik temperatur adsorben terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk karbon aktif dengan jaring.	36

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 <i>Property of Metanol</i>	42
Lampiran 2 <i>Saturation Vapor/Liquid Tables of Metanol</i>	43
Lampiran 3 Grafik Saturasi Metanol	46
Lampiran 4 Spesifikasi Karbon Aktif	47
Lampiran 5 Gambar Tiga Dimensi Alat Adsorpsi	48



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin pendingin merupakan salah satu mesin yang berkontribusi terhadap pemanasan global (*Global Warming Potential/GWP*), tidak hanya dari konsumsi energi tapi juga dari penggunaan gas rumah kaca sebagai refrigeran. Dampak lain dari beberapa jenis refrigeran tersebut yaitu dapat berakibat langsung terhadap penipisan lapisan ozon apabila terlepas langsung ke atmosfer (*Ozon Depletion Potential/ODP*). Protokol Montreal (1987) yang mengatur tentang substansi penyebab penipisan ozon dan Protokol Kyoto (1997) tentang pembatasan gas rumah kaca, dapat menjadi acuan untuk mengurangi dampak lingkungan terkait dengan refrigeran.

Kesadaran dunia mengenai isu lingkungan menyebabkan diadakannya Konferensi Perubahan Iklim PBB 2007 di Nusa Dua, Bali, untuk membahas dampak pemanasan global. Hal ini dianggap perlu untuk menyatukan visi dan misi dalam menghadapi dampak dari pemanasan global akibat sejumlah kerusakan lingkungan. Beberapa usaha untuk mengurangi emisi gas rumah kaca diatur di beberapa negara berkembang dari aspek teknis dan non-teknis (Nasruddin, 2005).

Pendingin dengan sistem adsorpsi merupakan salah satu alternatif ramah lingkungan dalam menghadapi isu lingkungan di atas. Sistem ini memanfaatkan gas buang hasil pembakaran atau sinar matahari sebagai sumber panas untuk proses desorpsi dan air untuk proses adsorpsi. Proses penyerapan di dalam sistem yang dibuat vakum dapat menggunakan karbon aktif, zeolit, silika gel sebagai adsorben. Metanol dapat digunakan sebagai adsorbat untuk pasangan dari adsorben – adsorben diatas. Sistem ini menggunakan metanol sebagai refrigeran yang memiliki karakteristik *zero ozone depletion potential (ODP)* dan *zero global warming potential (GWP)*.

Pada abad XV, diketahui bahwa arang aktif dapat dihasilkan melalui komposisi kayu dan dapat digunakan sebagai adsorben warna dari larutan. Aplikasi komersial baru dikembangkan pada tahun 1974 yaitu pada industri gula

sebagai pemucat, dan menjadi sangat terkenal karena kemampuannya menyerap uap gas beracun yang digunakan pada Perang Dunia I. Arang aktif merupakan senyawa karbon amorph, yang dapat dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau dari arang yang diperlakukan dengan cara khusus untuk mendapatkan permukaan yang lebih luas. Arang aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap arang aktif sangat besar, yaitu 25- 1000% terhadap berat arang aktif. Karena hal tersebut maka karbon aktif banyak digunakan oleh kalangan industri. Hampir 60% produksi arang aktif di dunia ini dimanfaatkan oleh industri-industri gula dan pembersihan minyak dan lemak, kimia dan farmasi.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk

1. Mengetahui proses adsorpsi pada pengujian ini dengan menggunakan sampel metanol sebanyak 120 ml dan variasi bentuk karbon aktif sebanyak 100 gr.
2. Mengetahui perbedaan temperatur yang dapat dicapai selama proses adsorpsi berjalan.

1.3 Pembatasan Masalah

Pembahasan mengenai sistem pendingin adsorpsi dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membahas unjuk kerja alat dengan menggunakan metanol sebagai adsorbat dan karbon aktif sebagai adsorben untuk mengetahui karakteristik penyerapan.
2. Membahas tentang analisa pada adsorber dan *adsorbat storage* yang berfungsi sebagai *evaporator* saat dilakukan proses adsorpsi.

1.4 Metode Penulisan

Metode yang dilakukan untuk melakukan penulisan tugas akhir ini adalah melakukan studi literatur dan pengujian alat dengan melakukan percobaan.

1. Studi literatur

Literatur yang digunakan sebagai acuan dalam tugas akhir ini adalah buku, jurnal, skripsi, tesis, disertasi dan melalui penelusuran *internet*. Literatur-literatur tersebut menjadi acuan dalam analisa proses adsorpsi.

2. Pengujian alat

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan data berupa temperatur pada saat proses adsorpsi .

1.5 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini disusun atas beberapa bab dimana latar belakang dan tujuan penulisan disampaikan pada bab pertama, kemudian pada bab kedua berisi landasan teori yang berkaitan dengan proses adsorpsi. Berikut adalah sistematika penulisan tugas akhir ini:

Bab 1 PENDAHULUAN

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

Bab 2 LANDASAN TEORI

Pada bab ini disampaikan teori-teori yang menjelaskan tentang adsorpsi yang menjadi dasar dalam pembuatan dan pengujian alat serta dasar dalam melakukan analisa data.

Bab 3 METODE PENGUJIAN DAN PENGAMBILAN DATA

Bab ini membahas tentang tata cara pengambilan data pada saat pengujian di laboratorium dengan beberapa komponen pendukung untuk membantu pengambilan data.

Bab 4 ANALISA DATA HASIL PERCOBAAN

Bab ini membahas mengenai analisa data yang didapat dari grafik hasil percobaan sehingga diketahui perbedaan hasil adsorpsi dari variasi bentuk adsorben.

Bab 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini mengutarakan kesimpulan yang didapat setelah melakukan pengujian alat dan analisa data, kemudian ditambahkan dengan saran untuk membantu mendapatkan hasil yang lebih baik pada percobaan selanjutnya.



BAB 2

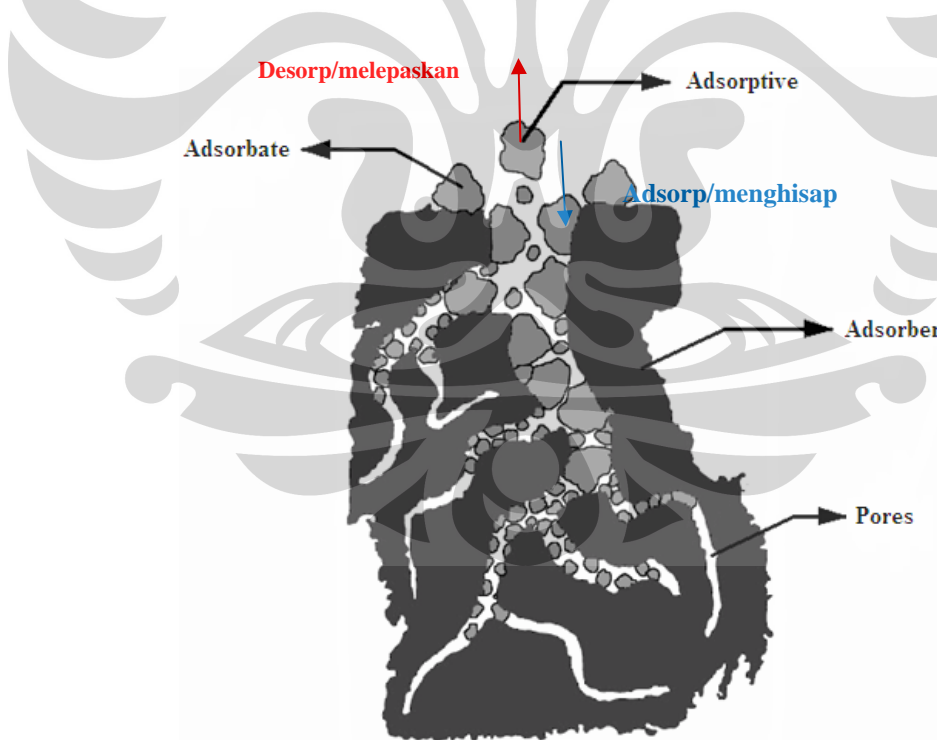
LANDASAN TEORI

2.1 Adsorpsi

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).

Adsorpsi adalah proses dimana molekul fluida mengalami kontak dan melekat pada permukaan suatu material padat (Nasruddin, 2005).

Untuk mengetahui karakteristik yang terjadi dalam proses adsorpsi dapat diilustrasikan dengan gambar 2.1 dimana padatan berpori (*pores*) yang menghisap (*adsorp*) dan melepaskan (*desorp*) suatu fluida disebut adsorben. Molekul fluida yang dihisap tetapi tidak terakumulasi atau melekat ke permukaan adsorben disebut *adsorptive*, sedangkan yang terakumulasi disebut *adsorbate*



Gambar 2.1. Proses adsorpsi

Adsorpsi fisik utamanya disebabkan oleh gaya van der Waals dan gaya elektrostatis antara molekul adsorbat dan atom-atom yang membentuk permukaan adsorben (Motoyuki, Suzuki, 1990). Gaya van der Waals merupakan gaya tarik-menarik antar molekul-molekul polar yang relatif lemah, sehingga mudah untuk terlepas kembali. Ketika adsorben mengalami kontak dengan fluida dengan komposisi yang tepat, maka akan terjadi adsorpsi dan setelah cukup lama, adsorben dan fluida akan mencapai kesetimbangan (Motoyuki, Suzuki, 1990, p. 35)

Sistem pendingin adsorpsi mendapatkan perhatian karena tidak terdapat bagian yang bergerak dan memungkinkan untuk menggunakan energi panas yang rendah seperti: energi panas matahari atau gas buang industri untuk regenerasi dalam adsorben (Motoyuki, Suzuki, 1990, p. 275)

2.1.1 Adsorpsi Secara Fisika

Proses adsorpsi atau penyerapan adalah fenomena fisik yang terjadi saat molekul-molekul gas atau cair dikontakan dengan suatu padatan dan sebagian dari molekul-molekul tadi mengembun pada permukaan padatan tersebut. Apabila interaksi antara padatan dan molekul yang mengembun tadi relatif lemah, maka proses ini disebut adsorpsi fisik yang terjadi hanya karena gaya van der Waals.

Berdasarkan interaksi molekuler antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu penyerapan secara fisika (adsorpsi) dan penyerapan secara kimia (absorpsi).

Pada adsorpsi jenis ini, adsorpsi terjadi tanpa adanya reaksi antara molekul-molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorpsi ini relatif berlangsung cepat dan bersifat reversibel (*reversible*). Karena dapat berlangsung di bawah temperatur kritis adsorbat yang relatif rendah, maka panas adsorpsi yang dilepaskan juga rendah. Adsorbat yang terikat secara lemah pada permukaan adsorben, dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lain. Peristiwa adsorpsi fisika menyebabkan molekul-molekul gas yang teradsorpsi mengalami kondensasi. Besarnya panas yang dilepaskan dalam proses adsorpsi fisika adalah kalor kondensasinya.

Proses adsorpsi fisik terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi, sehingga proses tersebut membentuk lapisan jamak (*multilayers*) pada permukaan adsorben. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah, yaitu dengan cara *degassing* atau pemanasan pada temperatur $\pm 100^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam.

2.1.2 Adsorpsi Secara kimia

Dalam hal ini, adsorpsi terjadi karena adanya reaksi kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorpsi jenis ini diberi istilah sebagai "*absorption*" dan bersifat tidak reversibel hanya membentuk satu lapisan tunggal (*monolayer*). Umumnya terjadi pada temperatur di atas temperatur kritis adsorbat, sehingga kalor adsorpsi yang dibebaskan tinggi. Adsorben yang mengadsorpsi secara kimia pada umumnya sulit diregenerasi (Suryawan, Bambang, 2004).

2.2 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 :

1. Luas permukaan besar sehingga kapasitas adsorpsinya tinggi
2. Memiliki aktifitas terhadap komponen yang diadsorpsi
3. Memiliki daya tahan yang baik

4. 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).

Beberapa jenis adsorben berpori yang telah digunakan secara komersial antara lain adalah karbon aktif, zeolit, silika gel, dan *activated alumina*. Estimasi dari nilai penjualan dari jenis adsorben tersebut adalah : (Yang, 2003)

- Karbon aktif → USD 1 Milyar
- Zeolit → USD 100 Juta
- Silika gel → USD 27 Juta
- Activated Alumina → USD 26 Juta

2.2.1. 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 200⁰C. Silika gel memiliki kapasitas menyerap air yang besar terutama pada saat tekanan uap air tinggi.



Gambar 2.2. Silika Gel [1]

2.2.2. 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.



Gambar 2.3. Karbon Aktif [1]

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, batu bara, tempurung kelapa, kulit biji kopi dan lain-lain.

Prinsip pembuatan karbon aktif adalah proses karbonasi yaitu proses pembentukan bahan menjadi arang (karbon), kemudian diaktivasi. Semua jenis adsorbat dapat digunakan sebagai pasangan karbon aktif, kecuali air (Nasruddin, 2005).



Gambar 2.4.(kiri → kanan) Pembesaran Permukaan Karbon Aktif [3]

Aplikasi karbon aktif pada sistem pendingin adsorpsi merupakan salah satu alternatif yang banyak dipakai karena sistem ini lebih ramah lingkungan. Dalam aplikasinya sistem ini menggunakan kompresor termik berupa generator adsorber untuk memompa refrigeran dimana energinya adalah energi termis yang dapat diperoleh dari energi surya atau panas gas buang. Jenis refrigeran yang digunakan tidak berbahaya bagi lingkungan seperti air, ammonia, metanol dan lain-lain, (Hamamoto Y, 2002). Faktor yang paling penting dalam upaya peningkatan *Coeficient of performanmce* (COP) dan kapasitas pendinginan adalah dengan meningkatkan perpindahan panas dan massa di dalam adsorber/desorber dengan cara memperbesar luas bidang perpindahan panas adsorben dan mengembangkan material adsorben baru yang memiliki nilai laju penyerapan yang tinggi (Hamamoto, Y, et al, 2006)

Ditinjau dari segi bentuk dan ukuran karbon aktif dapat diklasifikasikan menjadi :

- *Granular Activated Carbon (GAC)*

Jenis ini memiliki ukuran antara 0.2 mm sampai dengan 5 mm. Biasanya digunakan untuk proses pada fluida phase cair dan gas



Gambar 2.5. *Granular Activated Carbon (GAC)* [2]

- *Powder Activated Carbon (PAC)*

Powder activated carbon memiliki ukuran kurang dari 0.18 mm. Utamanya digunakan untuk proses adsorpsi phase gas pada treatment gas.



Gambar 2.6. *Powder Activated Carbon (PAC)* [2]

- *Extruded Activated Carbon*

Extruded and cylindrical shaped dengan diameter dari 0.8 mm sampai dengan 5 mm. Utamanya digunakan pada phase gas



Gambar 2.7. *Extruded Activated Carbon* [2]

2.2.3. Zeolit

Zeolit digunakan untuk pengeringan dan pemisahan campuran hidrokarbon, zeolit memiliki kemampuan adsorpsi tinggi karena zeolit memiliki porositas yang tinggi. Zeolit mengandung kerystal 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 cm³/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.



Gambar 2.8. Zeolit [1]

2.2.4. Alumina

Adsorben alumina normalnya digunakan dalam industry untuk menghilangkan kadar air dari aliran gas. Salah satu yang sering digunakan untuk pengeringan adalah γ -alumina. Jenis ini memiliki luas permukaan yang baik untuk adsorpsi, volume *macropore* baik, dan rata-rata ukuran pori baik untuk transport molekul yang cepat dari lingkungan ke dalam alumina (Do, Duang D., 1998).



Gambar 2.9. Alumina [1]

2.3 Adsorbat

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

2.3.1. 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 :

1. Penggunaan air terbatas hanya untuk *air-conditioning* dan *chilling*.
2. Tekanan sistem selalu dibawah tekanan normal (1 atm). Sistem harus memiliki instalasi yang tidak bocor agar udara tidak masuk.
3. Rendahnya tekanan penguapan air menyebabkan rendahnya tekanan proses adsorpsi di batasi oleh transfer massa.

2.3.2. Amonia

Besarnya panas laten spesifik amonia 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 :

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

2.3.3. Metanol (CH₃OH)

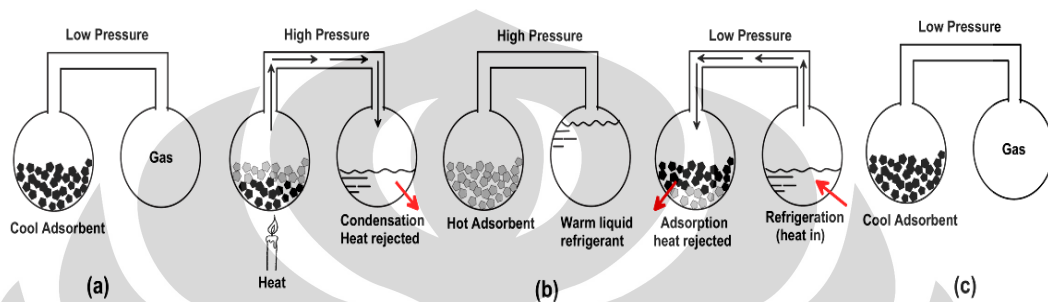
Di banyak hal kemampuan atau performa metanol berada diantara air dan amonia. Metanol memiliki tekanan penguapan yang lebih tinggi dibandingkan dengan air (meskipun pada tekanan 1 atm), sehingga sangat cocok untuk sistem pendingin. Karbon aktif, silika gel dan zeolit merupakan adsorben yang menjadi pasangan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

2.3.4. Karbondioksida (CO₂)

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 (Perwitasari, Ayu, 2008; Firmansyah, Arfie Ikhsan, 2008).

2.4 Prinsip Sistem Pendinginan Adsorpsi

Siklus pendingin adsorpsi berlangsung dengan penyerapan refrigeran/adsorbat dalam fasa uap ke dalam adsorben pada tekanan rendah, kemudian refrigeran yang terserap pada adsorben didesorpsi dengan memberikan panas pada adsorben. Bentuk sederhana dari siklus pendingin adsorpsi seperti dua botol labu yang berhubungan seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Siklus sistim pendingin adsorpsi
Ponsw, Michel; Ambarita, Nishio, 2008

Pada awalnya sistem dikondisikan pada tekanan dan temperatur rendah. Dua buah botol labu (*vessel*) yang berhubungan, dimana pada labu pertama terdapat adsorben (karbon aktif) yang mengandung adsorbat berkonsentrasi tinggi sedangkan pada labu yang kedua terdapat adsorbat dalam fasa uap (Gambar 2.10a). Labu pertama yang berisi adsorben dengan kandungan adsorbat berkonsentrasi tinggi dipanaskan, sehingga tekanan sistim meningkat dan menyebabkan kandungan adsorbat yang ada didalam adsorben berkurang atau menguap. Proses berkurangnya kandungan adsorbat pada adsorben pada kasus ini disebut desorpsi.

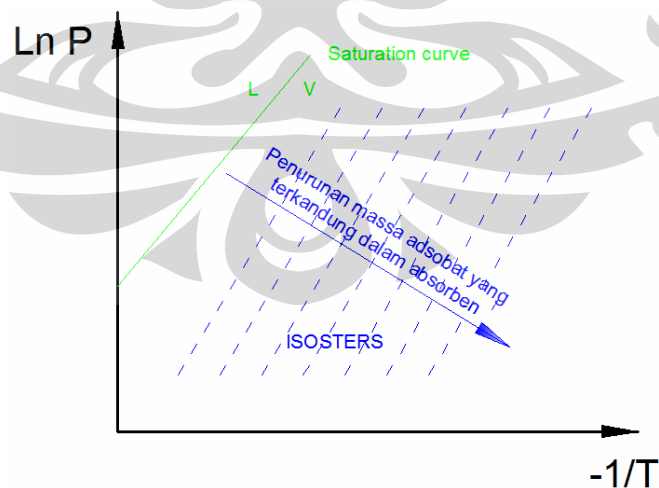
Adsorbat yang menguap kemudian terkondensasi dan mengalir ke botol labu yang kedua, disini panas dilepaskan ke lingkungan dimana tekanan sistim masih tinggi. Pemanasan pada botol labu pertama dihentikan, lalu pada botol labu yang pertama terjadi perpindahan panas ke lingkungan sehingga tekanan sistim menjadi rendah. Tekanan sistim yang rendah menyebabkan adsorbat cair pada botol labu yang kedua menguap dan terserap ke botol pertama yang berisi adsorben. Proses terserapnya adsorbat ke adsorben pada kasus ini disebut adsorpsi. Proses adsorpsi menghasilkan efek pendinginan yang terjadi pada botol

labu kedua, dimana pada tekanan rendah panas dari lingkungan diserap untuk menguapkan adsorbat (Gambar 2.10b) sampai sistem kembali ke kondisi awal dimana pada botol labu pertama berisi adsorben dengan kandungan adsorbat berkonsentrasi tinggi dan pada botol labu kedua terdapat adsorbat dalam fasa gas (Gambar 2.10c) (Nasruddin, 2005).

2.5 Siklus Ideal Sistem Pendingin Adsorpsi

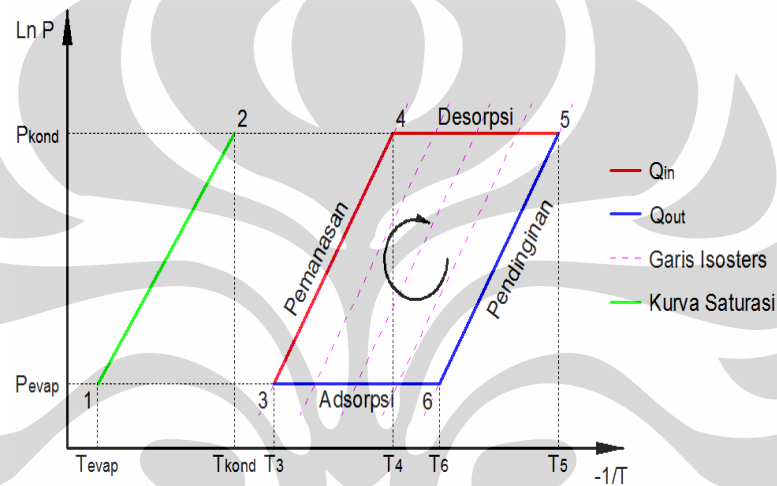
Adsorpsi dan desorpsi merupakan suatu proses yang dapat berlangsung secara reversibel. Adsorpsi merupakan proses *exothermic* dimana adsorben (fluida) dan adsorbat (padatan) melepaskan panas sehingga menyebabkan penurunan pergerakan molekul adsorbat yang mengakibatkan adsorbat tersebut menempel pada permukaan adsorben dan membentuk suatu lapisan tipis.

Ketika panas diberikan kepada sistem tersebut maka pergerakan molekul adsorbat akan meningkat sehingga pada jumlah panas tertentu akan menghsailkan energi kinetik molekul adsorbat yang cukup untuk merusak gaya *van der Waals* antara adsorben dan adsorbat. Proses pelepasan adsorbat dari adsorben disebut sebagai proses desorpsi, dimana proses ini membutuhkan energi panas sehingga disebut proses *endothermic*. Jumlah adsorbat yang terkandung didalam adsorben dapat digambarkan oleh garis *isosters* pada diagram tekanan vs temperatur ($\ln P$ vs $-1/T$) seperti pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Diagram tekanan vs temperatur yang menggambarkan garis isosters
Ponsw, Michel; Ambarita, Nishio, 2008

Siklus mesin pendingin adsorpsi tidak membutuhkan energi mekanis, melainkan membutuhkan energi panas. Pada saat mesin pendingin beroperasi, beberapa proses yang terjadi pada adsorber yang melibatkan proses *endothermic* dan *exothermic*. Proses *endothermic* berlangsung selama proses pemanasan (peningkatan tekanan) dan proses pemanasan-desorpsi-kondensasi, sedangkan proses *exothermic* berlangsung selama proses pendinginan (penurunan tekanan) dan proses pendinginan-adsorpsi-evaporasi. Keempat proses tersebut membentuk suatu siklus yang digambarkan oleh diagram *clapeyron* ideal seperti pada gambar 2.12.



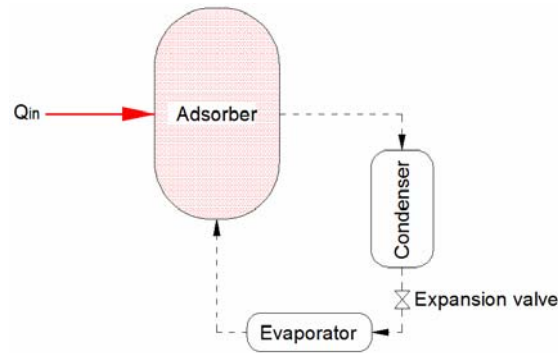
Gambar 2.12. Diagram *clapeyron* ideal

Ponsw, Michel; Ambarita, Nishio, 2008

Keempat proses tersebut adalah sebagai berikut:

1. Proses pemanasan (pemberian tekanan)

Selama periode ini, tidak ada aliran metanol yang masuk maupun keluar dari adsorber. Adsorber menerima panas sehingga temperatur adsorber meningkat dan diikuti oleh peningkatan tekanan dari tekanan evaporasi menjadi tekanan kondensasi. Proses ini sama seperti proses kompresi pada sistem pendingin mekanik. Proses ini dilustrasikan pada gambar 2.13.

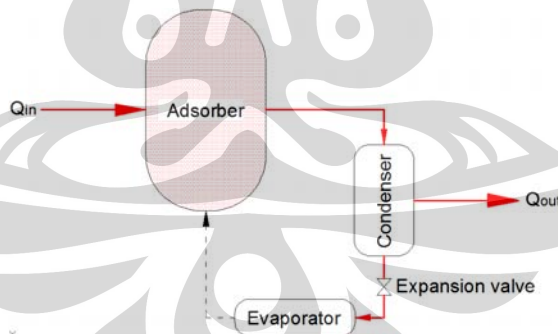


Gambar 2.13. Proses pemanasan pada diagram *clapeyron* ideal

Ponsw, Michel; Ambarita, Nishio, 2008

2. Proses pemanasan-desorpsi-kondensasi

Selama periode ini, adsorber terus dialiri panas sehingga adsorber terus mengalami peningkatan dan temperatur yang menyebabkan timbulnya uap desorpsi. Sementara itu, katup aliran ke kondensor dibuka sehingga adsorbat dalam bentuk gas mengalir ke kondensor untuk mengalami proses kondensasi menjadi cair. Kalor laten pengembunan adsorbat diserap oleh media pendingin pada kondenser. Siklus ini sama dengan siklus kondensasi pada sistem pendingin mekanik. Proses ini dilustrasikan pada gambar 2.14.



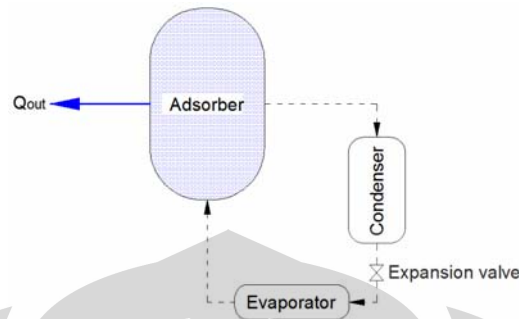
Gambar 2.14. Proses pemanasan-desorpsi-kondensasi pada diagram *clapeyron* ideal

Ponsw, Michel; Ambarita, Nishio, 2008

3. Proses pendinginan (penurunan tekanan)

Selama periode ini, tidak ada aliran metanol yang masuk maupun keluar dari adsorber. Adsorber melepaskan panas dengan cara didinginkan sehingga suhu di adsorber turun dan diikuti oleh penurunan tekanan dari tekanan kondensasi ke

tekanan evaporasi. proses ini sama seperti proses ekspansi pada sistem pendingin mekanik. Proses ini ditunjukkan pada gambar 2.15.

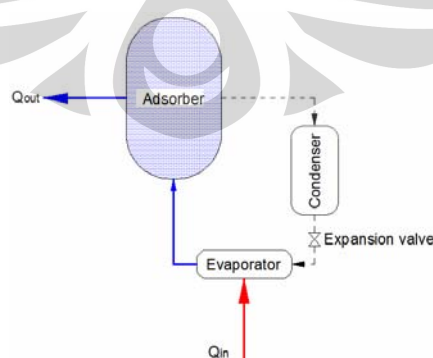


Gambar 2.15. Proses pendinginan pada diagram *clapeyron* ideal

Ponsw, Michel; Ambarita, Nishio, 2008

4. Proses pendinginan-adsorpsi-evaporasi

Selama periode ini, adsorber terus melepaskan panas sehingga adsorber terus mengalami penurunan temperatur dan tekanan yang menyebabkan timbulnya uap adsorpsi. Sementara itu, katup aliran dari *evaporator* ke adsorber dibuka sehingga adsorbat dalam bentuk uap mengalir dari *evaporator* ke adsorber. Adsorbat dalam bentuk uap dihasilkan dari proses penyerapan kalor oleh adsorbat dari lingkungan sebesar kalor laten penguapan adsorbat tersebut. Proses ini berlangsung pada tekanan saturasi yang rendah sehingga penyerapan kalor berlangsung pada temperatur saturasi yang rendah pula (Ponsw, Michel; Ambarita, Nishio, 2008). Proses ini diilustrasikan pada gambar 2.16.



Gambar 2.16. Proses pendinginan-adsorpsi-evaporasi pada diagram *clapeyron* ideal

Ponsw, Michel; Ambarita, Nishio, 2008

2.6 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.

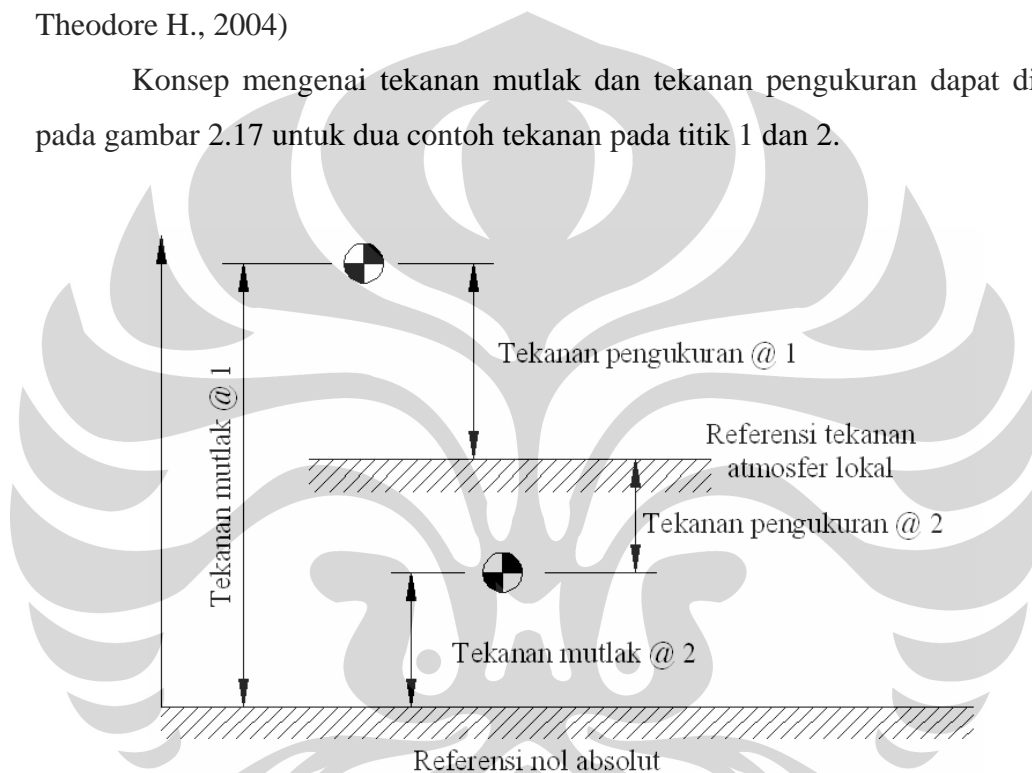
4. Tekanan (P), tekanan yang dimaksud adalah tekanan adsorbat. Kenaikkan tekanan adsorbat dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi.

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

2.7 Pengukuran Tekanan

Pengukuran tekanan dapat dinyatakan dalam tekanan mutlak (*absolute pressure*) atau dalam tekanan pengukuran (*gage pressure*). Tekanan mutlak diukur relatif terhadap suatu keadaan hampa sempurna (tekanan nol mutlak), sementara tekanan pengukuran diukur relatif terhadap tekanan atmosfer setempat. Jadi, tekanan pengukuran nol bersesuaian dengan tekanan yang sama dengan tekanan atmosfer setempat (Munson, Bruce R.; Young, Donald F.; Okiishi, Theodore H., 2004)

Konsep mengenai tekanan mutlak dan tekanan pengukuran dapat dilihat pada gambar 2.17 untuk dua contoh tekanan pada titik 1 dan 2.



Gambar 2.17. Representasi grafik tekanan pengukuran dan tekanan mutlak

2.8 Tekanan Dan Temperatur Saturasi

Tekanan saturasi adalah tekanan yang terjadi pada saat suatu substansi pada temperatur tertentu mengalami perubahan fase. Temperatur saturasi yaitu temperatur pada saat suatu substansi berada dalam tekanan tertentu mengalami perubahan fase. Ketika substansi mengalami perubahan fase, substansi memerlukan ataupun melepaskan kalor laten tergantung perubahan fasa yang terjadi.

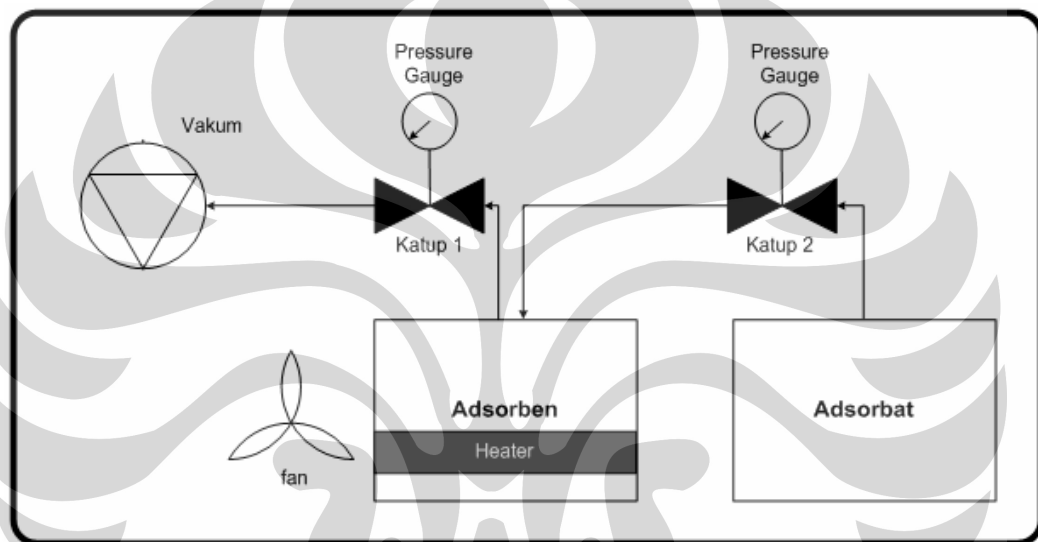
Data tekanan dan temperatur saturasi metanol yang digunakan pada percobaan alat adsorpsi dapat dilihat pada lampiran.

BAB 3

METODE PENGUJIAN DAN PENGAMBILAN DATA

3.1. Deskripsi Alat Pengujian Adsorpsi

Pada penelitian ini penulis merancang alat uji adsorpsi, yang digunakan sebagai alat uji kapasitas dan laju penyerapan adsorpsi. Alat uji adsorpsi ini dirancang menggunakan metode volumetrik dimana kondisi *adsorbat* yang terserap diasumsikan pada kondisi ideal. Skematik rancangan alat uji adsorpsi, sebagai berikut :



Gambar 3.1. Skema alat pengujian

Pada rancangan alat uji adsorpsi terdapat dua komponen utama yaitu *adsorber* dan *adsorbat storage*. *Adsorber* berfungsi sebagai tempat menempatkan adsorben dan tempat dimana adsorben menyerap *adsorbat* pasangannya. Sumber panas pada *adsorber* didapatkan dari *heater*, dimana temperatur dijaga konstan 110°C . *Adsorbat storage* berfungsi sebagai tempat menempatkan *adsorbat*.

Pada alat uji adsorpsi dipasang alat ukur untuk mendapatkan data penelitian. Alat ukur yang digunakan adalah tekanan dan temperatur. Alat ukur suhu pada alat uji adsorpsi digunakan *thermocouples* tipe K dengan jangkauan pengukuran suhu -200°C to 1250°C . *Thermocouples* dipasang pada dua tempat, yaitu pada *adsorber* untuk mengetahui suhu saat adsorpsi dan pada *adsorbat*

storage untuk mengetahui temperatur pada saat pengukuran berlangsung, sedangkan *pressure gauge* digunakan untuk mengetahui tekanan adsorpsi.

Data *analog* hasil pengukuran temperatur diubah DAQ menjadi data *digital*. Data *digital* hasil pengukuran temperatur keluaran DAQ disimpan pada *storage* komputer.

3.2. Alat Ukur

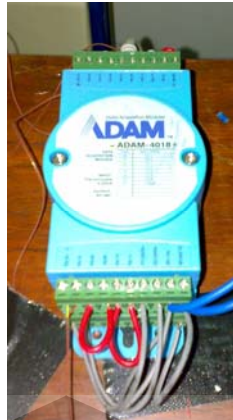
3.2.1. Data akuisisi (DAQ)

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

Data akuisisi 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 menerima, mengubah sinyal dan menguatkan keluaran *analog input module* agar dapat diterima komputer melalui *communication port*.

Spesifikasi DAQ yang digunakan pada pengujian adalah sebagai berikut:

- Pabrikan : Advantech
- Tipe *analog input module* : 4018⁺
- Converter : 4520
- *Input accepted* : thermocouple tipe J, K, T, E, R, S and B
- *current input* : ± 20 mA, 4~20 mA
- Akurasi : 0.1%
- *Power supply* : 10 – 30 V DC

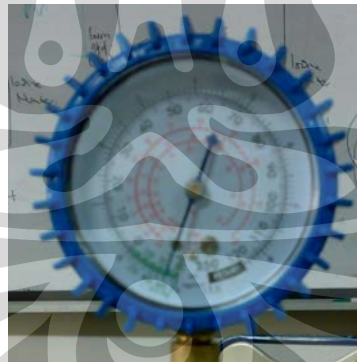


Gambar 3.2. Converter dan analog input module.

3.2.2. Pressure gauge

Pengukuran tekanan pada adsorber dan *adsorbat storage* dilakukan dengan menggunakan *pressure gauge*. Spesifikasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Pabrikan : WIKA
- *Pressure range* : -30 ~ 0 inHg dan 0 ~ 250 psi
- Akurasi : 1 inHg dan 1 psi



Gambar 3.3. Pressure gauge.

3.2.3. Termokopel

Termokopel digunakan untuk mengukur temperatur diletakkan di adsorber, *adsorbat storage*, lingkungan dan dinding luar adsorber. Pada alat pengujian digunakan termokopel tipe K dengan kisaran temperatur -200 – 1350⁰C.

3.3. Persiapan Pengujian

Beberapa alat bantu yang perlu disiapkan sebelum melakukan pengujian alat, yaitu:

1. Kompresor vakum untuk menurunkan tekanan di dalam adsorber.

Spesifikasi kompresor vakum:

- 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)
- Konsumsi energi : 2.2 kW



Gambar 3.4. Kompresor vakum

2. *Power supply* yang terhubung dengan DAQ berfungsi sebagai sumber listrik. *Power supply* yang digunakan memiliki spesifikasi:

- Merek : LDG
- Model : *Swithcing JL-145S12*
- AC Input : 170V ~ 264V
- DC Output : 12V \approx 12A



Gambar 3.5. *Power Supply*

3. Metanol pro-analisis (metanol 99,9%) yang berfungsi sebagai *adsorbat*.
4. Karbon aktif granular komersial yang berfungsi sebagai adsorben.
5. Komputer yang memiliki *software* perekam data pengukuran.
6. Kabel tipe RS 232 sebagai *converter connection* antara DAQ dengan komputer.
7. *Thermaflex* sebagai insulasi pada sistem untuk menjaga agar tidak ada kalor yang masuk atau keluar pada *adsorbat storage*.
8. *Heater* sebagai alat bantu untuk *degassing*, yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :
 - Pabrikan : Komersial (*Home Industry*)
 - Tipe : *Bend*
 - Output : 300 W
 - Thermostat : 0 - 300°C



Gambar 3.6. Heater jenis Bend.

9. Kipas sebagai alat bantu pengkondisian pada adsorber. Kipas yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Merek : SANYO , San Ace
- Input : 230V – 50/60 Hz
- Output : 14/12W 0,08/0,07A



Gambar 3.7. Kipas

Prose pertama adalah metanol divakum oleh pompa vakum dengan membuka katup 2 yang terletak di *adsorbat storage* sampai mencapai saturasi dengan tujuan untuk menghilangkan udara yang terjebak didalam *adsorbat storage* pada saat memasukkan metanol.

Lalu proses kedua yang dilakukan adalah proses *degassing* dengan cara menyalakan *heater* selama 60 menit untuk menjaga temperatur adsorber 100°C,

sehingga zat/gas yang tidak diinginkan di dalam adsorben dapat terlepas bersamaan dengan memvakum adsorber oleh pompa vakum dengan membuka penuh katup 1 yang terletak di adsorber hingga tekanan mendekati -30 inHg. Katup 2 yang terletak di *adsorbat storage* ditutup agar metanol tidak ikut tersedot menuju adsorber.

Setelah proses *degassing* selesai maka dilakukan proses *pre-cooling* yang bertujuan untuk menurunkan temperatur adsorben. Pada proses ini adsorber diberi kipas untuk membantu dalam penurunan temperatur yang dilakukan sampai temperatur adsorber sama dengan temperatur lingkungan, katup 2 pada *adsorbat storage* tetap dalam keadaan tertutup.

3.4. Metode Pengujian Adsorpsi

Pada proses adsorpsi ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu :

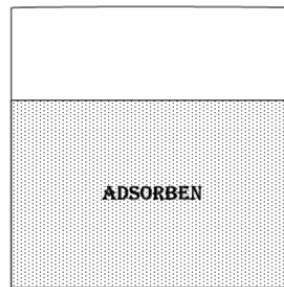
- Menjaga temperatur lingkungan $26^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$.
- Katup saluran vakum pada adsorber dalam keadaan tertutup.
- Saat proses adsorpsi temperatur adsorben sama dengan temperatur lingkungan dengan toleransi $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Untuk memulai proses adsorpsi katup yang terletak di *adsorbat storage* dibuka perlahan dan sekecil mungkin untuk mendapatkan efek ekspansi agar proses dapat berjalan maksimal, pada saat yang bersamaan kipas dalam posisi hidup mengenai adsorber untuk membantu pengondisian adsorben.

Pada saat proses ini berlangsung metanol yang berfungsi sebagai *adsorbat* diserap oleh karbon aktif yang berfungsi sebagai adsorben, pada saat metanol menguap akan menghasilkan efek pendinginan pada *adsorbat storage*. *Adsorbat storage* ditutupi oleh *thermaflex* agar tidak ada kalor yang keluar ataupun masuk pada daerah ini.

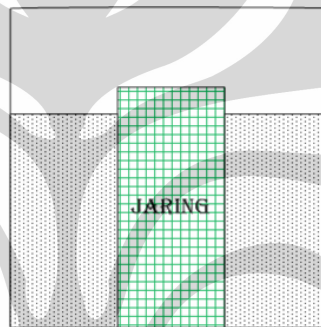
Pengujian dilakukan dengan variasi bentuk dari karbon aktif sebagai berikut :

1. Karbon aktif dibentuk hanya dengan menaruh/mengurai langsung didalam adsorber tanpa jaring.



Gambar 3.8. Variasi bentuk Karbon aktif tanpa jaring.

2. Diletakkan jaring ditengah adsorber lalu karbon aktif ditaruh mengelilingi jaring dan dinding adsorber dalam.



Gambar 3.9. Variasi bentuk Karbon aktif dengan jarring.

3.5 Pengambilan Data

Data diambil saat proses adsorpsi berlangsung pada beberapa titik di setiap komponen yang terukur oleh alat ukur selama rentang waktu pengujian. Data temperatur diambil di komponen adsorben, *adsorbat*, dinding luar adsorber dan lingkungan. Data yang diambil oleh alat ukur yang telah disambungkan ke DAQ lalu menuju komputer dan dirubah oleh *software Visiduct* menjadi data digital direkam per detik dan dicatat menjadi sebuah satuan data.

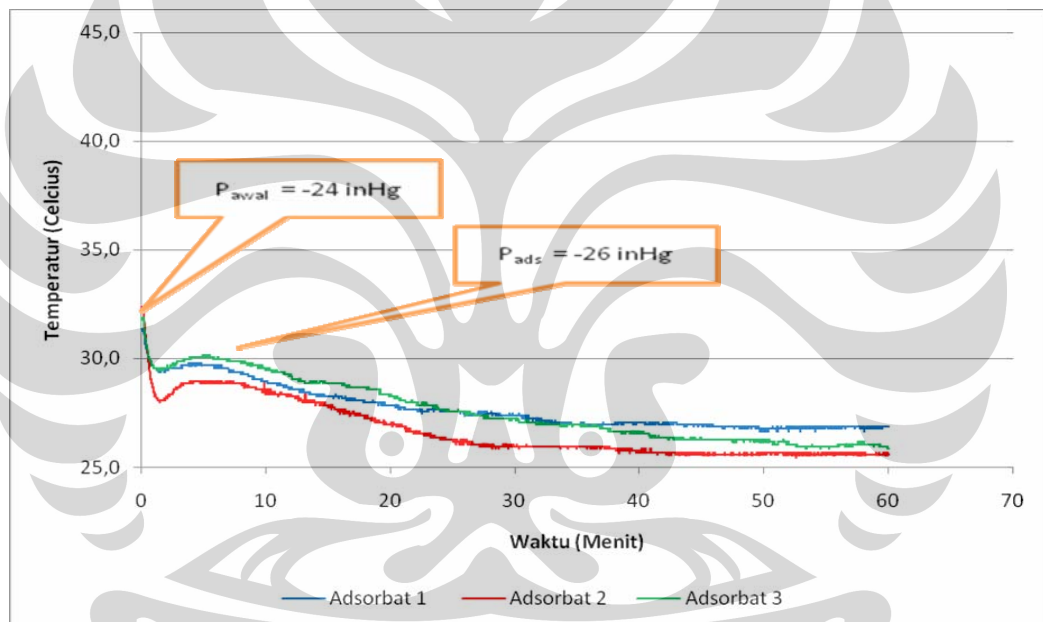
Data temperatur diambil pada saat proses adsorpsi berlangsung dan dicatat kedalam komputer. Data tekanan dicatat secara manual pada saat sebelum proses berlangsung dan proses adsorpsi berlangsung.

BAB 4

ANALISA HASIL PERCOBAAN

4.1 Analisa Proses Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif Tanpa Jaring

Pada saat awal sebelum katup 2 dibuka tekanan pada pressure gauge di *adsorbat storage* menunjukkan -24 inHg pada setiap pengambilan data masing – masing proses. Dan temperatur pada masing – masing percobaan menunjukkan bahwa didalam *adsorbat storage 1* adalah 31,4 °C, *adsorbat storage 2* adalah 32,3 °C dan *adsorbat storage 3* menunjukkan 31,9 °C seperti yang tertera pada gambar 4.1.



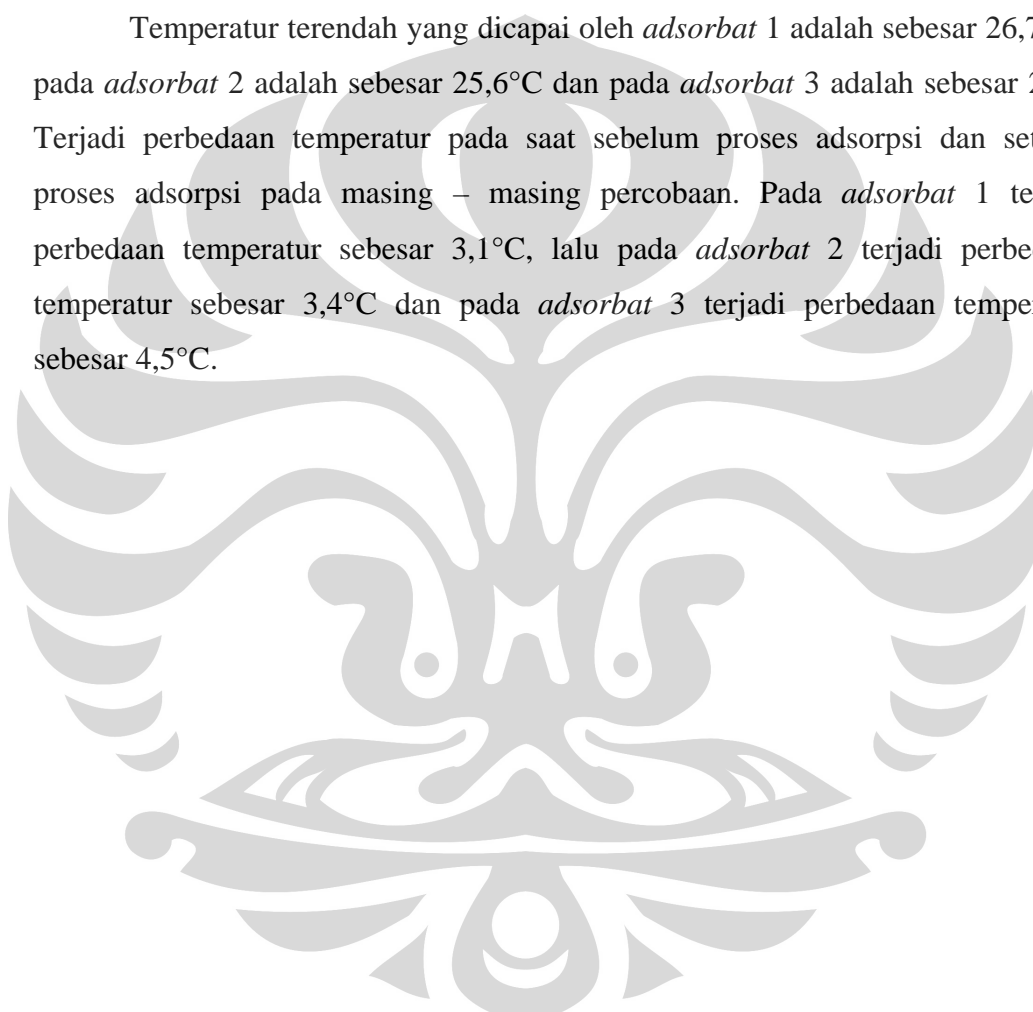
Gambar 4.1 Grafik temperatur *adsorbat* terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk karbon aktif tanpa jaring.

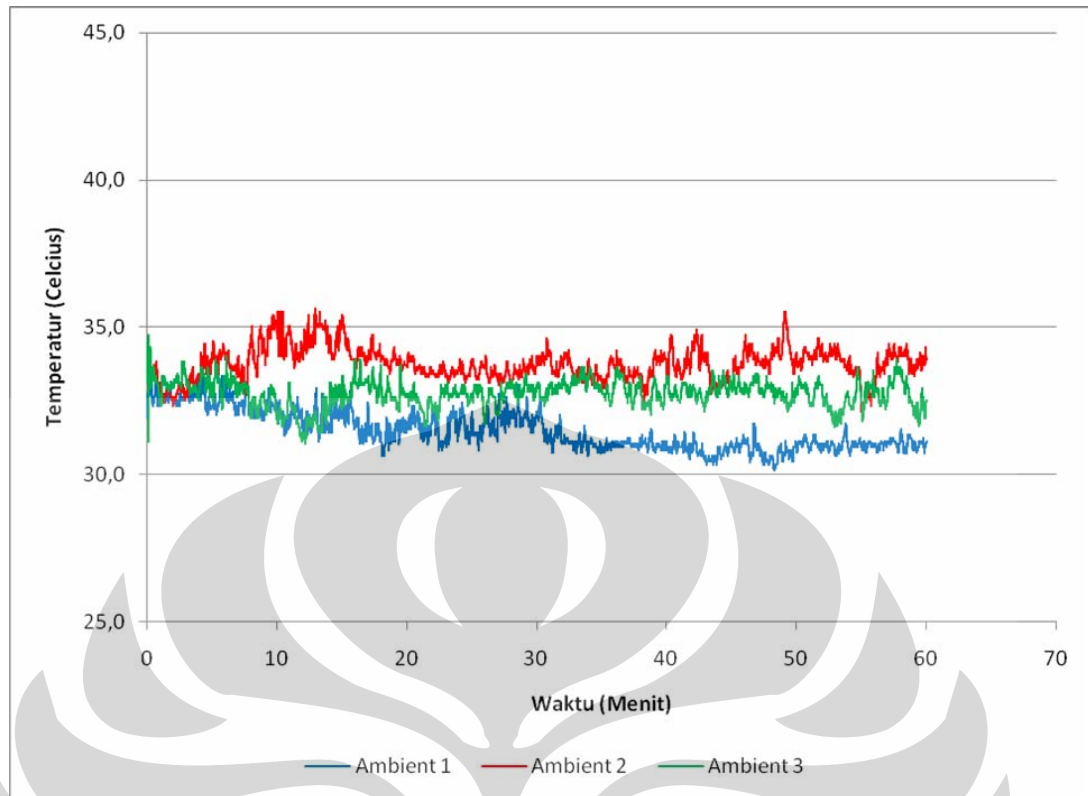
Pada saat setelah katup 2 dibuka pada *pressure gauge* di *adsorbat storage* menunjukkan -26 inHg dan kondisi ini cenderung stabil selama proses adsorpsi berlangsung. Pada saat yang bersamaan tekanan di adsorber juga mengalami kenaikan sebagai penyesuaian tekanan terhadap *adsorbat storage*.

Pada awal proses adsorpsi terjadi penurunan suhu yang cukup cepat dan tajam hal itu dikarenakan karena ada *pressure drop* pada *adsorbat storage*, adsorben pada saat ini belum menyerap *adsorbat*. Hal ini terjadi pada ketiga jenis

data. Lalu perlahan temperatur naik sampai terjadi kesetimbangan tekanan antara adsorber dan *adsorbat storage*. Lalu pada sekitar menit ke 5 temperatur mulai turun terus secara konstan sampai sekitar menit ke 25, hal ini menunjukkan proses adsorpsi sedang bekerja secara optimal ketika adsorben sedang menyerap metanol dalam volume yang tinggi. Lalu setelah sekitar menit ke 25 temperatur *adsorbat* tidak menunjukkan penurunan lagi karena akibat jenuhnya karbon aktif dalam menyerap metanol.

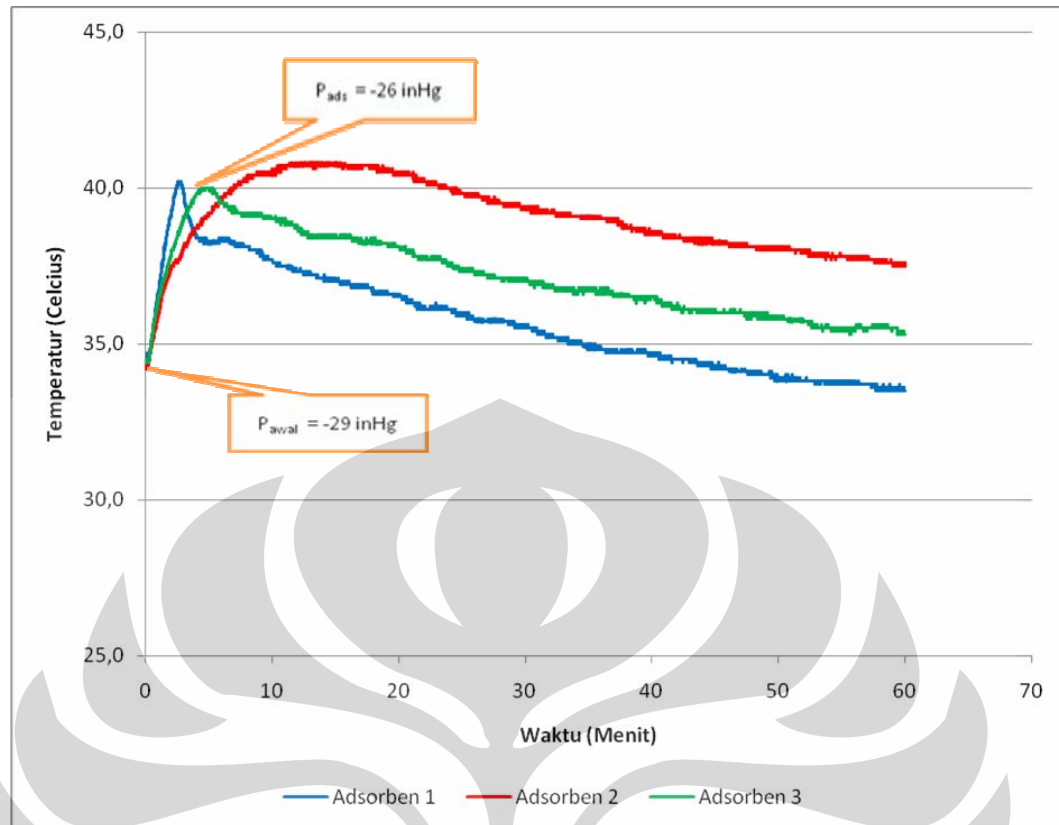
Temperatur terendah yang dicapai oleh *adsorbat 1* adalah sebesar $26,7^{\circ}\text{C}$, pada *adsorbat 2* adalah sebesar $25,6^{\circ}\text{C}$ dan pada *adsorbat 3* adalah sebesar $25,7$. Terjadi perbedaan temperatur pada saat sebelum proses adsorpsi dan setelah proses adsorpsi pada masing – masing percobaan. Pada *adsorbat 1* terjadi perbedaan temperatur sebesar $3,1^{\circ}\text{C}$, lalu pada *adsorbat 2* terjadi perbedaan temperatur sebesar $3,4^{\circ}\text{C}$ dan pada *adsorbat 3* terjadi perbedaan temperatur sebesar $4,5^{\circ}\text{C}$.





Gambar 4.2. Grafik temperatur *ambient* terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk karbon aktif tanpa jaring.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa masing – masing percobaan mempunyai data temperatur yang berbeda – beda, yaitu pada temperatur lingkungan 1 mempunyai rata – rata sebesar 31,5 °C , temperatur lingkungan 2 mempunyai rata – rata sebesar 33,8 °C dan temperatur lingkungan 3 mempunyai rata – rata sebesar 32,7 °C.



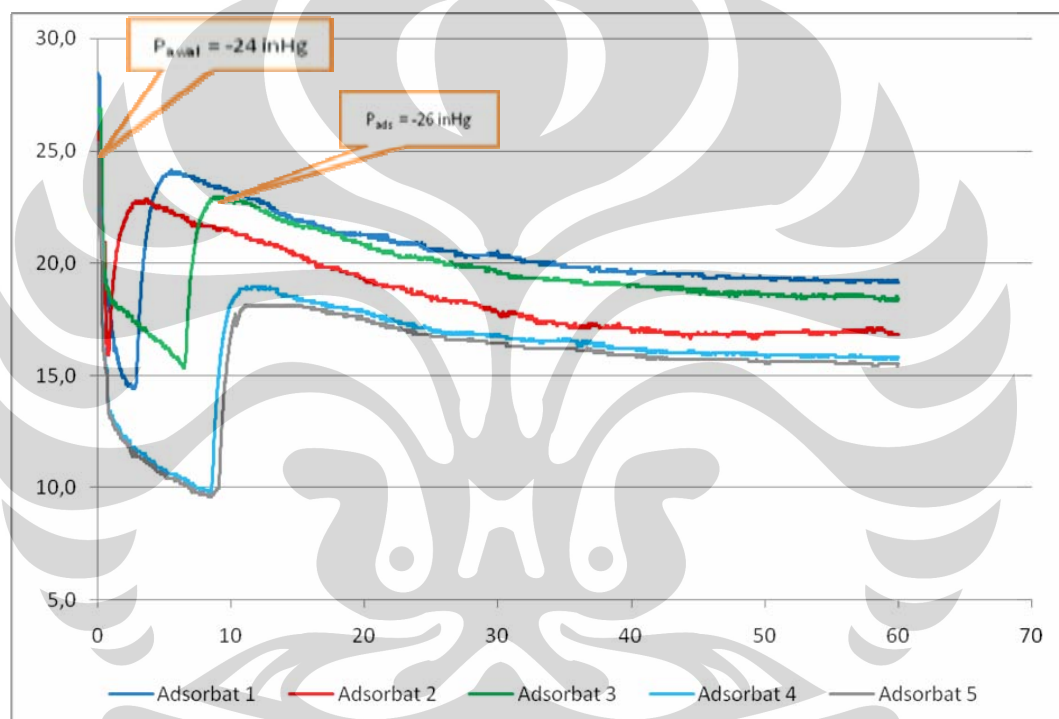
Gambar 4.3. Grafik temperatur adsorben terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk karbon aktif tanpa jaring.

Pada saat awal sebelum katup 1 dibuka tekanan pada pressure gauge di adsorber menunjukkan -29 inHg pada setiap pengambilan data masing – masing proses. Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa masing – masing adsorben mempunyai perubahan yang berbeda – beda. Pada adsorben 1 dan 2 terlihat perubahan suhu yang tajam pada sekitar menit ke 5, sedangkan pada adsorben 3 kenaikan temperatur terjadi secara perlahan dari awal proses adsorpsi sampai sekitar menit ke 15 lalu perlahan turun sampai akhir proses. Kenaikan temperatur ini terjadi akibat kenaikan tekanan karena proses *adsorption heat rejected* terserapnya metanol oleh adsorben sampai adsorben itu sendiri telah mencapai titik jenuhnya dan sudah tidak bisa lagi menyerap.

Pada saat setelah katup 1 dibuka pada *pressure gauge* di adsorber menunjukkan -26 inHg dan kondisi ini cenderung stabil selama proses adsorpsi berlangsung. Pada saat yang bersamaan tekanan di *adsorbat storage* juga mengalami kenaikan sebagai penyesuaian tekanan terhadap adsorber.

4.2 Analisa Proses Adsorpsi Menggunakan Karbon Aktif Dengan Jaring

Pada saat awal sebelum katup 2 dibuka tekanan pada *pressure gauge* di *adsorbat storage* menunjukkan -24 inHg pada setiap pengambilan data masing – masing proses. Dan temperatur pada masing – masing percobaan menunjukkan bahwa didalam *adsorbat storage* 1 adalah 28,3 °C, *adsorbat storage* 2 adalah 25,0 °C, *adsorbat storage* 3 adalah 26,9 °C, *adsorbat storage* 4 adalah 22,3 °C dan *adsorbat storage* 5 menunjukkan 25, 4 °C seperti yang tertera pada gambar 4.4.



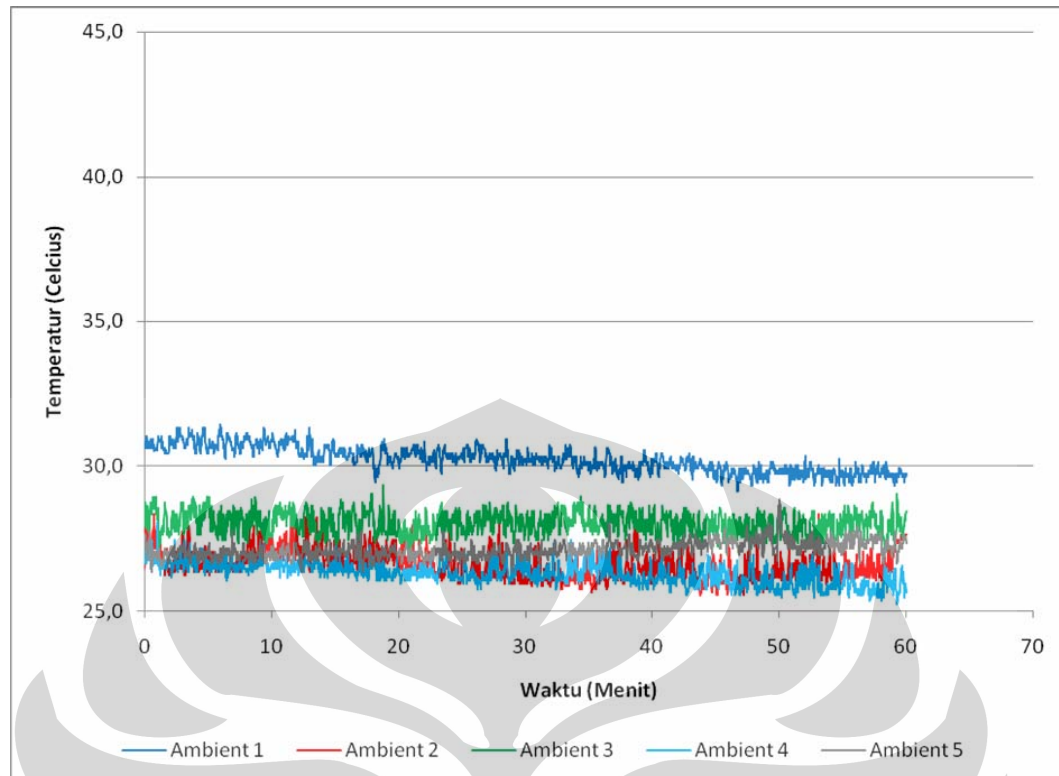
Gambar 4.4 Grafik temperatur *adsorbat* terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk karbon aktif dengan jaring.

Pada saat setelah katup 2 dibuka pada *pressure gauge* di *adsorbat storage* menunjukkan -26 inHg dan kondisi ini cenderung stabil selama proses adsorpsi berlangsung. Pada saat yang bersamaan tekanan di adsorber juga mengalami kenaikan sebagai penyesuaian tekanan terhadap *adsorbat storage*.

Pada awal proses adsorpsi terjadi penurunan suhu yang cukup cepat dan tajam hal itu dikarenakan karena ada *pressure drop* yang terjadi yang terjadi antara adsorber dan *adsorbat storage*, adsorben pada saat ini belum menyerap

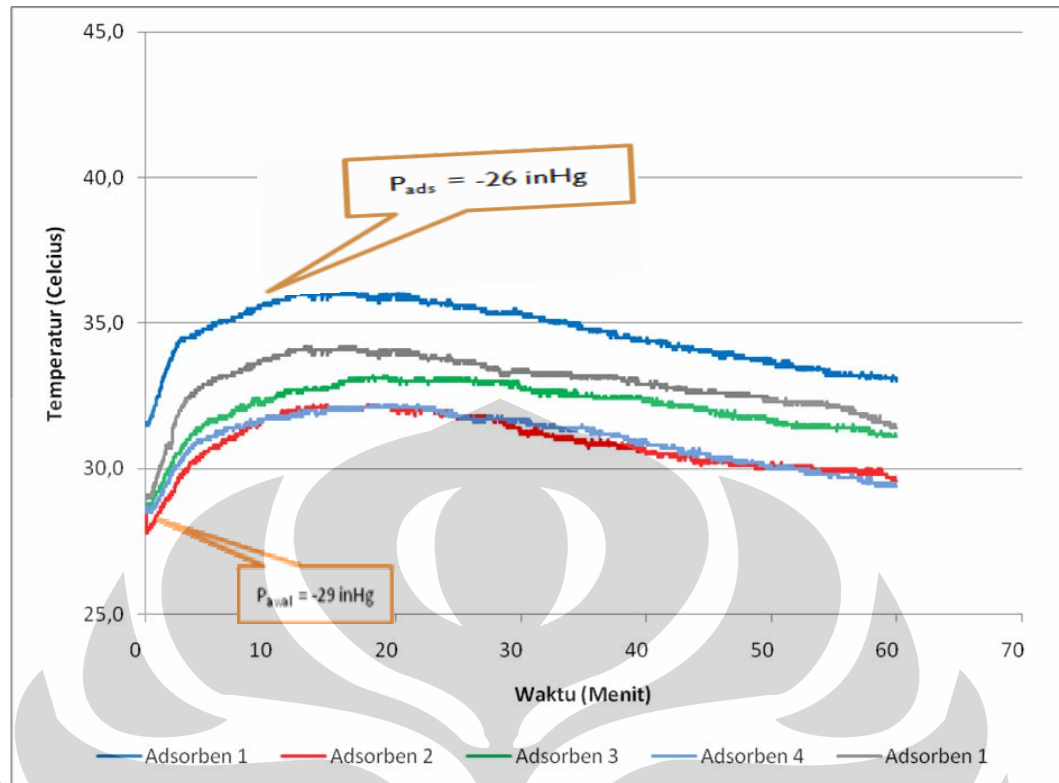
adsorbat, hal ini terjadi pada semua percobaan. Lalu perlahan temperatur naik sampai terjadi kesetimbangan tekanan antara adsorber dan *adsorbat storage*. Pada *adsorbat 1* temperatur mulai turun secara konstan pada sekitar menit ke-4 sampai menuju menit ke-41 dan pada *adsorbat 2* temperatur mulai turun secara konstan pada sekitar menit ke-6 sampai menuju menit ke-41 sedangkan pada *adsorbat 3* temperatur mulai turun secara konstan sekitar menit ke-8 sampai menuju menit ke-41. Hal ini menunjukkan proses adsorpsi sedang bekerja secara optimal ketika adsorben sedang menyerap metanol dengan volume yang tinggi. Lalu setelah sekitar menit ke-41 temperatur *adsorbat* tidak menunjukkan penurunan lagi karena akibat jenuhnya karbon aktif dalam menyerap metanol.

Temperatur terendah yang dapat dicapai pada *adsorbat 1* sebesar $19,1^{\circ}\text{C}$, pada *adsorbat 2* sebesar $16,8^{\circ}\text{C}$, pada *adsorbat 3* sebesar $18,3^{\circ}\text{C}$, pada *adsorbat 4* sebesar $15,7^{\circ}\text{C}$ dan pada *adsorbat 5* sebesar $15,4^{\circ}\text{C}$. Terjadi perbedaan temperatur pada saat sebelum proses adsorpsi dan setelah proses adsorpsi pada masing - masing percobaan. Pada *adsorbat 1* terjadi perbedaan temperatur sebesar $4,9^{\circ}\text{C}$, pada *adsorbat 2* terjadi perbedaan temperatur sebesar $6,0^{\circ}\text{C}$, pada *adsorbat 3* terjadi perbedaan temperatur sebesar $4,5^{\circ}\text{C}$, pada *adsorbat 4* terjadi perbedaan temperatur sebesar $3,2^{\circ}\text{C}$ dan pada *adsorbat 5* terjadi perbedaan temperatur sebesar $2,7^{\circ}\text{C}$.



Gambar 4.5. Grafik temperatur *ambient* terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk karbon aktif dengan jaring.

Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa masing – masing percobaan mempunyai data temperatur yang berbeda – beda, yaitu pada temperatur lingkungan 1 mempunyai rata – rata sebesar 30,2 °C , temperatur lingkungan 2 mempunyai rata – rata sebesar 26,6 °C, temperatur lingkungan 3 mempunyai rata – rata sebesar 28,0 °C, temperatur lingkungan 4 mempunyai rata – rata sebesar 26,3 °C dan temperatur lingkungan 5 mempunyai rata – rata sebesar 27,1 °C.



Gambar 4.6. Grafik temperatur adsorben terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk karbon aktif dengan jaring.

Pada saat awal sebelum katup 1 dibuka tekanan pada *pressure gauge* di adsorber menunjukkan -29 inHg pada setiap pengambilan data masing – masing proses. Pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa masing – masing adsorben mempunyai perubahan yang berbeda – beda. Pada awal proses terjadi setiap adsorben terlihat kenaikan temperatur secara konstan sampai menit ke-18, lalu setelah itu perlahan turun sampai akhir proses. Kenaikan temperatur ini terjadi akibat terserapnya metanol oleh adsorben sampai adsorben itu sendiri telah mencapai titik jenuhnya dan sudah tidak bisa lagi menyerap.

Pada saat setelah katup 1 dibuka pada *pressure gauge* di adsorber menunjukkan -26 inHg dan kondisi ini cenderung stabil selama proses adsorpsi berlangsung. Pada saat yang bersamaan tekanan di *adsorbat storage* juga mengalami kenaikan sebagai penyesuaian tekanan terhadap adsorber.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil alat pengujian adsorpsi dengan menggunakan variasi bentuk karbon aktif sebanyak 100 gr sebagai adsorben dan metanol sebanyak 120 ml sebagai adsorbat dapat disimpulkan:

1. Proses adsorpsi dipengaruhi oleh berbagai kondisi lingkungan sekitar.
2. Pada proses adsorpsi menggunakan karbon aktif tanpa jaring terjadi waktu penyerapan efektif metanol selama ± 20 menit dan menggunakan karbon aktif dengan jaring selama ± 35 menit.
3. Perbedaan temperatur terendah yang dapat dicapai saat proses adsorpsi menggunakan karbon aktif tanpa jaring adalah $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan menggunakan karbon aktif dengan jaring adalah $6,0^{\circ}\text{C}$.
4. Variasi bentuk karbon aktif yang menggunakan jaring mempunyai mass transfer yang lebih baik daripada karbon aktif yang tidak menggunakan jaring.

5.2 Saran

Setelah melakukan percobaan dan pengambilan data, maka penulis melihat masih terdapat beberapa kekurangan. Beberapa saran untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada tahap selanjutnya:

1. Menambah volume metanol agar pada saat proses adsorpsi kemungkinan metanol tersebut habis lebih kecil.
2. Menambah lapisan insulasi pada *adsorbat storage* sehingga kalor tidak dapat terserap atau terlepas dari sistem.
3. Pengkajian lebih dalam tentang DAQ yang digunakan dan melakukan kalibrasi untuk mendapatkan pembacaan ukuran yang lebih stabil.
4. Mengganti alat ukur tekanan dengan memakai *pressure transmitter* agar data tekanan dapat direkam dengan menggunakan komputer sehingga pembacaan tekanan di kedua komponen menjadi lebih akurat.
5. Mencari besaran bukaan katup pada *adsorbat storage* yang optimal untuk

mendapatkan hasil ekspansi yang terbaik.

6. Memakai software *Labview* dalam pengambilan data untuk mendapatkan data yang lebih terintegrasi.



DAFTAR ACUAN

Bahl, B.S, G.D Tuli, and A. Bahl, 1997, *Essential of Pysical Chemistry*, S. Chand and Company, Ltd, New Delhi

Do, Duang D., 1998, *Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics*, Imperial College Press, London

Firmansyah, Arfie Ikhsan, 2007, *Perancangan dan Pembuatan Alat Uji Adsorpsi Kinetik*, Tesis, FTUI, Depok

Munson, Bruce R., Young, Donald F., Okiishi, Theodore H., 2004, *Mekanika Fluida, Edisi Keempat, Jilid 1*, Erlangga, Jakarta

Nasruddin, 2005, *Dynamic Modeling and Simulation of a Two-Bed Silicagel- Water Adsorption Chiller*. Disertasi, Rwth Aachen, Germany

Perwitasari, Ayu, 2008, *Penentuan Luas Permukaan Zeolit Menggunakan Metode Adsorpsi Isotermis Superkritis CO₂ Dengan Metode Ono-Kondo*, Skripsi, DTK FTUI, Depok

Ponsw, Michel, *Principle of Adsorption Cycle for Refrigerator or Heat Pump*, Diakses Juni 2008, <http://www.limsi.fr/Individu/mpons/pricyc.htm>

Suryawan, B., 2004, *Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air*, Disertasi, Universitas Indonesia, Jakarta

Suzuki Motoyuki, 1990, *Adsorption Engineering*, Kodansha Ltd, Tokyo

DAFTAR KUTIPAN

- [1] (Arfan, 2006), Skripsi *Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Batubara Dengan Perlakuan Aktivasi Terkontrol Serta Uji Kinerjanya*, Depok : Departemen Teknik Kimia FT-UI,2006
- [2] Martin, Awaludin. *Kaji Karakteristik Karbon Aktif Sebagai Adsorben Terhadap Adsorbat Pasangannya*. Depok : Departemen Teknik Mesin FT-UI,2008
- [3](<http://www.cee.vt.edu/ewr/environmental/teach/wtprimer/carbon/sketcarb.htm> l#Adsorp, diakses 23 November 2008)



DAFTAR PUSTAKA

1. Ariyono, Yudi, 2008, *Pengujian Alat Pendingin Sistem Adsorpsi dengan Modifikasi pada Komponen Kondenser, Reservoir, Katup Ekspansi dan Evaporator*, Skripsi, FTUI, Depok
2. Bahl, B.S, G.D Tuli, and A. Bahl, 1997, *Essential of Physical Chemistry*, S. Chand and Company, Ltd, New Delhi
3. Cengel, Yunus A., Michael A. Boles, 2002, *Thermodynamics an Engineering Approach Fourth Edition International Edition*, McGraw-Hill
4. Culp, Archie W, 1996, *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*, Penerbit Erlangga, Jakarta
5. Do, Duang D., 1998, *Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics*, Imperial College Press, London
6. Firmansyah, Arfie Ikhsan, 2007, *Perancangan dan Pembuatan Alat Uji Adsorpsi Kinetik*, Tesis, FTUI, Depok
7. Holman, J.P, 1994, *Heat Transfer 7th Edition in SI units*, McGraw-Hill International, UK.
8. Munson, Bruce R.; Young, Donald F.; Okiishi, Theodore H., 2004, *Mekanika Fluida, Edisi Keempat, Jilid 1*, Erlangga, Jakarta
9. Nasruddin, 2005, *Dynamic Modeling and Simulation of a two Bed Silicagel-Water Adsorption Chille*, Disertasi, Rheinisch - Westfälische Technische Hochschule, Aachen
10. Perwitasari, Ayu, 2008, *Penentuan Luas Permukaan Zeolit Menggunakan Metode Adsorpsi Isotermis Superkritis CO₂ Dengan Metode Ono-Kondo*, Skripsi, DTK FTUI, Depok
11. Suryawan, Bambang, 2004, *Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air*, Disertasi, FTUI, Depok
12. Suzuki Motoyuki,, 1990, *Adsorption Engineering*, Kodansha Ltd, Tokyo
13. Taufan, Andi, 2008, *Pengujian Alat Pendingin Adsorpsi Dua Adsorber Dengan Menggunakan Metanol 250 ml sebagai Refrigeran*, Skripsi, FTUI, Depok
14. Wang, L.W. ,R.Z. Wang, J.Y. Wu, Y.X. Xu, S.G. Wang, 2004, *Design, Simulation and Performance of A Waste Heat Driven Adsorption Ice Maker for Fishing Boat*, School of Mechanical Engineering, Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai
15. Wang, L.W. , J.Y. Wu, J.Y. Wu, Z. Z. Xia, K. Wang, 2004, *A New Type Adsorber for Adsorption Ice Maker On Fishing Boats*, School of Mechanical

Engineering, Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai

16. Wang, L.W. , J.Y. Wu, R.Z. Wang, Y.X. Xu, S.G. Wang, X.R. Li, *Study of the performance of activated carbon-methanol adsorption systems concerning heat and mass transfer*, School of Mechanical Engineering, Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai
17. Wang, L.W. ,J.Y. Wu, R.Z. Wang, Y.X. Xu, S.G. Wang, 2003, *Experimental study of a solidified activated carbon-methanol adsorption ice maker*, Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai
18. Wikipedia Indonesia, 2008, Gaya van der Waals, Diakses 11 November 2008, <http://www.id.wikipedia.org>
19. Wikipedia Indonesia, 2008, Konferensi Perubahan IklimPBB 2007, Diakses 7 November 2008, <http://www.id.wikipedia.org>
20. Wikipedia Indonesia, 2008, van der Waals Force, Diakses 11 November 2008, <http://www.id.wikipedia.org>
21. Wikipedia, 2008, Thermocouple, Diakses 7 Desember 2008, <http://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple#K>
22. SMK Negeri 3 Kimia Madiun, 2008, Karbon Aktif , Diakses 1 Juni 2009, <http://smk3ae.wordpress.com/2008/05/26/karbon-aktif-tinjauan-literatur/#comment-533>

LAMPIRAN 1
PROPERTY OF METHANOL

1. Molar mass = 32,042 Kg/Kmol
2. Triple point temperature = -97,54 °C
3. Normal boiling point = 64,482 °C
4. Critical Point
 - T = 239,45 °C
 - P = 8,1035 MPa
5. Density = 275,56 Kg/m³
6. Range of applicability
 - T_{min} = -97,54 °C
 - T_{mak} = 346,85 °C
 - P_{mak} = 800 MPa
 - P_{min} = 1139,7 Kg/m³

LITERATURE REFERENCE

de Reuck, K.M. and Craven, R.J.B., "Methanol, International Thermodynamic Tables of the Fluid State - 12," IUPAC, Blackwell Scientific Publications, London, 1993. The uncertainties of the equation of state are generally 0.1% in density and 2% in the speed of sound, except in the critical region and high pressures.

LAMPIRAN 2
SATURATION VAPOR/LIQUID TABLES OF METHANOL

T = -20 °C to T= 100 °C

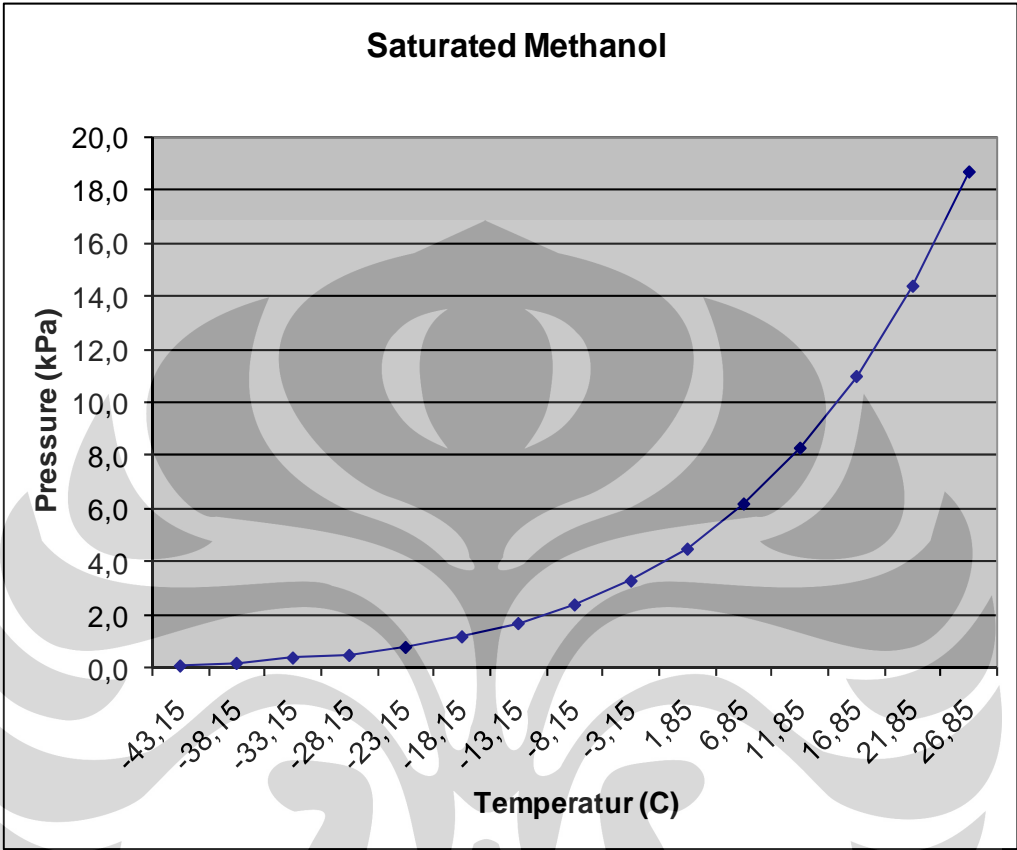
NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties

Temp. (°C)	Absolute Pressure (mmHg)	Liquid Density (kg/L)	Vapor Density (kg/L)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg.K)	Vapor Entropy (kJ/kg.K)
-20,000	7,7125	0,82852	0,000015773	-214,39	1016,6	-0,72693	4,1357
-19,000	8,3072	0,82757	0,000016927	-212,07	1017,7	-0,71777	4,1208
-18,000	8,9419	0,82662	0,000018153	-209,74	1018,7	-0,70863	4,1061
-17,000	9,6191	0,82567	0,000019457	-207,41	1019,8	-0,69951	4,0915
-16,000	10,341	0,82472	0,000020841	-205,08	1020,9	-0,69041	4,0771
-15,000	11,111	0,82378	0,000022311	-202,74	1022,0	-0,68134	4,0628
-14,000	11,930	0,82283	0,000023871	-200,40	1023,0	-0,67229	4,0487
-13,000	12,802	0,82188	0,000025524	-198,05	1024,1	-0,66325	4,0347
-12,000	13,730	0,82094	0,000027277	-195,70	1025,2	-0,65424	4,0208
-11,000	14,716	0,81999	0,000029133	-193,35	1026,2	-0,64525	4,0070
-10,000	15,764	0,81905	0,000031098	-190,99	1027,3	-0,63627	3,9934
-9,0000	16,877	0,81811	0,000033178	-188,63	1028,4	-0,62732	3,9799
-8,0000	18,058	0,81717	0,000035377	-186,27	1029,4	-0,61839	3,9666
-7,0000	19,312	0,81622	0,000037702	-183,90	1030,5	-0,60947	3,9534
-6,0000	20,640	0,81528	0,000040158	-181,52	1031,6	-0,60057	3,9402
-5,0000	22,049	0,81434	0,000042751	-179,15	1032,6	-0,59169	3,9273
-4,0000	23,540	0,81340	0,000045488	-176,77	1033,7	-0,58283	3,9144
-3,0000	25,119	0,81246	0,000048376	-174,38	1034,7	-0,57398	3,9017
-2,0000	26,790	0,81152	0,000051421	-171,99	1035,8	-0,56515	3,8890
-1,0000	28,557	0,81058	0,000054630	-169,60	1036,8	-0,55634	3,8765
0,00000	30,424	0,80965	0,000058010	-167,20	1037,9	-0,54754	3,8641
1,0000	32,398	0,80871	0,000061570	-164,79	1038,9	-0,53876	3,8519
2,0000	34,482	0,80777	0,000065316	-162,38	1039,9	-0,52999	3,8397
3,0000	36,681	0,80683	0,000069257	-159,97	1041,0	-0,52124	3,8277
4,0000	39,002	0,80590	0,000073401	-157,55	1042,0	-0,51250	3,8158
5,0000	41,449	0,80496	0,000077756	-155,13	1043,1	-0,50378	3,8039
6,0000	44,029	0,80402	0,000082332	-152,70	1044,1	-0,49507	3,7922
7,0000	46,747	0,80309	0,000087137	-150,27	1045,1	-0,48637	3,7806
8,0000	49,609	0,80215	0,000092181	-147,84	1046,2	-0,47769	3,7691
9,0000	52,622	0,80122	0,000097473	-145,39	1047,2	-0,46902	3,7577
10,000	55,793	0,80028	0,00010302	-142,95	1048,2	-0,46036	3,7465
11,000	59,127	0,79935	0,00010884	-140,49	1049,2	-0,45172	3,7353
12,000	62,632	0,79841	0,00011494	-138,03	1050,3	-0,44308	3,7242

13,000	66,316	0,79748	0,00012133	-135,57	1051,3	-0,43446	3,7132
14,000	70,185	0,79654	0,00012802	-133,10	1052,3	-0,42585	3,7023
15,000	74,248	0,79560	0,00013502	-130,63	1053,3	-0,41726	3,6916
16,000	78,512	0,79467	0,00014234	-128,15	1054,3	-0,40867	3,6809
17,000	82,985	0,79373	0,00015001	-125,66	1055,4	-0,40009	3,6703
18,000	87,676	0,79280	0,00015802	-123,17	1056,4	-0,39152	3,6598
19,000	92,593	0,79186	0,00016639	-120,68	1057,4	-0,38297	3,6494
20,000	97,746	0,79093	0,00017514	-118,17	1058,4	-0,37442	3,6391
21,000	103,14	0,78999	0,00018427	-115,67	1059,4	-0,36588	3,6289
22,000	108,79	0,78905	0,00019381	-113,15	1060,4	-0,35735	3,6188
23,000	114,71	0,78812	0,00020376	-110,63	1061,4	-0,34883	3,6088
24,000	120,90	0,78718	0,00021414	-108,11	1062,4	-0,34032	3,5989
25,000	127,37	0,78624	0,00022497	-105,57	1063,4	-0,33181	3,5890
26,000	134,14	0,78530	0,00023626	-103,04	1064,4	-0,32332	3,5793
27,000	141,21	0,78437	0,00024803	-100,49	1065,4	-0,31483	3,5696
28,000	148,60	0,78343	0,00026028	-97,939	1066,4	-0,30635	3,5600
29,000	156,32	0,78249	0,00027305	-95,382	1067,4	-0,29787	3,5506
30,000	164,37	0,78155	0,00028634	-92,818	1068,4	-0,28941	3,5411
31,000	172,78	0,78061	0,00030017	-90,248	1069,4	-0,28095	3,5318
32,000	181,55	0,77966	0,00031456	-87,671	1070,4	-0,27249	3,5226
33,000	190,70	0,77872	0,00032954	-85,087	1071,4	-0,26405	3,5134
34,000	200,24	0,77778	0,00034510	-82,497	1072,4	-0,25560	3,5043
35,000	210,18	0,77683	0,00036129	-79,900	1073,3	-0,24717	3,4953
36,000	220,53	0,77589	0,00037810	-77,296	1074,3	-0,23874	3,4864
37,000	231,32	0,77494	0,00039557	-74,685	1075,3	-0,23031	3,4775
38,000	242,55	0,77399	0,00041372	-72,068	1076,3	-0,22189	3,4688
39,000	254,24	0,77305	0,00043256	-69,443	1077,3	-0,21348	3,4601
40,000	266,41	0,77210	0,00045211	-66,811	1078,2	-0,20507	3,4515
41,000	279,06	0,77115	0,00047241	-64,172	1079,2	-0,19666	3,4429
42,000	292,22	0,77019	0,00049346	-61,526	1080,2	-0,18826	3,4344
43,000	305,90	0,76924	0,00051529	-58,873	1081,1	-0,17986	3,4260
44,000	320,12	0,76829	0,00053792	-56,212	1082,1	-0,17146	3,4177
45,000	334,89	0,76733	0,00056139	-53,544	1083,0	-0,16307	3,4094
46,000	350,23	0,76637	0,00058570	-50,868	1084,0	-0,15468	3,4012
47,000	366,16	0,76542	0,00061089	-48,185	1085,0	-0,14630	3,3931
48,000	382,70	0,76446	0,00063698	-45,495	1085,9	-0,13792	3,3851
49,000	399,86	0,76349	0,00066399	-42,796	1086,9	-0,12954	3,3771
50,000	417,67	0,76253	0,00069196	-40,090	1087,8	-0,12116	3,3691
51,000	436,13	0,76156	0,00072090	-37,377	1088,7	-0,11279	3,3613
52,000	455,28	0,76060	0,00075085	-34,655	1089,7	-0,10441	3,3535
53,000	475,13	0,75963	0,00078182	-31,926	1090,6	-0,096042	3,3457
54,000	495,69	0,75866	0,00081386	-29,188	1091,5	-0,087672	3,3381
55,000	517,00	0,75769	0,00084698	-26,443	1092,5	-0,079305	3,3305
56,000	539,07	0,75671	0,00088122	-23,689	1093,4	-0,070938	3,3229
57,000	561,93	0,75574	0,00091660	-20,928	1094,3	-0,062573	3,3154
58,000	585,58	0,75476	0,00095316	-18,158	1095,2	-0,054209	3,3080

59,000	610,07	0,75378	0,00099092	-15,380	1096,1	-0,045846	3,3006
60,000	635,40	0,75279	0,0010299	-12,594	1097,1	-0,037483	3,2933
61,000	661,61	0,75181	0,0010702	-9,7988	1098,0	-0,029121	3,2860
62,000	688,71	0,75082	0,0011118	-6,9957	1098,9	-0,020759	3,2788
63,000	716,73	0,74983	0,0011547	-4,1840	1099,7	-0,012397	3,2717
64,000	745,69	0,74884	0,0011989	-1,3638	1100,6	-0,0040346	3,2646
65,000	775,62	0,74784	0,0012446	1,4650	1101,5	0,0043276	3,2575
66,000	806,54	0,74685	0,0012917	4,3025	1102,4	0,012690	3,2505
67,000	838,47	0,74585	0,0013403	7,1488	1103,3	0,021053	3,2436
68,000	871,45	0,74484	0,0013904	10,004	1104,2	0,029417	3,2367
69,000	905,50	0,74384	0,0014420	12,868	1105,0	0,037782	3,2298
70,000	940,65	0,74283	0,0014952	15,740	1105,9	0,046147	3,2230
71,000	976,91	0,74182	0,0015500	18,622	1106,7	0,054514	3,2163
72,000	1014,3	0,74080	0,0016065	21,513	1107,6	0,062882	3,2096
73,000	1052,9	0,73979	0,0016647	24,413	1108,4	0,071252	3,2029
74,000	1092,7	0,73877	0,0017246	27,322	1109,3	0,079623	3,1963
75,000	1133,8	0,73774	0,0017863	30,240	1110,1	0,087997	3,1897
76,000	1176,0	0,73672	0,0018498	33,168	1110,9	0,096372	3,1832
77,000	1219,6	0,73569	0,0019152	36,105	1111,7	0,10475	3,1767
78,000	1264,5	0,73466	0,0019825	39,051	1112,6	0,11313	3,1702
79,000	1310,8	0,73362	0,0020517	42,007	1113,4	0,12151	3,1638
80,000	1358,5	0,73258	0,0021229	44,973	1114,2	0,12989	3,1575
81,000	1407,5	0,73154	0,0021962	47,948	1115,0	0,13828	3,1512
82,000	1458,0	0,73049	0,0022715	50,932	1115,7	0,14667	3,1449
83,000	1510,0	0,72944	0,0023490	53,926	1116,5	0,15506	3,1386
84,000	1563,5	0,72838	0,0024287	56,931	1117,3	0,16346	3,1324
85,000	1618,6	0,72733	0,0025106	59,945	1118,1	0,17186	3,1262
86,000	1675,2	0,72626	0,0025947	62,969	1118,8	0,18026	3,1201
87,000	1733,4	0,72520	0,0026812	66,002	1119,6	0,18867	3,1140
88,000	1793,3	0,72413	0,0027701	69,046	1120,3	0,19708	3,1079
89,000	1854,8	0,72305	0,0028614	72,100	1121,0	0,20549	3,1019
90,000	1918,1	0,72198	0,0029551	75,165	1121,7	0,21391	3,0958
91,000	1983,1	0,72089	0,0030514	78,239	1122,5	0,22233	3,0899
92,000	2049,9	0,71981	0,0031504	81,324	1123,2	0,23075	3,0839
93,000	2118,6	0,71872	0,0032519	84,419	1123,9	0,23918	3,0780
94,000	2189,1	0,71762	0,0033562	87,524	1124,5	0,24762	3,0721
95,000	2261,5	0,71652	0,0034632	90,641	1125,2	0,25606	3,0662
96,000	2335,8	0,71542	0,0035731	93,767	1125,9	0,26450	3,0604
97,000	2412,1	0,71431	0,0036859	96,905	1126,5	0,27295	3,0546
98,000	2490,4	0,71319	0,0038016	100,05	1127,2	0,28140	3,0488
99,000	2570,8	0,71207	0,0039203	103,21	1127,8	0,28986	3,0431
100,00	2653,2	0,71095	0,0040421	106,38	1128,4	0,29833	3,0373

LAMPIRAN 3
GRAFIK SATURASI METANOL



LAMPIRAN 4
SPESIFIKASI KARBON AKTIF



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 ³]	450 ± 30
Moisture (as packed)	[wt-%]	< 2,0
Surface area (BET)	[m ² /g]	1050 ± 50
Ash content	[wt-%]	< 8,0
Iodine No.	[mgI ₂ /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 _s =0,9*		39± 2
p/p _s =0,1		34 ± 2
p/p _s =0,01		24 ± 2
p/p _s =0,001		16 ± 2

(*p/p_s = relative saturation/at 20°C = 324 g/m³)

The typical properties are the average of analysis !

LAMPIRAN 5
GAMBAR TIGA DIMENSI ALAT ADSORPSI

