



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PROSES ADSORPSI DENGAN VARIASI BENTUK
SILIKA GEL SEBAGAI ADSORBEN DAN AIR SEBAGAI
ADSORBAT UNTUK APLIKASI PENDINGIN ALTERNATIF**

SKRIPSI

MUHAMMAD RIYADH

0706198726

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PROSES ADSORPSI DENGAN VARIASI BENTUK
SILIKA GEL SEBAGAI ADSORBEN DAN AIR SEBAGAI
ADSORBAT UNTUK APLIKASI PENDINGIN ALTERNATIF**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

MUHAMMAD RIYADH

0706198726

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**ANALISA PROSES ADSORPSI DENGAN VARIASI BENTUK
SILIKA GEL SEBAGAI ADSORBEN DAN AIR SEBAGAI
ADSORBAT UNTUK APLIKASI PENDINGIN ALTERNATIF**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya. Penulisan skripsi ini dibuat bersama **Muhamad Fadillah Utama Putera** dengan judul tugas akhir "**Analisa Proses Adsorpsi Dengan Variasi Bentuk Karbon Aktif Sebagai Adsorben Dan Metanol Sebagai Adsorbat Untuk Aplikasi Pendingin Alternatif**" sehingga terdapat kata-kata atau kalimat yang sama.

Nama : Muhammad Riyadh

NPM : 0706198726

Tanda Tangan :

Tanggal : 6 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Muhammad Riyadh
NPM : 0706198726
Program studi : Teknik Mesin
Judul skripsi : Analisa Proses Adsorpsi Dengan Variasi Bentuk
Silika Gel dan Air 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, M.Eng ()
Penguji : Dr.Ir. M.Idrus Alhamid ()
Penguji : Dr.Ir. Budihardjo, Dipl.-Ing. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2009

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir 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) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral, dan
- (3) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

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

Depok, 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 : Muhammad Riyadh
NPM : 0706198726
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**ANALISA PROSES ADSORPSI DENGAN VARIASI BENTUK
SILIKA GEL SEBAGAI ADSORBEN DAN AIR 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

(Muhammad Riyadh)

ABSTRAK

Nama : Muhammad Riyadh
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Analisa Proses Adsorpsi Dengan Variasi Bentuk Silika Gel
Sebagai Adsorben dan Air Sebagai Adsorbat untuk Aplikasi
Pendingin Alternatif

Sistem adsorpsi pada padatan atau sistem adsorpsi fisik banyak sekali digunakan dewasa ini. Sistem adsorpsi digunakan pada sistem penjernihan air, penyerapan limbah, *gas storage* (penyimpanan gas), sistem pendingin, pemurnian gas (*gas purification*) dan lain-lain. Pada sistem adsorpsi media penyerapannya biasa disebut sebagai adsorben dan zat yang terserap disebut sebagai adsorbat. adsorben adalah zat atau material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas didalamnya. Sistem ini menggunakan silika gel sebanyak 150 gr sebagai adsorben dan air sebanyak 120 ml sebagai adsorbat. Alat pengujian adsorpsi dirancang untuk tidak mengalami kebocoran pada tekanan sampai dengan -29 inHg *gauge* untuk mendapatkan temperatur saturasi air yang mencukupi untuk proses penyerapan kalor. Sedangkan material yang dipilih pada komponen alat ini adalah material yang tahan terhadap korosi akibat air seperti kaca dan *stainless steel*. Perbedaan temperature terendah yang dicapai di *adsorbat storage* sebesar 13⁰C.

Kata kunci : proses adsorpsi, silika gel, air

ABSTRACT

Name : Muhammad Riyadh
Major Study : Mechanical Engineering
Title : Analysis of Adsorption Process with form Variation of Silica Gel as an Adsorbent and Water as an Adsorbate for Application of Alternative Refrigeration

Adsorption in solid surface is used by research and industrial. Adsorption system has used for water purity, gas storage, cooling system, gas purification etc. In adsorption system, Material or physic media is conceiving call adsorbent and the material is permeated call adsorbate. Adsorbent is material, which is having ability to fasten and maintain liquid or gas. In this system using 150 gr of silica gel as an adsorbent and 120 ml water as an adsorbate. This device is designed to be able to prevent leakage at pressure up to -29 inHg gauge to reach the saturation temperature which is enough for heat absorption process. While, material selected for component of this machine is a material that capable to resist the corrosion effect caused by methanol such as glass and stainless steel. Lowest temperature difference achieved on adsorbate storage is 13 °C.

Keyword : adsorption process, silica gel, water

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN (S1)	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	3
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Metode Penulisan	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
2. DASAR TEORI	5
2.1 Adsorpsi	5
2.1.1. Adsorpsi secara fisika	6
2.1.2. Adsorpsi secara kimia	7
2.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi	7
2.3 Pasangan adsorben adsorbat	8
2.3.1 Adsorben	9
2.3.2 Adsorbat	12
2.4. Prinsip sistem pendinginan adsorpsi	13
2.5. Siklus ideal pendinginan adsorpsi	15
2.6. Temperatur dan tekanan saturasi	19
2.7. Pengukuran tekanan	19
3. METODE PENGUJIAN DAN PENGAMBILAN DATA	21
3.1. Deskripsi Alat Ppengujian 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	24
3.3. Persiapan Pengujian	24
3.4. Metode Pengujian Adsorpsi	27
3.5. Pengambilan Data	28
4. DATA DAN ANALISA HASIL PERCOBAAN	29
4.1. Proses Adsorpsi Menggunakan Silica Gel Tanpa Jaring	29
4.2. Proses Adsorpsi Menggunakan Silica Gel Dengan Jaring	32
5. KESIMPULAN DAN SARAN	36
5.1. Kesimpulan	36
5.2. Saran	36
DAFTAR REFERENSI	38
DAFTAR PUSTAKA	40

LAMPIRAN 1	42
LAMPIRAN 2	44
LAMPIRAN 3	46



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Adsorption Nomenclature</i>	5
Gambar 2.2 Bentuk butiran silika gel	10
Gambar 2.3 Bentuk butiran karbon aktif	11
Gambar 2.4 Bentuk butiran zeolit	12
Gambar 2.5 Siklus sistim pendingin adsorpsi	14
Gambar 2.6 Diagram tekanan vs temperatur yang menggambarkan garis isosters	15
Gambar 2.7 Diagram <i>clapeyron</i> ideal	16
Gambar 2.8 Proses pemanasan	17
Gambar 2.9 Proses pemanasan-desorpsi-kondensasi	17
Gambar 2.10 Proses pendinginan	18
Gambar 2.11 Proses pendinginan-adsorpsi-evaporasi	19
Gambar 2.12 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	25
Gambar 3.5 <i>Power Supply</i>	25
Gambar 3.6 Pemanas jenis <i>Bend</i>	26
Gambar 3.7 Kipas	26
Gambar 4.1 Grafik temperatur adsorben terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk silika gel tanpa jaring	29
Gambar 4.2 Grafik temperatur adsorbat terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk silika gel tanpa jaring	30
Gambar 4.3 Grafik temperatur <i>ambient</i> terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk silika gel tanpa jaring	31

Gambar 4.4	Grafik temperatur adsorben terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk silica gel dengan jaring	32
Gambar 4.5	Grafik temperatur adsorbat terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk silica gel dengan jaring	33
Gambar 4.6	Grafik temperatur <i>ambient</i> terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk silica gel dengan jaring	34



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Saturation Vapor/Liquid Tables of Water	42
Lampiran 2 Property of Silica Gel	44
Lampiran 3 Gambar Tiga Dimensi Alat Uji Adsorpsi	46



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Sistem refrigerasi merupakan salah satu kebutuhan penting dalam kehidupan manusia sejak zaman dahulu. Tidak serumit saat ini, sejarah awal refrigerasi dahulu sangat lekat dengan upaya manusia untuk mengawetkan makanannya, setidaknya sampai ditemukannya refrigerasi mekanik yang kemudian membawa refrigerasi dari satu topik isu ke topik isu lainnya [1].

Saat ini setidaknya ada tiga isu umum besar yang terkait dengan bidang refrigerasi, yaitu :

1. Energi

Kebutuhan energi pada mesin refrigerasi/pengkondisian udara terhadap pasokan listrik nasional cukup signifikan. Beban listrik untuk mesin pengkondisian udara mengkonsumsi tidak kurang dari 1/5 suplai listrik di Jepang. Untuk belahan Amerika Utara, kebutuhan listrik untuk mesin pengkondisian udara pada beban puncak mencapai 3.6 - 9.2 GW. Kebutuhan tersebut dinilai besar jika dibandingkan dengan kemampuan PT PLN yang sekitar 39.5 GW. Sedangkan di Indonesia, 60% konsumsi listrik hotel di Jakarta digunakan untuk memasok energi mesin pengkondisian udara. Oleh karena itu, usaha penghematan energi yang dilakukan terhadap mesin pengkondisian udara akan berdampak signifikan terhadap usaha penghematan energi dunia

2. Penipisan ozon

Hipotesis yang disampaikan oleh Molina dan Rowland (1974) mengenai dampak buruk *chlorofluorocarbon* (CFC) terhadap lapisan ozon mencetuskan babak baru dalam dunia pengkondisian udara. Verifikasi yang dilakukan berbagai penelitian yang dibiayai beberapa perusahaan penghasil refrigeran pada akhir 1970-an menghasilkan temuan yang mendukung hipotesis Molina dan Rowland. Diperkirakan terjadi perusakan lapisan ozon sekitar 3% per-dekade. Untuk itu, dunia segera mengambil langkah serius untuk mencegah bertambah parahnya kerusakan lapisan ozon. Protokol Montreal tahun 1987 mengatur penggunaan dan penghapusan berbagai zat yang ditengarai menyebabkan kerusakan lapisan ozon

dan refrigeran CFC termasuk salah satu diantaranya. Protokol Montreal dan berbagai amandemennya mengamankan penghapusan *CFCs* di negara maju pada tahun 1996, sedangkan untuk negara berkembang pada tahun 2010 (*United Nations for Environment Program, 2000*).

3. Pemanasan global

Mayoritas ilmuwan dunia meyakini bahwa pemanasan global yang terjadi belakangan ini diakibatkan oleh gas-gas rumah kaca yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Selain berkontribusi pada produksi CO₂ melalui system pembangkit energi untuk suplai listrik mesin refrigerasi, teknologi refrigerasi juga berkontribusi langsung pada pemanasan global melalui kebocoran dan buangan refrigeran (yang bersifat gas rumah kaca) ke lingkungan. Terkait dengan hal ini, Protokol Kyoto tahun 1997 tentang perubahan iklim bumi telah mengatur penggunaan refrigeran yang termasuk dalam gas rumah kaca, yakni *HFCs (Hydro Fluoro Carbons)*. Gas-gas yang memiliki potensi efek rumah kaca dikategorikan dalam zat *GWP (Global Warming Potential)*, sedangkan zat perusak lapisan ozon disebut sebagai *ODS (Ozon Depletion Substance)* [2].

Dengan demikian, terdapat tiga hal yang mempengaruhi perkembangan mesin refrigerasi saat ini, yakni: (1) Penghematan energi, (2) Tuntutan refrigeran *non-ODS*, dan (3) Tuntutan refrigeran *non-GWP*. Untuk itu, guna menjawab tiga kebutuhan terkait dengan perkembangan teknologi refrigerasi di atas, ilmuwan melakukan berbagai inovasi yang pada umumnya terkategori dalam tiga hal: (1) Perbaikan prestasi dan karakteristik mesin refrigerasi yang telah eksis, (2) Penelitian guna menghasilkan refrigeran *non-ODS* dan *non-GWP*, dan (3) Pencarian teknologi refrigerasi alternative [2].

Untuk menjawab tantangan diatas maka dikembangkanlah sistem pendingin dengan menggunakan sistem adsorpsi. Salah satunya adalah mesin pendingin adsorpsi dengan pasangan adsorben-adsorbatnya adalah silika gel dan air. Meskipun memiliki COP yang relatif kecil jika dibandingkan dengan sistem refrigerasi mekanik, namun sistem ini diyakini efektif menjawab permasalahan diatas karena air, refrigeran yang dipakai pada sistem ini, memiliki karakteristik *zero ozone depletion potential (ODP)* dan *zero global warming potential (GWP)*. Disamping itu sistem ini dapat menjawab permasalahan energi karena sistem ini

manfaatkan sumber panas yang rendah seperti menggunakan panas sinar matahari atau panas dari gas buang hasil pembakaran [3].

1.2 TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui proses adsorpsi pada pengujian ini dengan menggunakan sampel air sebanyak 120 ml dan variasi bentuk silika gel sebanyak 150 gr.
2. Mengetahui perbedaan temperatur yang dapat dicapai selama proses adsorpsi berjalan.

1.3 PEMBATASAN MASALAH

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

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

1.4 METODE PENULISAN

Metode yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah dengan melakukan studi literatur, 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. Hasil pendataan yang didapat kemudian dianalisa sedemikian rupa sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan.

1.5 SISTIMATIKA PENULISAN

Adapun sistematika penulisan yang dibuat pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini disampaikan teori-teori yang menjelaskan tentang sistem adsorpsi yang menjadi dasar dalam pembuatan dan pengujian alat.

BAB 3 METODE PENGUJIAN DAN PENGAMBILAN DATA

Bab ini membahas mengenai cara pengambilan data pada saat pengujian di laboratorium dengan beberapa komponen pendukung untuk membantu pengambilan data. Metode yang dilakukan dengan memvakum adsorbat pada wadahnya dengan tujuan menghilangkan udara yang ada, lalu mengkondisikan *adsorber* menggunakan pemanas menjaga temperatur didalam *adsorber* 100°C dalam keadaan vakum untuk proses desorpsi dan pada saat proses adsorpsi adsorben dikondisikan pada temperatur ruangan (26°C - 28°C) dengan tambahan kipas angin untuk membantu proses adsorpsi.

BAB 4 ANALISA DATA HASIL PERCOBAAN

Bab ini membahas mengenai analisa hasil pengambilan data dari proses adsorpsi sehingga diketahui perbedaan hasil adsorpsi dari variasi bentuk adsorben.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

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

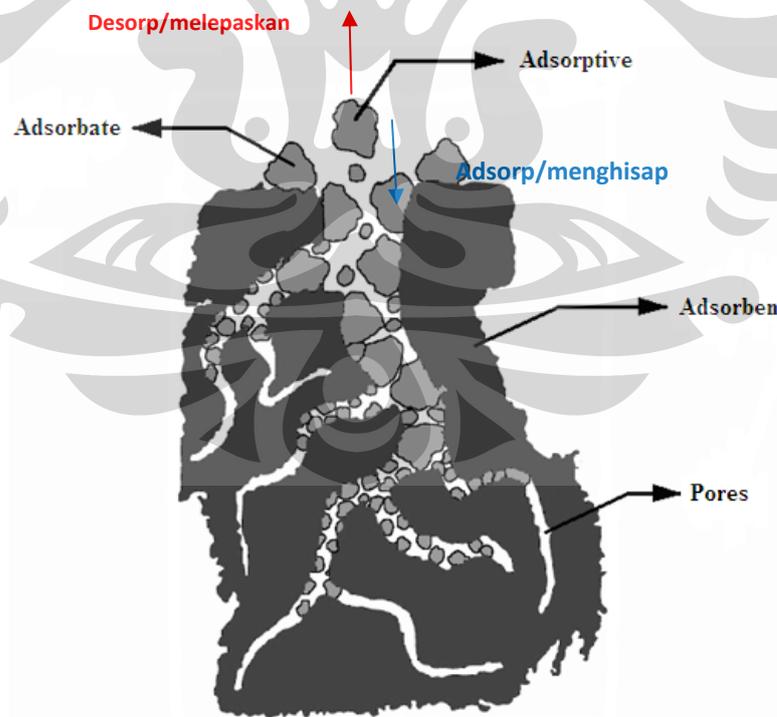
BAB 2

DASAR TEORI

2.1 ADSORPSI

Adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida (cairan maupun gas) terikat kepada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu *film* (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut. Berbeda dengan absorpsi, dimana fluida terserap oleh fluida lainnya dengan membentuk suatu larutan. [4].

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



Gambar 2.1. *Adsorption Nomenclature* [5].

Pada umumnya proses adsorpsi diklasifikasikan menjadi dua proses yaitu proses adsorpsi secara fisik yang disebabkan oleh gaya *van der Waals*, dan secara kimia yang disebabkan melalui reaksi kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan atom-atom penyusun permukaan adsorben [6]. Jika interaksi antara padatan dan molekul yang mengembun tadi relatif lemah, maka proses itu disebut sebagai adsorpsi fisik. Walaupun adsorpsi biasanya dikaitkan dengan perpindahan dari suatu gas atau cairan ke suatu permukaan padatan, perpindahan dari suatu gas ke suatu permukaan cairan juga terjadi. Substansi yang terkonsentrasi pada permukaan didefinisikan sebagai adsorbat dan material pada mana adsorbat terakumulasi didefinisikan sebagai adsorben. [7]

Pada dasarnya adsorben dibagi menjadi tiga yaitu, adsorben yang mengadsorpsi secara fisik (karbon aktif, silika gel dan zeolit), adsorben yang mengadsorpsi secara kimia (*calcium chloride, metal hydrides, dan complex salts*), dan *composite adsorbent* adsorben yang mengadsorpsi secara kimia dan fisik [3].

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 molekular 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. Molekul-molekul adsorbat terikat secara lemah karena adanya gaya *van der Waals*. 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 100-130 °C selama 0,5 – 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 diatas temperatur kritis adsorbat. Sehingga kalor adsorpsi yang dibebaskan tinggi. Adsorben yang mengadsorpsi secara kimia pada umumnya sulit diregenerasi [7].

2.2 FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI ADSORPSI

Daya adsorpsi dipengaruhi oleh 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. Tekanan (P), Tekanan yang dimaksud adalah tekanan adsorbat. Kenaikan tekanan adsorbat dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi.
4. 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 *exothermic*. Berkurangnya temperatur akan menambah jumlah adsorbat yang teradsorpsi demikian juga untuk peristiwa sebaliknya.
5. Interaksi Potensial (E), interaksi potensial antara adsorbat dengan dinding adsorben sangat bervariasi, tergantung dari sifat adsorbat-adsorben.

2.3 PASANGAN ADSORBEN ADSORBAT

Pasangan adsorben-adsorbat untuk adsorpsi fisik adalah silika gel-air, zeolit-air, karbon aktif-amonia, karbon aktif-metanol [6]. Zeolit-air dan silika gel-air merupakan pasangan adsorben-adsorbat untuk *cool storage* sedangkan karbon aktif-metanol merupakan pasangan adsorben-adsorbat untuk pembuatan es [3].

Adsorben memiliki pasangan masing-masing, pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Polar adsorben atau *Hydrophilic*, meliputi silica gel, zeolit, *active alumina*. Dengan air sebagai adsorbatnya.
2. Non-polar adsorben atau *Hydrophobic*, meliputi karbon aktif dan adsorben polimer. Dengan oli atau gas sebagai adsorbatnya [6].

2.3.1 Adsorben

Luasnya permukaan spesifik, sangat mempengaruhi besarnya kapasitas penyerapan dari adsorben. Semakin luas permukaan spesifik dari adsorben, maka semakin besar pula kemampuan penyerapannya. Volume adsorben membatasi jumlah dan ukuran pori-pori pembentuk permukaan dalam (*internal surface*) yang menentukan besar atau kecilnya permukaan penyerapan spesifik. Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi :

1. Luas permukaannya besar, sehingga kapasitas adsorpsinya tinggi.
2. Memiliki aktifitas terhadap komponen yang diadsorp.
3. Memiliki daya tahan guncang yang baik.
4. Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi dan desorpsi.

Macam-macam adsorben yang umum digunakan, antara lain :

- a. Silika gel

Silika gel cenderung mengikat adsorbat dengan energi yang relatif lebih kecil dan membutuhkan temperatur yang rendah untuk proses desorpsinya, dibandingkan jika menggunakan adsorben lain seperti karbon atau zeolit. Kemampuan desorpsi silika gel meningkat dengan meningkatnya temperatur. Silika gel terbuat dari silika dengan ikatan kimia mengandung air kurang lebih

5%. Pada umumnya temperatur kerja silika gel sampai pada 200 °C, jika dioperasikan lebih dari batas temperatur kerjanya maka kandungan air dalam silika gel akan hilang dan menyebabkan kemampuan adsorpsinya hilang. Bentuk butiran silika gel yang banyak digunakan untuk proses adsorpsi adalah seperti gambar 2.2.



Gambar 2.2 Bentuk butiran silika gel [8].

b. Aktif Karbon

Aktif karbon dapat dibuat dari batu bara, kayu, dan tempurung kelapa melalui proses *pyrolizing* dan *carburizing* pada temperatur 700 sampai 800 °C. Hampir semua adsorbat dapat diserap oleh karbon aktif kecuali air. Aktif karbon dapat ditemukan dalam bentuk bubuk dan *granular*. Pada umumnya karbon aktif dapat mengadsorpsi metanol atau amonia sampai dengan 30%, bahkan karbon aktif super dapat mengadsorpsi sampai dua kalinya. Bentuk butiran karbon aktif adalah seperti gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bentuk butiran karbon aktif [9]

c. Zeolit

Zeolit mengandung kristal zeolit yaitu mineral *aluminosilicate* yang disebut sebagai penyaring molekul. Mineral *aluminosilicate* ini terbentuk secara alami. Zeolit buatan dibuat dan dikembangkan untuk tujuan khusus, diantaranya 4A, 5A, 10X, dan 13X yang memiliki volume rongga antara 0.05 sampai 0.30 cm^3/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. Bentuk butiran zeolit adalah seperti gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bentuk butiran zeolit [10].

2.3.2 Adsorbat

Adsorbat yang biasa digunakan untuk pendinginan adalah air, metanol, dan ammonia.

a. 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 ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$), 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.

b. Metanol

Di banyak hal kemampuan atau performa metanol berada diantara air dan ammonia. Metanol memiliki tekanan penguapan yang lebih tinggi dibandingkan dengan air (meskipun pada tekanan 1 atm), sehingga sangat cocok untuk membuat es. Meskipun demikian pada temperatur lebih dari 120 °C, tekanan menjadi tidak stabil. Untuk temperatur aplikasi lebih dari 200 °C adsorben yang biasa digunakan adalah karbon aktif, silika gel, dan zeolit.

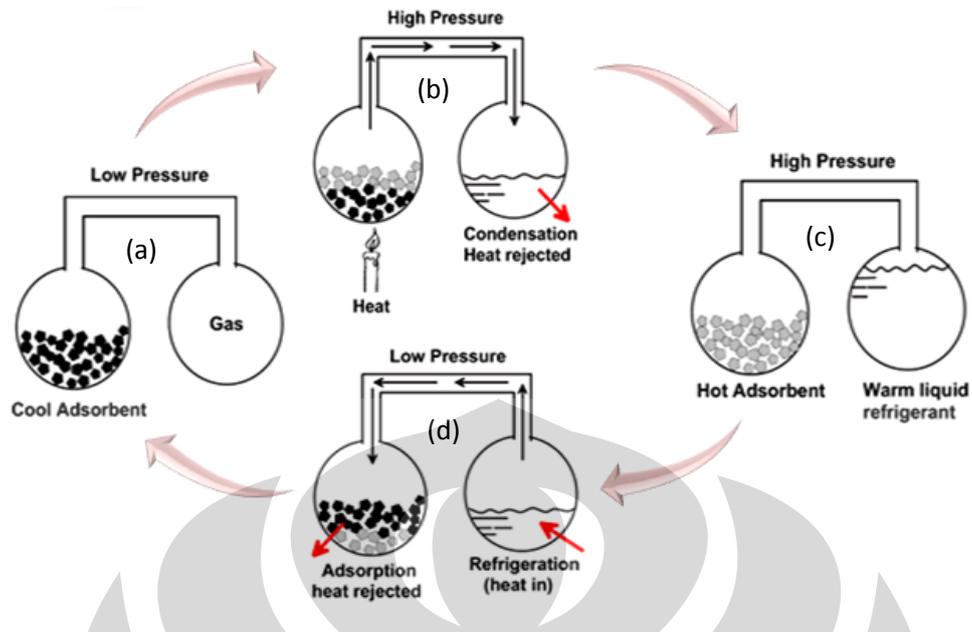
c. Ammonia

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

- Beracun, sehingga penggunaannya dibatasi.
- Tidak dapat ditampung pada instalasi yang terbuat dari tembaga atau campurannya [3].

2.4 PRINSIP SISTEM PENDINGINAN ADSORPSI

Siklus pendingin adsorpsi berlangsung dengan penyerapan refrigeran/adsorbat dalam fasa uap kedalam 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 2.5.



Gambar 2.5 Siklus sistim pendingin adsorpsi [11]

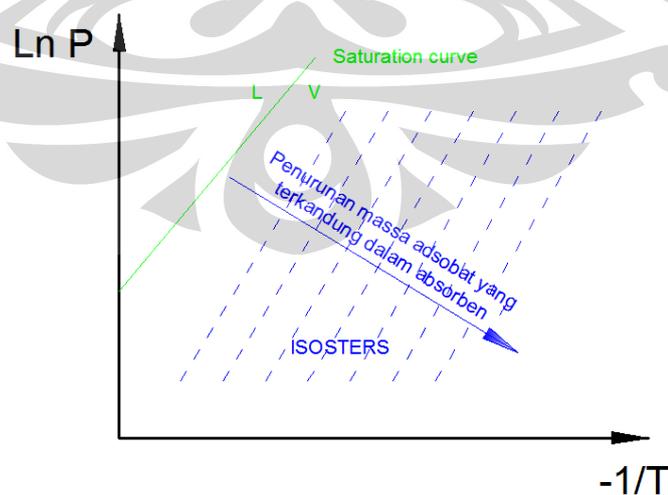
Pada awalnya sistem dikondisikan pada tekanan dan temperatur rendah. Dua buah botol labu (*vessel*) yang berhubungan, dimana pada labu pertama terdapat adsorben (silika gel) yang mengandung adsorbat berkonsentrasi tinggi sedangkan pada labu yang kedua terdapat adsorbat dalam fasa uap (Gambar 2.5a). Labu 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 2.5b) 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 2.5c) [11].

2.5 SIKLUS IDEAL SISTEM PENDINGIN ADSORPSI

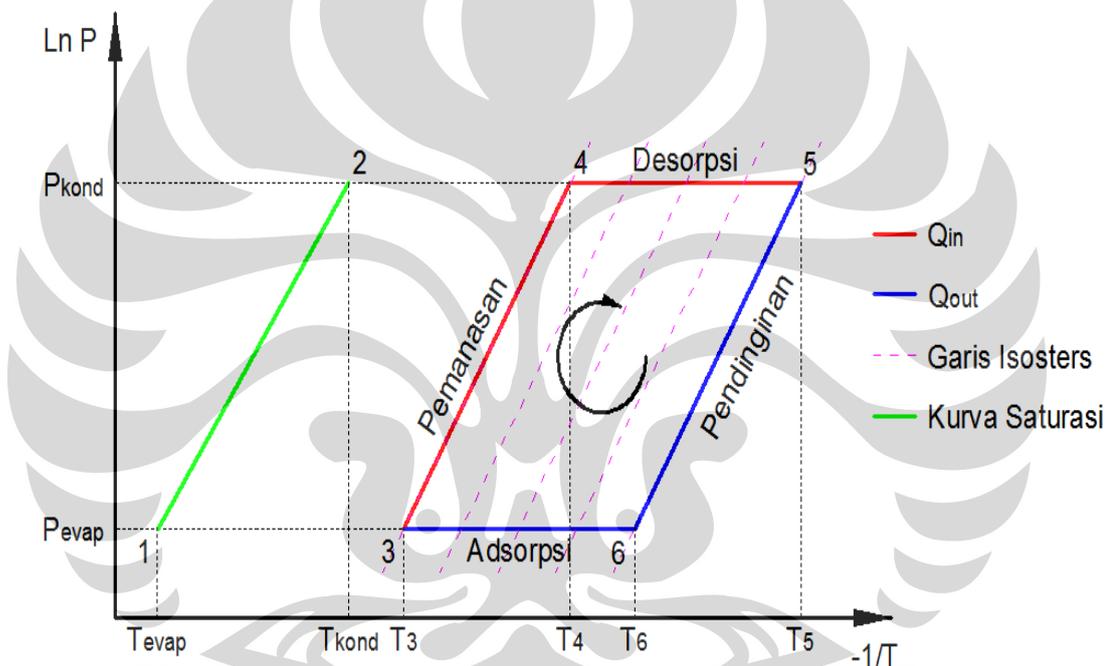
Adsorpsi dan desorpsi merupakan suatu proses yang dapat berlangsung secara reversibel. Adsorpsi merupakan proses *exothermic* dimana adsorben (fluida) dan adsorbat (padatan) melepaskan panas sehingga menyebabkan penurunan pergerakan molekul adsorbat yang mengakibatkan adsorbat tersebut menempel pada 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 menghasilkan 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 2.6.



Gambar 2.6. Diagram tekanan vs temperatur yang menggambarkan garis isosters

[12]

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 2.7.



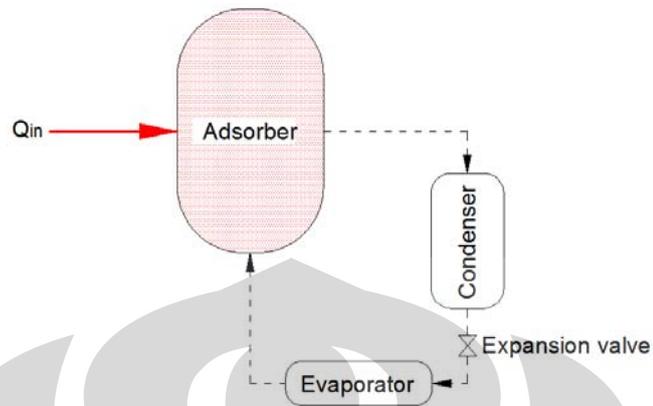
Gambar 2.7. Diagram *clapeyron* ideal [12]

Keempat proses tersebut adalah sebagai berikut:

1. Proses Pemanasan (pemberian tekanan)

Selama periode ini, tidak ada aliran air yang masuk maupun keluar dari adsorber. Adsorber menerima panas sehingga temperatur adsorber meningkat dan diikuti oleh peningkatan tekanan dari tekanan evaporasi menjadi tekanan

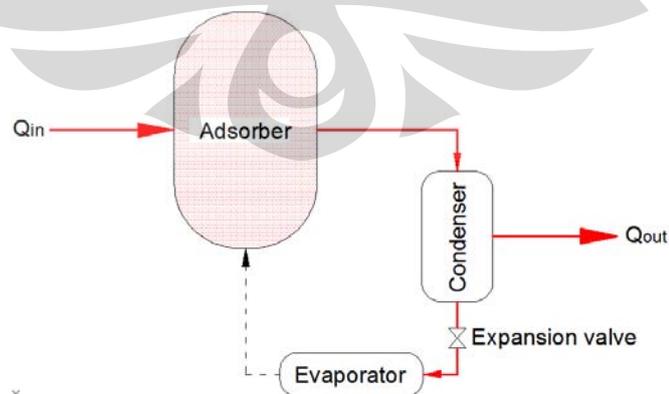
kondensasi. Proses ini sama seperti proses kompresi pada sistem pendingin mekanik. Proses ini diilustrasikan pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Proses pemanasan [12]

2. Proses pemanasan-desorpsi-kondensasi

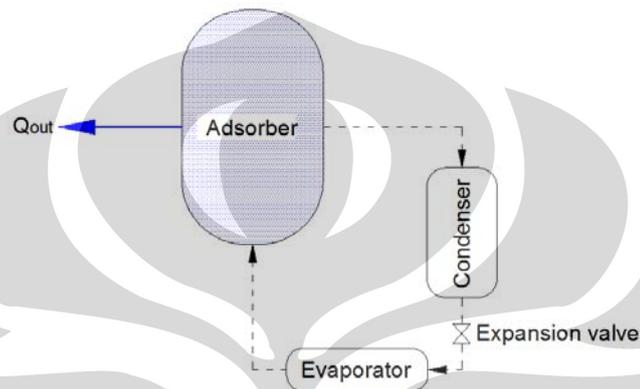
Selama periode ini, adsorber terus dialiri panas sehingga adsorber terus mengalami peningkatan dan temperatur yang menyebabkan timbulnya uap desorpsi. Sementara itu, katup aliran ke kondensor dibuka sehingga adsorbat dalam bentuk gas mengalir ke kondensor untuk mengalami proses kondensasi menjadi cair. Kalor laten pengembunan adsorbat diserap oleh media pendingin pada kondenser. Siklus ini sama dengan siklus kondensasi pada sistem pendingin mekanik. Proses ini diilustrasikan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Proses pemanasan-desorpsi-kondensasi [12]

3. Proses pendinginan (penurunan tekanan)

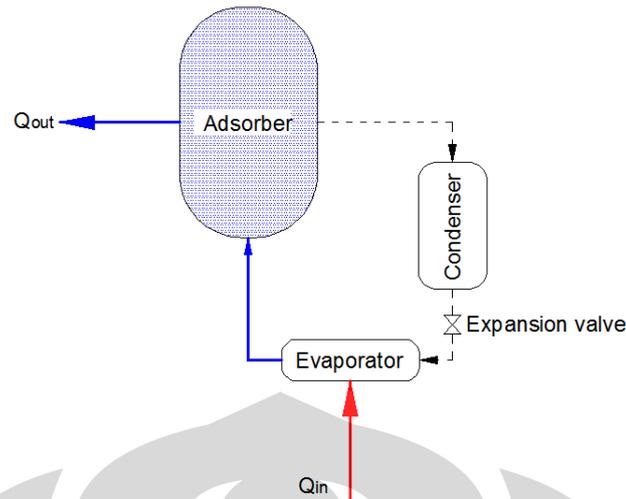
Selama periode ini, tidak ada aliran air yang masuk maupun keluar dari adsorber. Adsorber melepaskan panas dengan cara didinginkan sehingga suhu di adsorber turun dan diikuti oleh penurunan tekanan dari tekanan kondensasi ke tekanan evaporasi. proses ini sama seperti proses ekspansi pada sistem pendingin mekanik. Proses ini ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Proses pendinginan [12]

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 [12]. Proses ini diilustrasikan pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Proses pendinginan-adsorpsi-evaporasi [12]

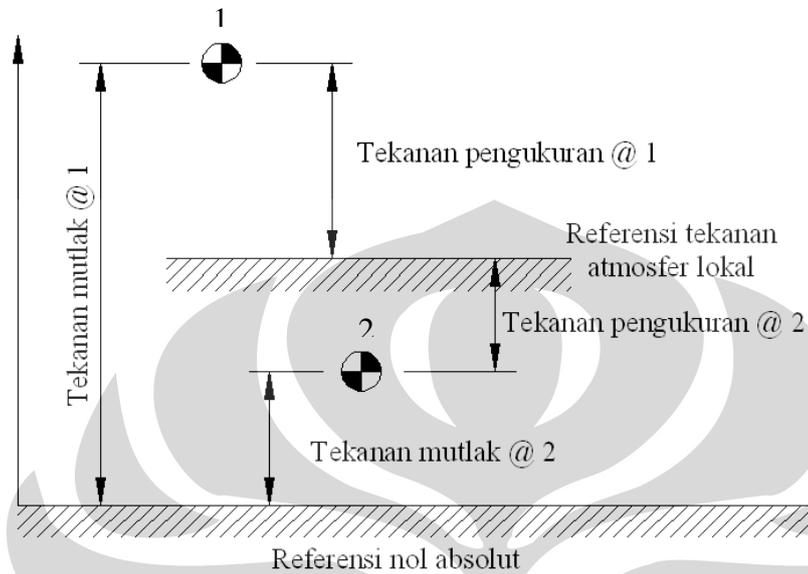
2.6 TEMPERATUR DAN TEKANAN SATURASI

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

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 2.9 untuk dua contoh tekanan pada titik 1 dan 2.



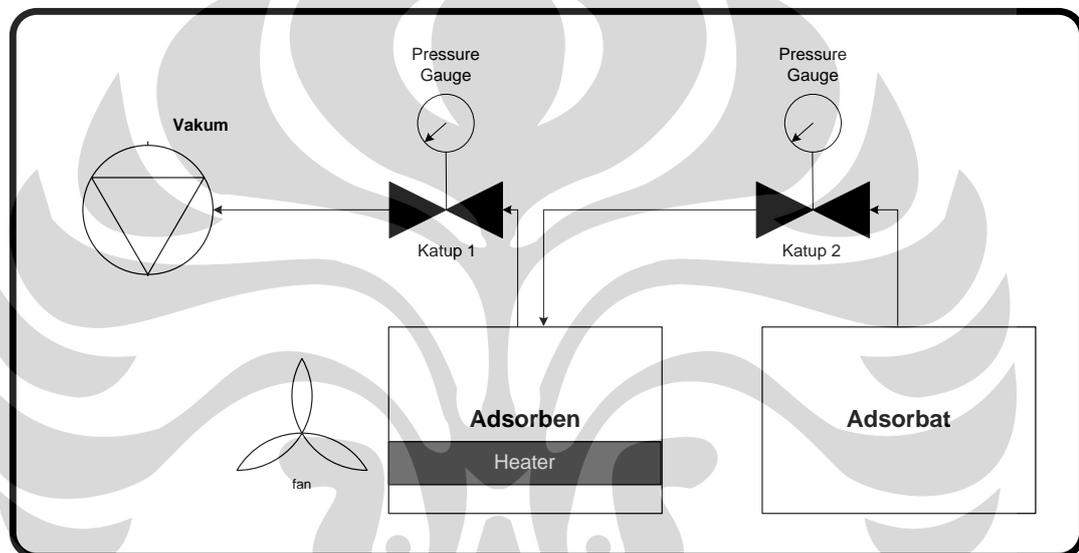
Gambar 2.12. Representasi grafik tekanan pengukuran dan tekanan mutlak

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 100°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 kinetik 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 suhu pada saat pengukuran berlangsung, sedangkan *pressure gauge* digunakan untuk mengetahui tekanan adsorpsi.

Data *analog* hasil pengukuran tekanan dan temperatur diubah DAQ menjadi data *digital*. Data *digital* hasil pengukuran tekanan dan 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*.

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

	DAQ
Pabrikan	Advantech
Tipe <i>analog input module</i>	4018 ⁺
Tipe <i>converter</i>	4520
<i>Converter connection</i>	RS232
<i>Input accepted :</i>	
Thermocouples :	J, K, T, E, R, S and B
Milivolt :	-
Volt :	-
Current input :	±20 mA, 4~20 mA
Rata-rata sampel	10 sampel/ detik
Jumlah channel	8
<i>Accuracy</i>	± 0.1%
<i>Power supply</i>	10-30 Vdc

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



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

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 :

Pabrikan : Chog
Jenis : Screw
Tipe *thermocouples* : K
Temperature range : -200°C - 1250°C
Accuracy : Class II \rightarrow 0.75 %

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:

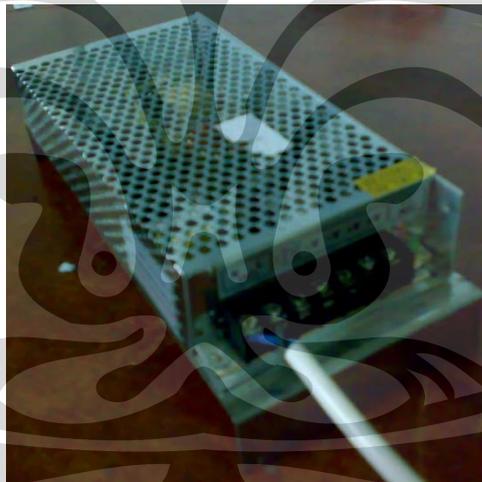
- Pabrikan : Ogawa seiki co, ltd
- Tipe : DRP-1400
- Jenis : *Rotary vacuum pump*
- Vakum maksimal : 6.7×10^{-2} pa
- Laju pemvakuman : 1200 l/ min. (50 Hz)
: 1440 l/ min (60 Hz)
- Konsumsi energi : 2.2 kW



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 : *Switching JL-145S12*
- AC Input : 170V ~ 264V
- DC Output : 12V \approx 12A



Gambar 3.5. *Power Supply*

3. Air yang berfungsi sebagai *adsorbat*.
4. Silika Gel pro-analis yang berfungsi sebagai adsorben.
5. Komputer yang memiliki *software* perekam data pengukuran.
6. Kabel tipe RS 232 sebagai *converter connection* antara DA & C dengan komputer.
7. *Thermaflox* sebagai insulasi pada sistem untuk menjaga agar tidak ada kalor yang masuk atau keluar pada *adsorbat storage*.

8. Pemanas sebagai alat bantu untuk *degassing*, yang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Pabrikasi : Komersial (*Home Industry*)
- Tipe : *Bend*
- Output : 300 W
- Thermostat : 0 - 300°C



Gambar 3.6. Pemanas 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

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

Lalu proses kedua yang dilakukan adalah proses *degassing* dengan cara menyalakan pemanas selama 30 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 yang terletak di *adsorber* hingga tekanan mendekati - 29 inHg. Katup yang terletak di *adsorbat storage* ditutup agar air 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 (*ambient*), katup pada *adsorbat storage* tetap dalam keadaan tertutup.

3.4. Metode Pengujian Adsorpsi

Proses adsorpsi dimulai dengan mendinginkan *adsorber* menggunakan kipas sampai suhu dalam *adsorber* mendekati suhu lingkungan (*ambient*) untuk proses *pre-cooling*. Angin dihembuskan kearah *adsorber* yang terhubung dengan adsorben di dalam *adsorber*. Pada proses ini katup 1 dalam keadaan terbuka dan pompa vakum masih berjalan dan katup 2 dalam keadaan tertutup.

Setelah suhu adsorben mendekati suhu lingkungan dengan toleransi $\pm 1^{\circ}\text{C}$, katup 2 yang menghubungkan *adsorber* yang didinginkan dengan *adsorbat storage* dibuka agar air di dalam *adsorbat storage* dapat diserap oleh silika gel yang berfungsi sebagai adsorben dan katup 1 dalam keadaan tertutup. Tekanan di dalam *adsorbat storage* akan menurun mengikuti tekanan *adsorber*. Dalam kondisi tekanan rendah, panas dari *adsorbat storage* digunakan untuk menguapkan air sehingga didapatkan efek pendinginan. Proses ini dilakukan selama 60 menit.

Selama proses *pre-cooling* dan adsorpsi, diambil data-data berupa: tekanan dan temperatur *adsorber*, serta tekanan dan temperatur *adsorbat storage*.

Pada saat pengambilan data proses adsorpsi terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu:

1. Temperatur lingkungan 26 ± 1 °C.
2. Katup 2 yang menghubungkan *adsorber* dengan pompa *vakum* dalam kondisi tertutup.
3. Saat proses adsorpsi temperatur adsorben sama dengan temperatur lingkungan dengan toleransi ± 1 °C.

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 *adsorber*, *adsorbat storage*, dinding luar *adsorber* dan lingkungan (*ambient*). 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.

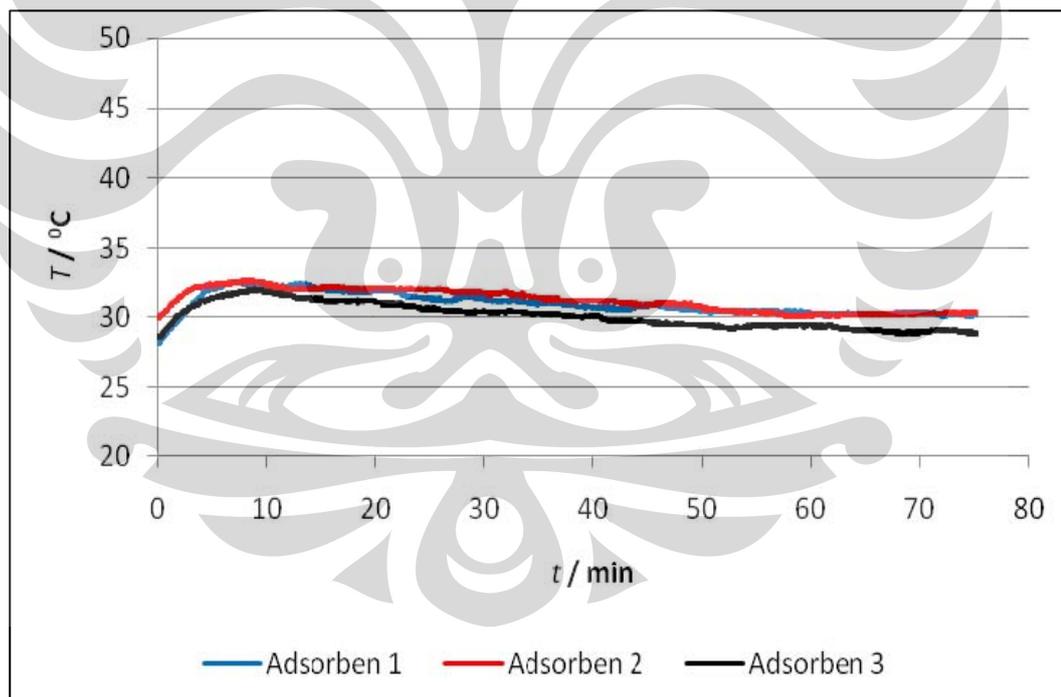
BAB 4

DATA DAN ANALISA HASIL PERCOBAAN

4.1 Proses Adsorpsi Menggunakan Silika Gel Tanpa Jaring

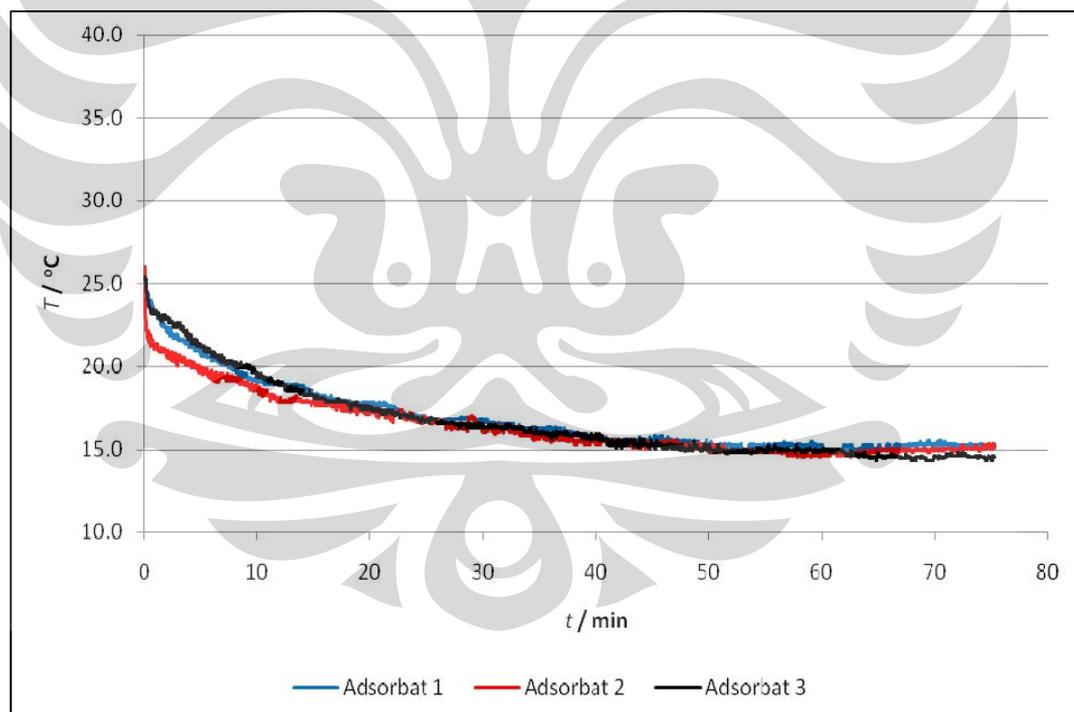
Proses adsorpsi dilakukan setelah proses *degassing* dengan temperatur yang dihasilkan oleh *heater* sebesar 130°C . Proses *degassing* dilakukan selama tiga puluh menit sehingga zat-zat yang melekat pada adsorben diharapkan terlepas seluruhnya ke lingkungan yang dihubungkan dengan kompresor vakum.

Pendinginan adsorben di dalam *adsorber* dilakukan dengan jalan menghembuskan angin melalui kipas yang diarahkan langsung ke *adsorber*. Proses ini dinamakan *precooling* dan dilakukan hingga temperatur adsorben mendekati temperatur lingkungan (*ambient*). Gambar 4.1 - 4.3 merupakan data pada proses adsorpsi yang diambil saat percobaan tanggal 12-17 Juni 2009.



Gambar 4.1 Grafik temperatur adsorben terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk silika gel tanpa jaring.

Pada saat katup 2 dibuka, tekanan di *adsorber* mulai mengalami kenaikan sehingga temperatur adsorben yang berada di dalam *adsorber* pun ikut mengalami kenaikan (Gambar 4.1) sebagai akibat adsorben menyerap air dari *adsorbat storage*. Pada lima menit awal terjadi perubahan tekanan yang signifikan dari -29 inHg menjadi -28inHg. Kemudian pada menit ke-10 menjadi -27 inHg. dan selanjutnya cenderung stabil hingga menit terakhir proses adsorpsi mencapai -26 inHg. Jadi, selama 60 menit proses tersebut *adsorber* mengalami perubahan tekanan sebesar 3 inHg. Perbedaan tekanan antara *adsorber* dengan *adsorbat storage* ini dapat dijadikan sebagai indikasi performa *mass transfer* adsorben yang digunakan. Dengan membandingkan besarnya perbedaan tekanan antara satu adsorben dengan adsorben lainnya, maka proses penyerapan adsorbat oleh adsorben dapat diketahui lebih banyak terjadi akibat perbedaan tekanan atau oleh kemampuan penyerapan oleh adsorben itu sendiri.

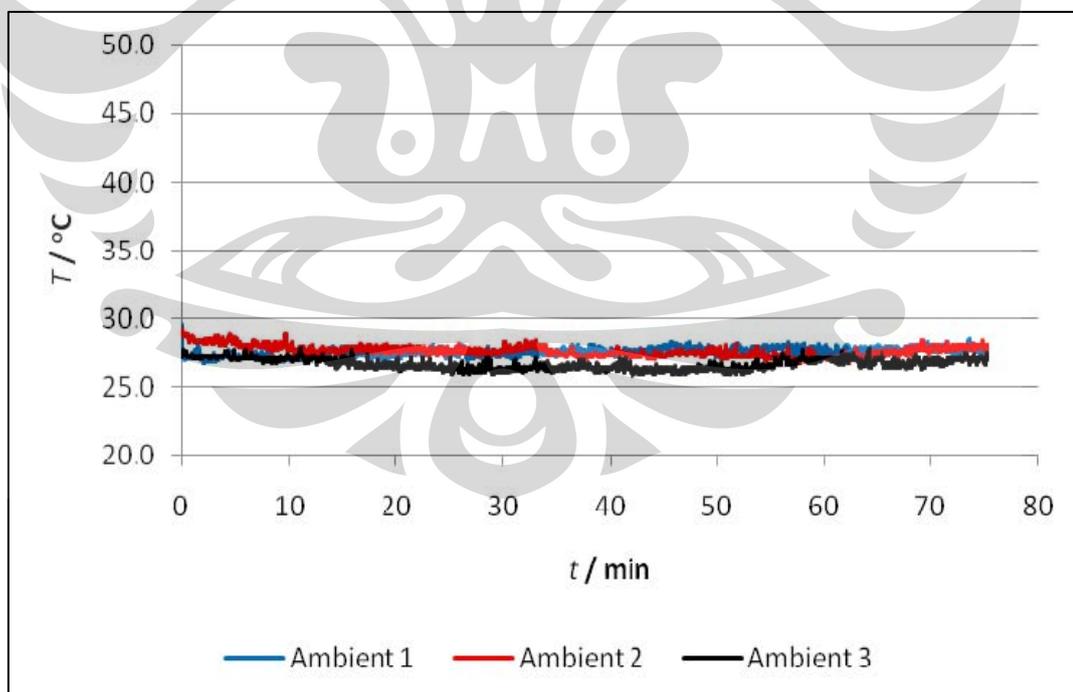


Gambar 4.2 Grafik temperatur adsorbat terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk silika gel tanpa jaring.

Tekanan di *adsorbat storage* juga mengalami penurunan yang sangat signifikan (Gambar 4.2) hingga lima menit awal proses, yaitu dari -24 inHg menjadi -25 inHg. Selanjutnya tekanan pada *adsorbat storage* stabil pada tekanan -26 inHg. hingga akhir proses. Jadi, selama 60 menit terjadi perubahan tekanan sebesar 2 inHg.

Kenaikan tekanan pada *adsorber* dan penurunan tekanan pada *adsorbat storage* pada saat awal proses diakibatkan oleh penyesuaian tekanan antara *adsorber* dengan *adsorbat storage*. Dimana pada saat awal proses terdapat perbedaan tekanan antara *adsorber* dan *adsorbat storage* sebesar 5 inHg.

Terjadi perbedaan temperatur pada saat sebelum proses adsorpsi dan setelah proses adsorpsi pada masing-masing percobaan. Pada adsorbat 1 terjadi perbedaan temperatur sebesar 11,2 °C, lalu pada adsorbat 2 terjadi perbedaan temperatur sebesar 11,5 °C, pada adsorbat 3 terjadi perbedaan temperatur sebesar 11,1 °C. Temperatur terendah yang dicapai oleh *adsorbat storage* pada menit ke-60 dapat terjadi akibat adsorben sudah cukup jenuh dengan air sehingga tidak dapat lagi menyerap air dari *adsorbat storage*.



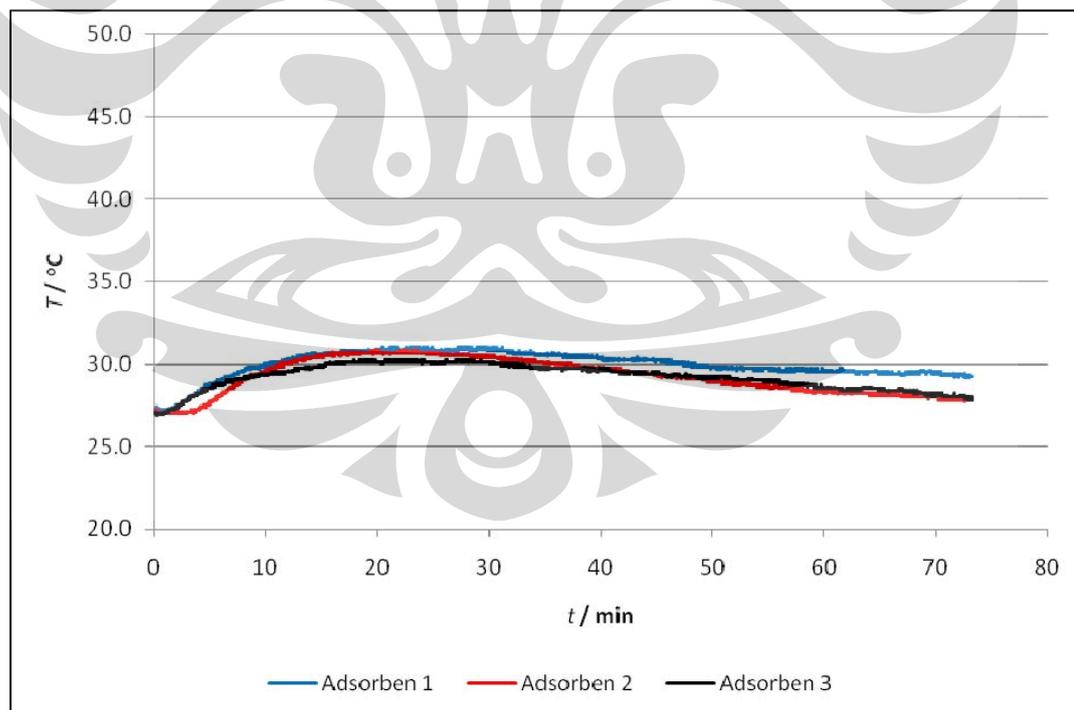
Gambar 4.3 Grafik temperatur *ambient* terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk silika gel tanpa jaring.

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa masing-masing percobaan mempunyai data temperatur yang berbeda-beda, yaitu pada *ambient* 1 mempunyai rata-rata sebesar 27,6 °C , *ambient* 2 mempunyai rata – rata sebesar 27,7 °C , , *ambient* 3 mempunyai rata-rata sebesar 26,7 °C.

4.2 Proses Adsorpsi Menggunakan Silika Gel Dengan Jaring

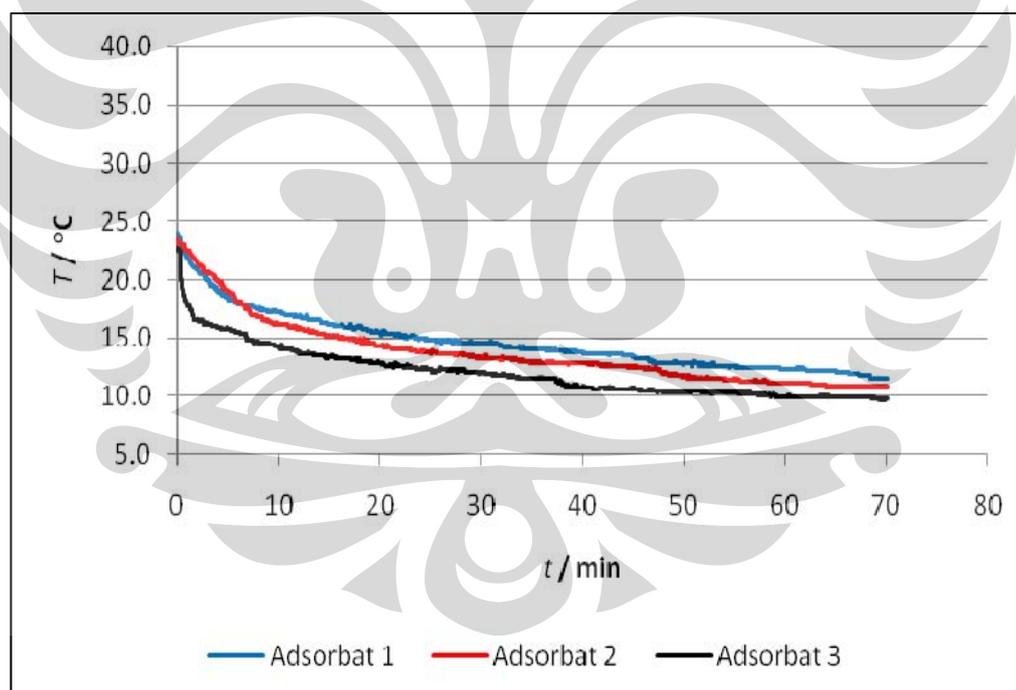
Proses adsorpsi dilakukan setelah proses *degassing* dengan temperatur yang dihasilkan oleh *heater* sebesar 130⁰C. Proses *degassing* dilakukan selama tiga puluh menit sehingga zat-zat yang melekat pada adsorben diharapkan terlepas seluruhnya ke lingkungan yang dihubungkan dengan kompresor vakum.

Pendinginan adsorben di dalam *adsorber* dilakukan dengan jalan menghembuskan angin melalui kipas yang diarahkan langsung ke *adsorber*. Proses ini dinamakan *precooling* dan dilakukan hingga temperatur adsorben mendekati temperatur lingkungan (*ambient*). gambar 4.4 – 4.6 merupakan data pada proses adsorpsi yang diambil saat percobaan tanggal 18-19 Juni 2009.



Gambar 4.4 Grafik temperatur adsorben terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk silika gel menggunakan jaring.

Pada saat katup 2 dibuka, tekanan di *adsorber* mulai mengalami kenaikan sehingga temperatur adsorben yang berada di dalam *adsorber* pun ikut mengalami kenaikan (Gambar 4.4) sebagai akibat adsorben menyerap air dari *adsorbat storage*. Pada lima menit awal terjadi perubahan tekanan yang signifikan dari -29 inHg menjadi -28inHg. Kemudian pada menit ke-10 menjadi -27 inHg. dan selanjutnya cenderung stabil hingga menit terakhir proses adsorpsi mencapai -26 inHg. Jadi, selama 60 menit proses tersebut *adsorber* mengalami perubahan tekanan sebesar 3 inHg. Perbedaan tekanan antara *adsorber* dengan *adsorbat storage* ini dapat dijadikan sebagai indikasi performa *mass transfer* adsorben yang digunakan. Dengan membandingkan besarnya perbedaan tekanan antara satu adsorben dengan adsorben lainnya, maka proses penyerapan adsorbat oleh adsorben dapat diketahui lebih banyak terjadi akibat perbedaan tekanan atau oleh kemampuan penyerapan oleh adsorben itu sendiri.

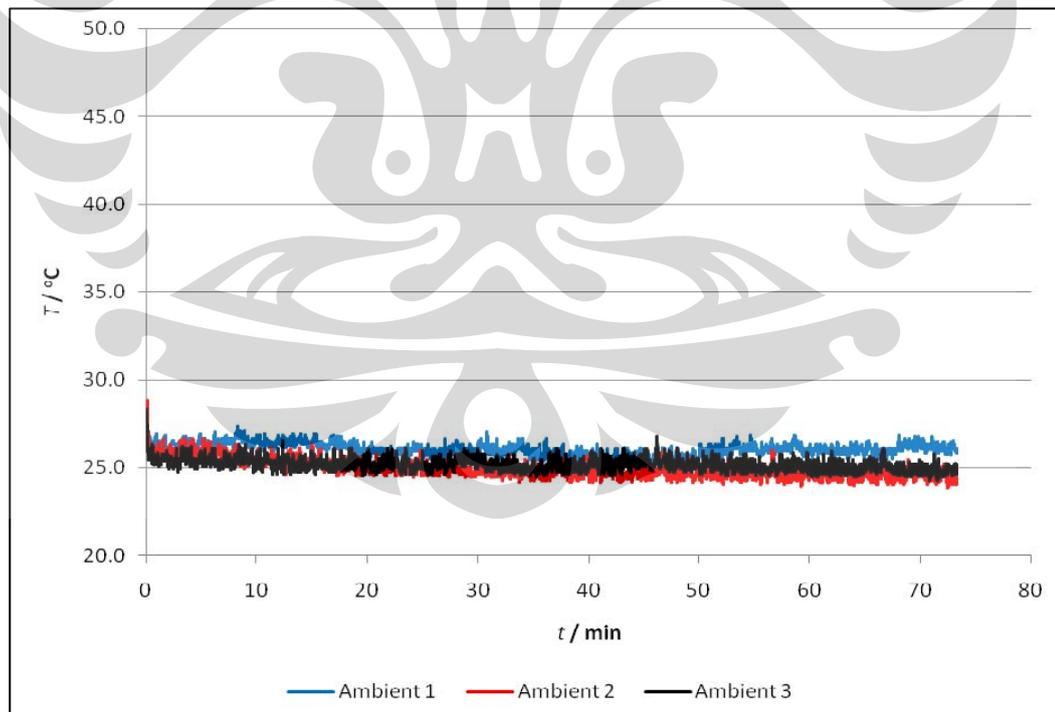


Gambar 4.5 Grafik temperatur adsorbat terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk silika gel menggunakan jaring.

Tekanan di *adsorbat storage* juga mengalami penurunan yang sangat signifikan (Gambar 4.5) hingga lima menit awal proses, yaitu dari -24 inHg menjadi -25 inHg. Selanjutnya tekanan pada *adsorbat storage* stabil pada tekanan -26 inHg. hingga akhir proses. Jadi, selama 60 menit terjadi perubahan tekanan sebesar 2 inHg.

Kenaikan tekanan pada *adsorber* dan *adsorbat storage* pada saat awal proses diakibatkan oleh penyesuaian tekanan antara *adsorber* dengan *adsorbat storage*. Dimana pada saat awal proses terdapat perbedaan tekanan antara *adsorber* dan *adsorbat storage* sebesar 5 inHg.

Terjadi perbedaan temperatur pada saat sebelum proses adsorpsi dan setelah proses adsorpsi pada masing-masing percobaan. Pada adsorbat 1 terjadi perbedaan temperatur sebesar 12,5 °C, lalu pada adsorbat 2 terjadi perbedaan temperatur sebesar 12,6 °C, dan yang terakhir pada adsorbat 3 terjadi perbedaan temperatur sebesar 13 °C. Temperatur terendah yang dicapai oleh *adsorbat storage* pada menit ke-60 dapat terjadi akibat adsorben sudah cukup jenuh dengan air sehingga tidak dapat lagi menyerap air dari *adsorbat storage*.



Gambar 4.6 Grafik temperatur *ambient* terhadap waktu pada proses adsorpsi dengan variasi bentuk silika gel menggunakan jaring.

Pada gambar 4.6 dapat dilihat bahwa masing-masing percobaan mempunyai data temperatur yang berbeda-beda, yaitu pada *ambient* 1 mempunyai rata – rata sebesar 26,0 °C, *ambient* 2 mempunyai rata – rata sebesar 24,9 °C dan *ambient* 3 mempunyai rata – rata sebesar 25,2 °C.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan studi perancangan dan pembuatan alat uji adsorpsi dan analisis pengujian unjuk kerja alat uji adsorpsi. Alat uji adsorpsi dibuat berdasarkan metode volumetrik. Alat uji adsorpsi terdiri dari dari *adsorber*, *adsorbat storage*, alat ukur tekanan dan temperatur serta alat pendukung lainnya. Alat uji ini dibuat dan dirakit untuk mendapatkan karakteristik adsorpsi yaitu data kapasitas dan laju penyerapan.

Dari hasil pengujian alat uji adsorpsi dengan menggunakan air sebanyak 120 ml dapat disimpulkan:

1. Proses adsorpsi dipengaruhi kondisi lingkungan sekitar.
2. Pada proses adsorpsi menggunakan silika gel tanpa jaring terjadi penyerapan efektif air selama 2500 detik (± 41 menit) dan menggunakan silika gel dengan jaring selama 4100 detik (± 65 menit).
3. Temperatur terendah yang dapat dicapai saat proses adsorpsi menggunakan silika gel tanpa jaring adalah $11,5^{\circ}\text{C}$ dan menggunakan silika gel dengan jaring adalah 13°C .
4. Variasi bentuk adsorben dengan menggunakan jaring mempunyai mass transfer lebih baik daripada adsorben yang tidak menggunakan jaring

5.2 Saran

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

1. Menambah volume air agar pada saat proses adsorpsi kemungkinan air 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. Melakukan kalibrasi pada alat ukur, sehingga nilai tekanan dan temperatur yang dicapai oleh sistem menjadi lebih akurat.
6. Mencari besaran bukaan katup pada *adsorbat storage* yang optimal untuk mendapatkan hasil ekspansi yang terbaik.



DAFTAR REFERENSI

[1] Pamitran Agus S., “[Sejarah Refrigerasi Sebelum Abad ke-19](#)”, Diakses April 2009.

<http://perpika.wordpress.com/2007/06/21/sejarah-refrigerasi-sebelum-abad-ke-19/>

[2] Yuli Setyo Indartono, “Perkembangan Terkini Teknologi Refrigerasi”, Artikel Iptek-Bidang Energi dan Sumber Daya Alam, Diakses April 2009.

[http://www.beritaiptek.com/zberita-beritaiptek-2006-05-07-perkembangan-Terkini-Teknologi-Refrigerasi--\(1\).shtml](http://www.beritaiptek.com/zberita-beritaiptek-2006-05-07-perkembangan-Terkini-Teknologi-Refrigerasi--(1).shtml)

[3] Budilaksono, Dawuh, “Pengujian Alat Pendingin Sistim Adsorpsi Berdasarkan Variasi Tekanan Maksimum Desorpsi Untuk Pengembangan Menggunakan *Solar Collector*”, Skripsi Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2007.

[4] Wikipedia Indonesia, ”Adsorpsi”, Diakses April 2009.

<http://id.wikipedia.org/wiki/Adsorpsi>

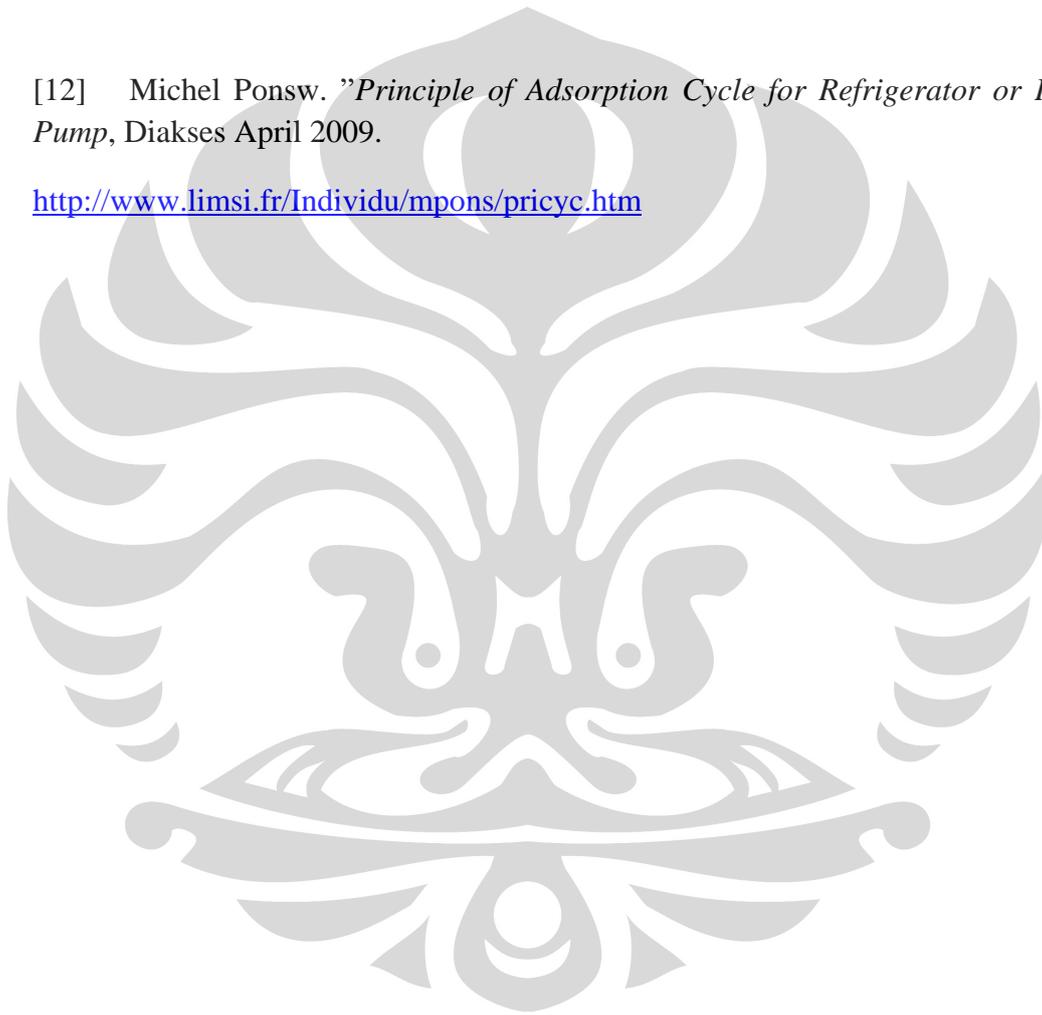
[5] <http://joejaworski.files.wordpress.com/2009/05/activatedcarbon1.jpg>

[6] L.W. Wang, 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”, *Applied Thermal Engineering* 23 (2003) 1605–1617, 2003. Hal. 1605.

[7] Suryawan, Bambang, “Karakteristik Zeolit Indonesia Sebagai Adsorben Uap Air”, Disertasi Fakultas Teknik Univesritas Indonesia, 2004.

[8] <http://www.tirupatisilicagel.com/full-images/672209.jpg>

- [9] http://www.brookwater.co.uk/shop/images/Activated_Carbon.jpg
- [10] <http://www.atlpac.com/admin/images/upfile/20071211213153.jpg>
- [11] Nasruddin, "*Dynamic Modeling and Simulation of a Two-Bed Silicagel-Water Adsorption Chiller.*" Disertation, Rwth Aachen, 2005, hal. 3-12
- [12] Michel Ponsw. "*Principle of Adsorption Cycle for Refrigerator or Heat Pump*, Diakses April 2009.
<http://www.limsi.fr/Individu/mpons/pricyc.htm>

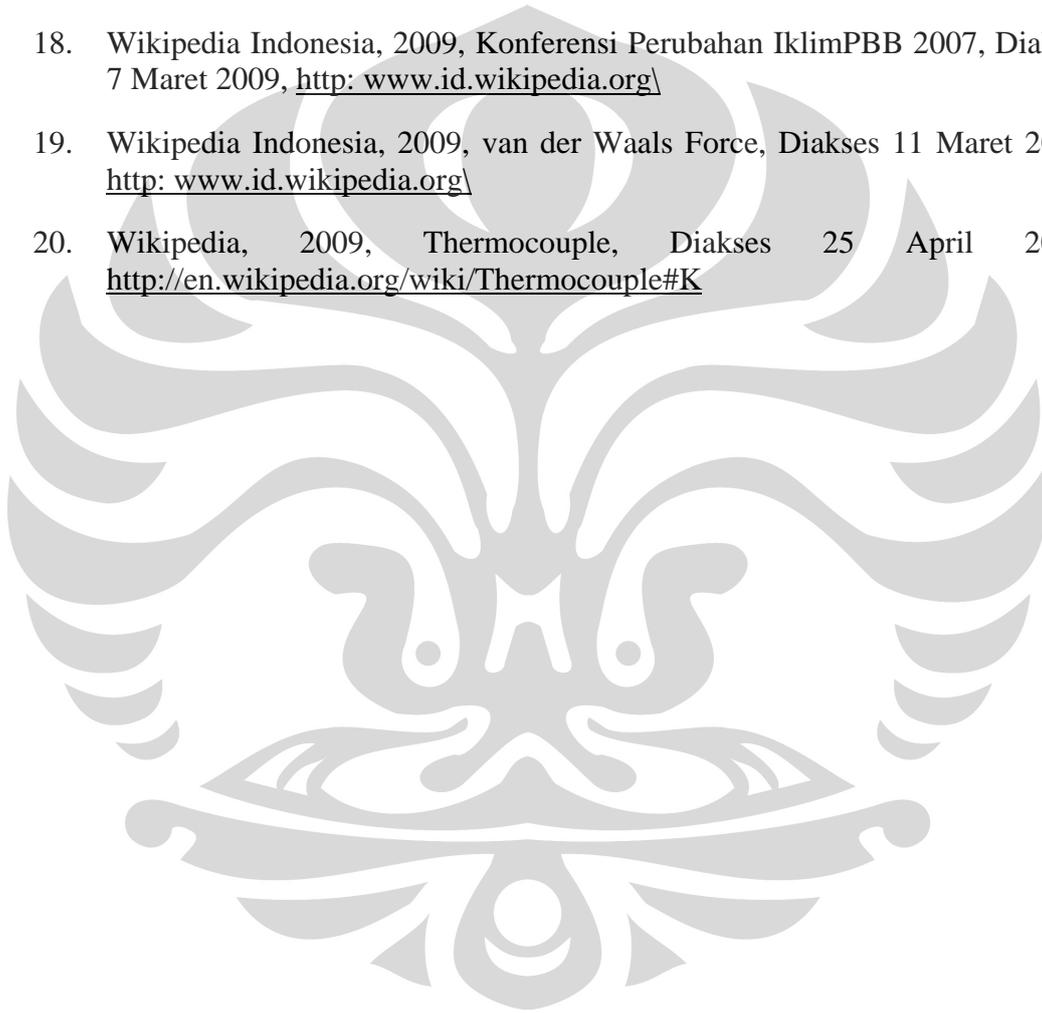


DAFTAR PUSTAKA

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. 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
14. 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
15. 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

16. 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
17. Wikipedia Indonesia, 2009, Gaya van der Waals, Diakses 11 Maret 2009, <http://www.id.wikipedia.org>
18. Wikipedia Indonesia, 2009, Konferensi Perubahan IklimPBB 2007, Diakses 7 Maret 2009, <http://www.id.wikipedia.org>
19. Wikipedia Indonesia, 2009, van der Waals Force, Diakses 11 Maret 2009, <http://www.id.wikipedia.org>
20. Wikipedia, 2009, Thermocouple, Diakses 25 April 2009, <http://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple#K>



LAMPIRAN 1
SATURATION VAPOR/LIQUID TABLES OF WATER

T = 0°C to T = 50°C

NIST Reference Fluid Thermodynamics and Transport Properties

Temp. (°C)	Absolute Pressure (inHg)	Liquid Density (kg/m³)	Vapor Density (kg/m³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
1	-29.727	999.85	0.0051965	4.1767	2502.7	0.01526	9.1291
2	-29.713	999.89	0.005563	8.3918	2504.6	0.030607	9.1027
3	-29.697	999.92	0.0059521	12.604	2506.4	0.045888	9.0765
4	-29.681	999.93	0.0063647	16.813	2508.2	0.061103	9.0505
5	-29.664	999.92	0.0068022	21.02	2510.1	0.076254	9.0248
6	-29.645	999.89	0.0072657	25.224	2511.9	0.091342	8.9993
7	-29.625	999.86	0.0077566	29.426	2513.7	0.10637	8.9741
8	-29.604	999.8	0.0082762	33.627	2515.6	0.12133	8.9491
9	-29.582	999.74	0.0088258	37.825	2517.4	0.13624	8.9243
10	-29.559	999.65	0.0094071	42.021	2519.2	0.15109	8.8998
11	-29.534	999.56	0.010021	46.216	2521	0.16587	8.8754
12	-29.507	999.45	0.01067	50.409	2522.9	0.18061	8.8513
13	-29.479	999.33	0.011355	54.601	2524.7	0.19528	8.8274
14	-29.449	999.2	0.012078	58.792	2526.5	0.2099	8.8037
15	-29.418	999.06	0.012841	62.981	2528.3	0.22446	8.7803
16	-29.384	998.9	0.013645	67.17	2530.2	0.23897	8.757
17	-29.349	998.73	0.014493	71.357	2532	0.25343	8.7339
18	-29.312	998.55	0.015385	75.544	2533.8	0.26783	8.7111
19	-29.272	998.36	0.016325	79.729	2535.6	0.28218	8.6884
20	-29.23	998.16	0.017314	83.914	2537.4	0.29648	8.666
21	-29.186	997.95	0.018354	88.098	2539.3	0.31073	8.6437
22	-29.14	997.73	0.019448	92.282	2541.1	0.32493	8.6217
23	-29.091	997.5	0.020598	96.465	2542.9	0.33908	8.5998
24	-29.04	997.25	0.021806	100.65	2544.7	0.35318	8.5781
25	-28.985	997	0.023075	104.83	2546.5	0.36722	8.5566
26	-28.928	996.74	0.024406	109.01	2548.3	0.38123	8.5353
27	-28.868	996.47	0.025804	113.19	2550.1	0.39518	8.5142
28	-28.804	996.19	0.027269	117.37	2551.9	0.40908	8.4933
29	-28.737	995.9	0.028805	121.55	2553.7	0.42294	8.4725
30	-28.667	995.61	0.030415	125.73	2555.5	0.43675	8.452
31	-28.593	995.3	0.032102	129.91	2557.3	0.45052	8.4316
32	-28.516	994.99	0.033868	134.09	2559.2	0.46424	8.4113
33	-28.434	994.66	0.035717	138.27	2561	0.47792	8.3913
34	-28.349	994.33	0.037651	142.45	2562.8	0.49155	8.3714
35	-28.259	993.99	0.039674	146.63	2564.5	0.50513	8.3517

Temp. (°C)	Absolute Pressure (inHg)	Liquid Density (kg/m ³)	Vapor Density (kg/m ³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Entropy (kJ/kg-K)	Vapor Entropy (kJ/kg-K)
36	-28.165	993.64	0.04179	150.81	2566.3	0.51867	8.3321
37	-28.066	993.29	0.044001	154.99	2568.1	0.53217	8.3127
38	-27.963	992.92	0.046311	159.17	2569.9	0.54562	8.2935
39	-27.854	992.55	0.048723	163.35	2571.7	0.55903	8.2745
40	-27.74	992.18	0.051242	167.53	2573.5	0.5724	8.2555
41	-27.622	991.79	0.053871	171.71	2575.3	0.58573	8.2368
42	-27.497	991.4	0.056614	175.89	2577.1	0.59901	8.2182
43	-27.367	991	0.059474	180.07	2578.9	0.61225	8.1998
44	-27.23	990.59	0.062457	184.25	2580.6	0.62545	8.1815
45	-27.088	990.17	0.065565	188.43	2582.4	0.63861	8.1633
46	-26.939	989.75	0.068803	192.62	2584.2	0.65173	8.1453
47	-26.783	989.32	0.072176	196.8	2586	0.66481	8.1275
48	-26.621	988.89	0.075688	200.98	2587.8	0.67785	8.1098
49	-26.451	988.44	0.079343	205.16	2589.5	0.69085	8.0922
50	-26.274	988	0.083147	209.34	2591.3	0.70381	8.0748



LAMPIRAN 2

PROPERTY OF SILICA GEL

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

Identification of the product

Catalogue No : 101907

Product name : Silica gel granules, desiccant~2-5 mm

Use of the substance/preparation

Reagent for analysis

Chemical production

Company/undertaking identification

Company : Merck KGaA*64271 Darmstadt*Germany

2. Composition/information on ingredients

silicon dioxide amorphous

CAS-No : 77631-86-9

M : 60.09 g/mol

Formula Hill : O₂Si

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

After eye contact : rinse out with plenty of water with eyelid held open

After swallowing : wash off with plenty of water

5. Handling and storage

Handling :

Protect from moisture

No further requirements

Storage :

Tightly closed. Dry at +15⁰C to +25⁰C

6. Physical and chemical properties

Form	: solid
Colour	: colourless
Odour	: odourless
pH	: N/A
Melting point	: N/A
Boiling point	: N/A
Ignition temp.	: N/A
Flash point	: N/A
Explosion lim	: N/A
Density	: N/A
Bulk density	: ~750-800 kg/m ³
Solubility in water	: (20°C) insoluble
Particle size	: ~2-5 mm

7. Stability and reactivity

Conditions to be avoided

No information available

Substances to be avoided

Halogen oxides, hydrogen halides, light metals/heat, xenon hexafluoride

LAMPIRAN 3
GAMBAR TIGA DIMENSI ALAT ADSORPSI

