



UNIVERSITAS INDONESIA

**ADSORPSI DAN DESORPSI GAS METANA PADA BEJANA
BERTEKANAN (VESSEL) DENGAN KENAIKAN TEKANAN
SECARA BERTAHAP**

SKRIPSI

MUHAMMAD HUSIN A

0806454853

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM SARJANA

DEPOK

JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**ADSORPSI DAN DESORPSI GAS METANA PADA BEJANA
BERTEKANAN (VESSEL) DENGAN KENAIKAN TEKANAN
SECARA BERTAHAP**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

MUHAMMAD HUSIN A

0806454853

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM SARJANA

DEPOK

JULI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**Adsorpsi dan Desorpsi Gas Metana Pada Bejana Bertekanan (Vessel)
dengan Kenaikan Tekanan secara Bertahap**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Indonesia, adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Skripsi ini merupakan bagian dari skripsi yang dikerjakan bersama dengan saudara Mikhail (0806330320) dengan judul: **Perbandingan Model Ruang Desain Pada Karbon Aktif Temperatur Isothermal 15 °C**

dan Fajar Prananda (0606073120) dengan judul : **Perbandingan Model Desain Ruang Vessel terhadap Kapasitas Penyerapan Gas Metana**. Sehingga terdapat kesamaan pada sebagian buku skripsi.

Nama : Muhammad Husin A

NPM : 0806454853

Tanda Tangan : 

Tanggal : 9 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Muhammad Husin A
NPM : 0806454853
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : **Adsorpsi dan Desorpsi Gas Metana Pada
Bejana Bertekanan (Vessel) dengan Kenaikan
Tekanan secara Bertahap**

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir.M. Idrus Alhamid (.....)

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

Penguji : Dr. Ir. Awaludin Martin, MT (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 9 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Pertama-tama penulis panjatkan puji dan syukur kepada Tuhan YME atas berkat dan bimbingan-Nya selama proses pengerjaan skripsi dan dalam pengerjaan laporan skripsi yang dapat terselesaikan dengan baik dan lancar.

Buku laporan skripsi ini, dibuat berdasarkan hasil penelitian di Laboratorium Pendingin dan Tata Udara, dengan judul, **Adsorpsi dan Desorpsi Gas Metana Pada Bejana Bertekanan (Vessel) dengan Kenaikan Tekanan secara Bertahap**. Berisikan secara umum mengenai proses perancangan alat uji dan sistem adsorpsi.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu dalam proses pengerjaan skripsi dan pengerjaan laporan ini. Adapun pihak-pihak tersebut,

1. Dr-Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng selaku dosen pembimbing skripsi yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Abi, Mama, Fety dan Emil yang telah memberi dukungan secara moril dan material.
3. Dr.Ir.M. Idrus Alhamid, selaku dosen pembimbing skripsi yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
4. Pak Seno, yang telah membantu dalam penyusunan dan pengambilan data untuk alat skripsi saya.
5. Pak Endang dan Mas Arnas, yang telah banyak membantu dalam pembuatan sistem kontrol dan programming.
6. Teman perjuangan Mesin 2008, yang telah memberi semangat dan bantuan untuk menyelesaikan skripsi ini. (Mike,fajar)

7. Teman Lab Pendingin (Mario,Daniel,rozi,surya,hanif,hernadi), yang telah teramat sangat banyak membantu dalam usaha untuk mengejar dan memperoleh data yang diperlukan.
8. Seluruh pegawai DTM-UI yang telah membantu pelaksanaan administrasi untuk ijin menggunakan lab, peminjaman buku.

Serta semua pihak yang telah membantu terlaksananya kerja praktek ini baik secara langsung maupun tidak dan yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis sadar bahwa dalam laporan ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, karena itu kami mengharapkan kritik dan saran membangun terkait dengan pembahasan dalam laporan ini. Diharapkan laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak dan juga perkembangan ilmu Teknik Mesin

Terimakasih

Depok, Juli 2012

Penulis

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

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

Nama : Muhammad Husin A
NPM : 0806454853
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**ADSORPSI DAN DESORPSI GAS METANA PADA BEJANA
BERTEKANAN (VESSEL) DENGAN KENAIKAN TEKANAN SECARA
BERTAHAP**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia /formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya 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 : 9 Juli 2012

Yang menyatakan,



(Muhammad Husin A)

ABSTRAK

Nama : Muhammad Husin A

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : **Adsorpsi dan Desorpsi Gas Metana Pada Bejana Bertekanan (Vessel) Dengan Kenaikan Tekanan Secara Bertahap**

Bahan Bakar Minyak (BBM) adalah sumber alam yang tidak dapat diperbaharui. Meningkatnya kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) tidak seimbang dengan ketersediaan bahan bakar lain padahal setiap tahun produksi kendaraan bermotor naik. Selain itu hasil pembakaran pada kendaraan bermotor menghasilkan polusi udara yang menjadi salah satu faktor pemanasan global. Masalah tersebut perlu dipecahkan dengan cara mencari energi alternatif yang lebih bersih dengan nilai oktan tinggi serta ketersediaanya di alam masih banyak dan dipilih gas alam dengan komposisi utama gas metana (CH_4). Walaupun penggunaan gas alam masih sedikit disebabkan tempat penyimpanan yang memiliki tekanan besar 150 bar (CNG), keadaan masyarakat sosial yang bingung akan dalam menggunakannya dan masih jarang nya stasiun bahan bakar gas. Maka dibuatlah sistem ANG yang dianalisa lebih rendah tingkat tekanan gas yang digunakan. Metode isothermal (volumetrik) yang digunakan untuk proses adsorpsi dengan memvariasikan suhu adsorpsi yaitu $5\text{ }^\circ\text{C}$, $15\text{ }^\circ\text{C}$ dan $15\text{ }^\circ\text{C}$ dengan 5-35 bar dengan menggunakan metode bertahap dalam memasukkan tekanan gas metana (interval 5 bar)

Kata kunci: adsorbed natural gas, metode volumetric (isothermal), metode bertahap, suhu adsorpsi

ABSTRACT

Name : Muhammad Husin A

Field of Study : Mechanical Engineering

Judul : **Adsorption and Desorption Methane Gas Vessel with Increasing Pressure Gradually**

Fuel is one of non renewable resources. The consumption of fuel are not balanced with another resources. The biggest consumption of fuel is vehicle. The production of vehicles are increasing every year so that the consumption of fuel to high and longer of time, the fuel resources will be lost while the gas resources are less to use. Furthermore, the effect of fuel in combustion engine can produce CH_4 and CO_2 and another gases can create green house effect. From green house effect make increase temperature in the earth because the content of CO_2 and CH_4 are increasing. It has a dangerous impact for another life in the earth. For that we need something way to decrease the emission from the engine combustion vehicles and utilizing the gas resources. Although the gas resources are utilized by vehicle, the consumption of gas still little because the vessel to big size and has the pressure about 150 bar (CNG), that is make the people are so confuse to use it and the gas stations are rare. Adsorption is effective way to reduce pressure in vessel and gas emission which released. This study discusses the capacity adsorption CH_4 (ANG) at activated carbon. In this research the activated carbon used is a commercial active carbon. Adsorption measurement use volumetric method (isothermal) at temperatures 5 °C, 15 °C and 15 °C with 5-35 bar pressure with step-by-step method's (interval 5 bar). The objective from this research is to get capacity data and the rate adsorption at activated carbon until several work cycle.

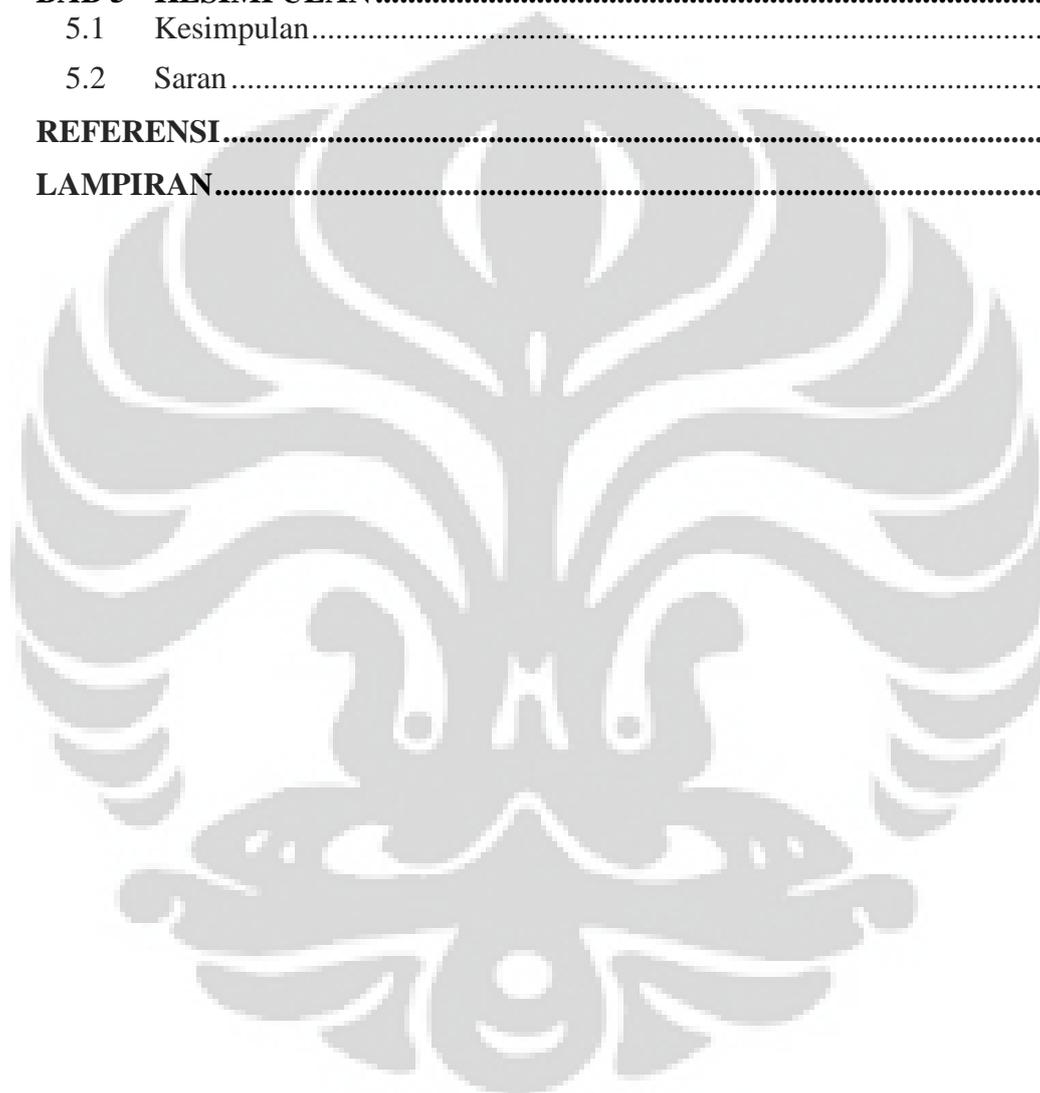
Key word: adsorbed natural gas, adsorption and desorption system.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Pembatasan Masalah	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Adsorpsi.....	6
2.1.1 Adsorpsi Isoterm	7
2.1.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi.....	9
2.1.3 Adsorben	10
2.1.4 Adsorbat	14
2.2 Sistem Adsorpsi.....	16
2.3 Metode Pengukuran Adsorpsi	16
2.3.1 Metode Volumetrik	16
2.3.2 Metode Gravimetrik	20
2.3.3 Metode <i>carrier gas</i>	21
2.3.4 Metode kalorimetrik.....	22
2.4 Adsorpsi Equilibrium	23
2.5 Skematik Sistem Adsorpsi.....	26
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	28
3.1 Tahapan Penelitian Alat Uji Adsorpsi-Desorpsi Metana	28
3.2 Alat Uji Adsorpsi-desorpsi Metana	29
3.2.1 Pressure Vessel.....	29

3.2.2	Pipa dan Insulasi	31
3.2.3	Pressure Transmitter.....	31
3.2.4	Termokopel	32
3.2.5	Pompa Vakum.....	33
3.2.6	Needle valve.....	34
3.2.7	Tube Flaring	34
3.2.8	Sambungan Tee.....	35
3.2.9	Thermal Insulation (Thermalflex).....	36
3.2.10	Insulation Tape.....	36
3.2.11	Drum	37
3.2.12	Circulating Thermal Bath (CTB)	37
3.2.13	Male Connector.....	38
3.2.14	Exhaust Fan.....	39
3.2.15	Regulator	40
3.2.16	Temperature Controller.....	40
3.2.17	Main Contact Breaker (MCB).....	41
3.2.18	Terminal	42
3.2.19	Data Akusisi (DAQ).....	42
3.2.20	Power Supply	43
3.2.21	Komputer	44
3.2.22	Heater	45
3.2.23	Karbon Aktif Komersial.....	45
3.2.24	Tubeler Karbon Aktif.....	46
3.2.25	Ball Valve.....	47
3.2.26	Flowmeter	47
3.3	Skematik Instalasi Alat Uji Adsorpsi-Desorpsi Metana.....	48
3.3.1	Instrumentasi.....	50
3.3.2	Verifikasi Alat Ukur.....	51
3.4	Preparasi Sampel	57
3.4.1	Dry Sorbent	57
3.4.2	Proses Degassing.....	59
3.4.3	Proses Adsorpsi.....	60
3.4.4	Proses Desorpsi	61
BAB 4	ANALISA DATA PENELITIAN.....	62
4.1	Unjuk Kerja Adsorpsi dan Desorpsi pada Temperatur air 5° C dan 30 °C (Percobaan 1).....	63

4.2	Unjuk Kerja Adsorpsi dan Desorpsi pada Temperatur air 15° C dan 40 °C (Percobaan 2).....	65
4.3	Unjuk Kerja Adsorpsi dan Desorpsi pada Temperatur air 25° C dan 50 °C (Percobaan 3).....	67
4.4	Perbedaan temperatur adsorpsi dengan massa yang diserap (Qds) pada setiap kenaikan tekanan.....	69
4.5	Massa Gas Metana yang Tersisa Di dalam Vessel.....	70
BAB 5	KESIMPULAN.....	71
5.1	Kesimpulan.....	71
5.2	Saran.....	72
	REFERENSI.....	73
	LAMPIRAN.....	75



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fenomena Adsorpsi dan Desorpsi	6
Gambar 2.2 Tipe-tipe Kurva Adsorpsi	11
Gambar 2.3 Struktur Karbon Aktif : (a)granul, (b) fiber	14
Gamba 2.4 Distribusi ukuran pori pada karbon aktif, silica gel, activatedalumina, 2 jenis molecular-sieve carbons (MSC), dan zeolit 5.....	15
Gambar 2.5 Gambar Struktur Molekul CH ₄	16
Gambar 2.6 Skematik Pengukuran Volumetrik	17
Gambar 2.7 Skematik Pengukuran Gravimetrik	21
Gambar 2.8 Skematik Pengukuran volume kosong.....	22
Gambar 2.9 Skematik Pengukuran Carrier Gas	23
Gambar 2.10 Skematik Tian - Calvet Kalorimeter	24
Gambar 2.11 Grafik Data yang Diperoleh Pada Adsorpsi Isobar (Keller, Jurgen., 2005).....	25
Gambar 2.12 Grafik Data yang Diperoleh Pada Adsorpsi Isostere(Keller, Jurgen., 2005).....	25
Gambar 2.13 Skematik Penelitian Untuk Operasi Siklus	25
Gambar 3.1 Flowchart metode penelitian alat uji adsorpsi-desorpsi metana....	27
Gambar 3.2 Pressure vessel.....	28
Gambar 3.3 Blind flange	28
Gambar 3.4 Slip on flange.....	29
Gambar 3.5 Nut,rings, screw	29
Gambar 3.6 Packing Teflon.....	30
Gambar 3.7 Filter	30
Gambar 3.8 Pressure Transmitter	31
Gambar 3.9 Modifikasi Termokopel jenis K.....	31
Gambar 3.10 Pompa vakum	32
Gambar 3.11 Needle valve	33
Gambar 3.12 Tube flaring	34
Gambar 3.13 Sambungan tee.....	34
Gambar 3.14 Thermal Insulation(Thermalflex)	35
Gambar 3.15 Insulation tape	36
Gambar 3.16 Drum.....	36

Gambar 3.17 Sistem pendingin (CTB).....	37
Gambar 3.18 Male connector	38
Gambar 3.19 Exhaust fan	38
Gambar 3.20 Regulator	39
Gambar 3.21 Temperature controller	40
Gambar 3.22 Main contact breaker	40
Gambar 3.23 Terminal	41
Gambar 3.24 Data Akuisisi DAQ.....	42
Gambar 3.25 Power supply	43
Gambar 3.26 Heater	44
Gambar 3.27 Activated carbon	45
Gambar 3.28 Tubuler karbon aktif.....	46
Gambar 3.29 Ball valve.....	46
Gambar 3.30 Flowmeter.....	46
Gambar 3.31 Skematik sistem adsorpsi dan desorpsi	48
Gambar 3.32 Program labview 8.5.....	50
Gambar 3.33 Skematik proses pressure transmitter.....	51
Gambar 3.34 Skematik proses verifikasi termokopel.....	52
Gambar 3.35 Grafik kalibrasi termokopel.....	55
Gambar 3.36 Grafik kalibrasi flowmeter.....	56
Gambar 3.37 Timbangan AND FX 4000	57
Gambar 3.38 Proses dry dorbent dan control panel	58
Gambar 3.39 Skematik proses degassing	59
Gambar 3.40 Skematik proses adsorpsi dan desorpsi	60
Gambar 4.1 Proses Adsorpsi pada Temperatur air 5 °C.....	63
Gambar 4.2 Proses Desorpsi pada Temperatur air 30 °C	64
Gambar 4.3 Grafik penyerapan pada temperatur air 5 °C.....	64
Gambar 4.4 Proses Adsorpsi pada Temperatur air 15 °C.....	65
Gambar 4.5 Proses Desorpsi pada Temperatur air 30 °C	65
Gambar 4.6 Grafik penyerapan pada temperatur air 15 °C.....	66
Gambar 4.7 Proses Adsorpsi pada Temperatur air 25 °C.....	66
Gambar 4.8 Proses Desorpsi pada Temperatur air 50 °C	67
Gambar 4.9 Grafik penyerapan pada temperatur air 25 °C.....	68

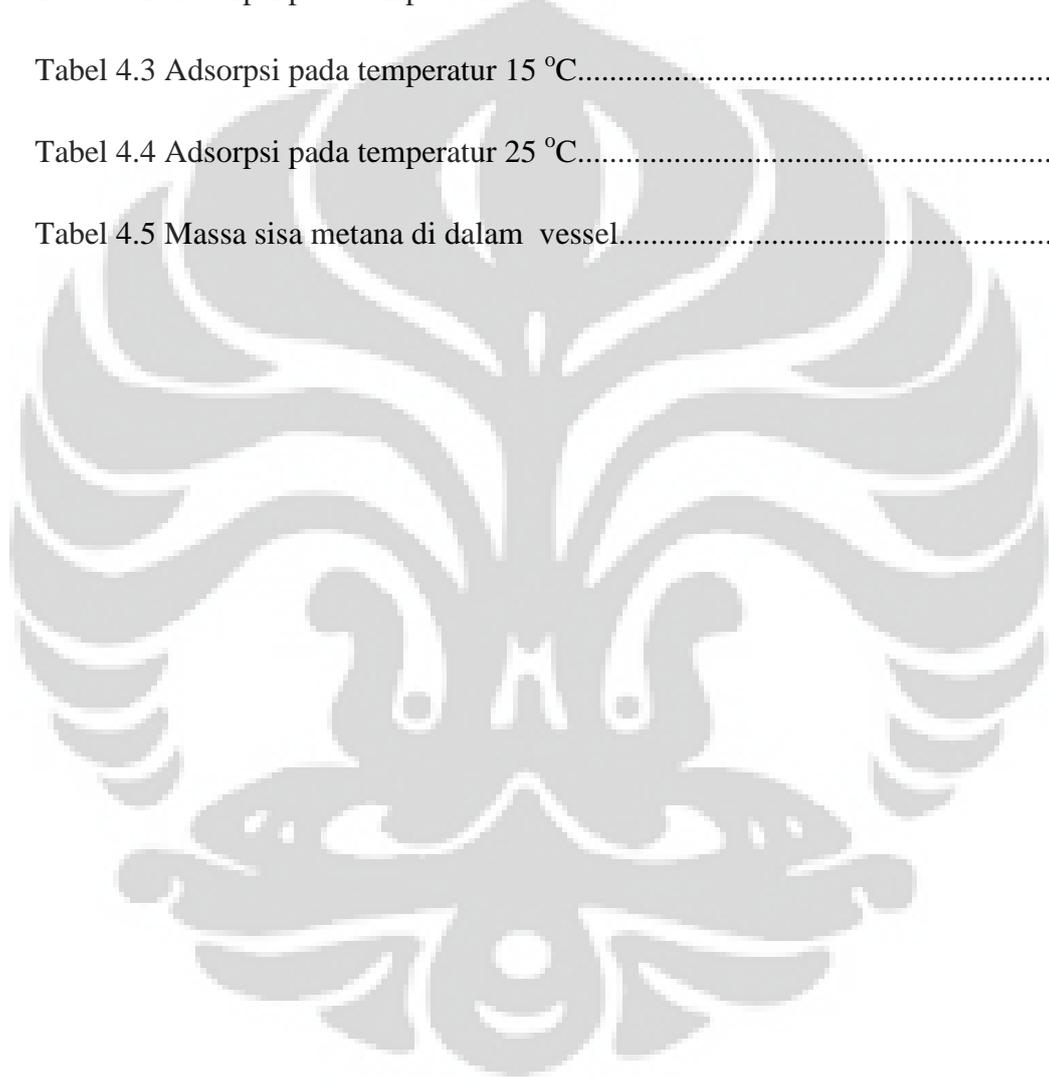
Gambar 4.10 Grafik perbedaan temperatur air pada proses penyerapan adsorpsi68

Gambar 4.11 Grafik massa gas metana yang tertinggal di vessel pada setiap percobaan.....69



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data properties karbon aktif komersial	45
Tabel 4.1 Data perhitungan massa void measuring vessel.....	62
Tabel 4.2 Adsorpsi pada temperatur 5 °C.....	64
Tabel 4.3 Adsorpsi pada temperatur 15 °C.....	65
Tabel 4.4 Adsorpsi pada temperatur 25 °C.....	67
Tabel 4.5 Massa sisa metana di dalam vessel.....	69



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini pemanasan global akibat efek rumah kaca dan berkurangnya cadangan minyak bumi adalah masalah penting yang sedang dihadapi dunia. Emisi gas karbon dioksida (CO₂) dari hasil pembakaran bahan bakar fosil pada kendaraan, industri, pembangkit listrik, dan lain-lain, yang terakumulasi di atmosfer adalah salah satu penyebab terjadinya pemanasan global (Lee, Jong-Seok dkk., 2002). Sedangkan yang menyebabkan berkurangnya cadangan minyak bumi adalah karena tingginya permintaan akibat penggunaan bahan bakar minyak pada mesin baik untuk kendaraan, industri, pembangkit listrik dll.

Program konversi penggunaan bahan bakar minyak ke bahan bakar gas adalah sebagai salah satu upaya pemerintah Republik Indonesia dalam mengurangi penggunaan bahan bakar minyak, hal tersebut selain untuk mengurangi besaran subsidi yang diberikan, jumlah cadangan bahan bakar minyak yang semakin terbatas juga karena bahan bakar minyak memiliki potensi melepaskan emisi gas karbon dioksida dalam jumlah yang besar.

Program konversi penggunaan bahan bakar minyak menjadi bahan bakar gas juga dikarenakan bahwa Indonesia memiliki potensi bahan bakar gas dalam jumlah yang sangat besar, namun gas alam yang dieksplorasi dan yang dihasilkan masih memiliki kandungan karbon dioksida dalam jumlah yang cukup besar.

Untuk mengatasi masalah-masalah tersebut perlu dilakukan kebijakan konversi energi dan sekarang ini kendaraan bermotor mulai beralih pemakaian bahan bakar minyak (BBM) ke bahan bakar gas (BBG), akan tetapi untuk pemakaian BBG diperlukan tabung khusus yang sesuai pada kendaraan bermotor sehingga tabung yang telah dipakai di kendaraan bermotor memiliki spesifikasi yaitu tabung tersebut memiliki tekanan sekitar 150

bar dengan ukuran yang cukup besar. Dari hal tersebut konsumen tidak berminat karena takut dengan tekanan sebesar itu, ukuran yang cukup besar dan stasiun untuk pengisian yang jarang ada.

Salah satu cara untuk mengatasi kendala-kendala tersebut adalah dengan menggunakan tempat penyimpanan bertekanan rendah dikenal dengan *Adsorbed Natural Gas (ANG)*. Disebut demikian karena dalam tempat penyimpanan BBG tersebut terdapat adsorben yang menyerap BBG dan tekanan yang diperlukan untuk proses adsorpsi antara 35-40 bar, sehingga tangki bertekanan rendah.

Proses adsorpsi sangat dipengaruhi oleh pasangan adsorben dan adsorbatnya. Adsorben adalah zat atau material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas di dalamnya dan adsorbat adalah substansi dalam bentuk cair atau gas yang terkonsentrasi pada permukaan adsorben (Suryawan, Bambang, 2004). Jenis adsorben yang sering digunakan yaitu zeolite, silica gel dan karbon aktif, akan tetapi karbon aktif paling banyak digunakan karena aplikasinya dan volume penyerapan yang lebih besar.

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

Karbon aktif adalah jenis adsorben yang paling banyak digunakan pada sistem adsorpsi gas alam, hal tersebut dikarenakan karbon aktif memiliki volume mikropori dan mesopori yang relatif besar sehingga memiliki luas permukaan yang besar, dengan demikian sangat memungkinkan untuk dapat menyerap adsorbat dalam jumlah yang cukup besar (Yang, Ralph. T, 2003).

Dari uraian tersebut, karakteristik adsorpsi-desorpsi merupakan salah satu parameter yang menentukan kinerja sistem adsorpsi-desorpsi dimana adsorben menyerap adsorbat dan melepaskannya kembali. Di dalam penelitian ini karbon aktif digunakan sebagai adsorben dan gas CH_4 menjadi adsorbatnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian kapasitas penyerapan karbon aktif dan pelepasan gas CH_4 tersebut untuk mendapatkan informasi karakteristik adsorpsinya serta desorpsinya terhadap gas CH_4 . Eksperimen ini juga didapat dari beberapa referensi sebelumnya seperti beberapa tesis yaitu dengan nama Dedi Dermawan dan Firmasyah.

1.2 Perumusan Masalah

Kinerja suatu sistem yang menggunakan sistem adsorpsi-desorpsi pada permukaan padatan dipengaruhi oleh karakteristik temperature adsorpsi. Salah satu metode mendapatkan data karakteristik adsorpsi adalah metode pengukuran volumetrik, dimana menghitung kapasitas dan laju penyerapan dan pelepasan yang dilakukan dengan menggunakan perubahan tekanan per satuan waktu pada temperatur konstan atau dikenal dengan adsorpsi isothermal. Dengan alat uji adsorpsi-desorpsi metana kapasitas penyerapan CH_4 pada karbon aktif dapat diketahui.

1.3 Tujuan Penelitian

- Mencari karakteristik optimal temperature adsorpsi dari karbon aktif terhadap performa penyerapan adsorpsi dan desorpsi dalam keadaan dinamis pada sistem ANG. Keadaan dinamis yang dimaksud adalah kondisi kerja sebenarnya yang terjadi saat proses adsorpsi dan desorpsi dimana terjadi perubahan temperatur yang menunjukkan adanya perpindahan panas yang terjadi pada sistem.
- Menghitung kinerja adsorpsi dan desorpsi dari karbon aktif komersil pada sistem ANG yang dipengaruhi perpindahan panas yang terjadi dalam sistem.

- Penelitian ini dilakukan dengan dua macam pendekatan, yaitu pendekatan teoritis dan pendekatan eksperimen untuk kemudian dibandingkan hasilnya.

1.4 Pembatasan Masalah

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

1. Adsorben yang digunakan adalah karbon aktif komersial (Carbotech) dan adsorbatnya adalah gas CH_4 .
2. Penelitian sebatas pada prosedur yang digunakan dalam melakukan proses adsorpsi dan desorpsi dengan berdasarkan jurnal.
3. Perubahan temperatur (ΔT) pada saat adsorpsi dan desorpsi divariasikan yaitu $5\text{ }^\circ\text{C}$, $15\text{ }^\circ\text{C}$ and $15\text{ }^\circ\text{C}$ dengan tekanan 5-35 bar dengan metode bertahap dalam memasukan tekanan gas metana (interval 5 bar)

1.5 Sistematika Penulisan

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

- **BAB 1 PENDAHULUAN**
Berisi latar belakang sebagai dasar penelitian dilakukan, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.
- **BAB 2 DASAR TEORI**
Berisi landasan teori umum yang digunakan untuk menjelaskan masalah yang dibahas.
- **BAB 3 METODE PENELITIAN**
Berisi tentang metode penelitian serta langkah-langkah yang dilakukan dalam menjalankan penelitian untuk mencapai tujuan.
- **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**
Berisi hasil penelitian serta pembahasan dari hasil penelitian tersebut.

- **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

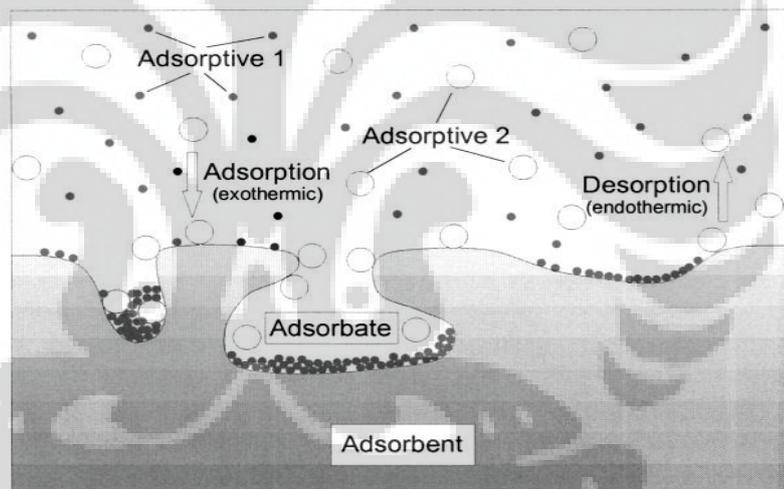
Berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran untuk penelitian yang sejenis di masa mendatang.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Adsorpsi

Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi antara molekul-molekul fluida (gas atau cair) yang dikontakkan dengan suatu permukaan padatan. Adsorpsi adalah proses dimana molekul-molekul fluida menyentuh dan melekat pada permukaan padatan (Nasruddin, 2005). Ketika permukaan padatan bereaksi dengan molekul gas atau cair, konsentrasi dari gas atau cairan tersebut di permukaan lebih tinggi daripada fase gas atau cair, disebut dengan adsorpsi (Bansal, R.C dan Meenakshi Goyal, 2005). Molekul tersebut akan terlepas dan berubah fase kembali menjadi gas, disebut fenomena desorpsi (Keller, J.U et al, 2005).



Gambar 2.1 Fenomena Adsorpsi dan Desorpsi (Keller, J.U et al)

Adsorpsi ditunjukkan oleh Gambar 2.1, ketika adsorpsi, terjadi proses pengeluaran kalor (eksoterm) dan sebaliknya ketika desorpsi terjadi proses pengambilan kalor dari lingkungan (endoterm). Entalpi adsorpsi berkisar antara 10 – 20 kJ/mol, dan terjadi dibawah titik didih adsorbat (Bansal, R.C dan Meenakshi Goyal, 2005).

Substansi yang terikat pada permukaan padatan disebut dengan adsorbat dan material tempat terserapnya adsorbat disebut adsorben. *Adsorptive* merupakan fluida yang akan berinteraksi dengan adsorbat.

Dan adsorpsi fisik merupakan suatu peristiwa reversibel. Bila dalam keadaan setimbang kondisinya bisa diubah misalnya tekanan diturunkan atau temperatur dinaikkan maka sebagian adsorbat akan terlepas dan akan membentuk kesetimbangan baru.

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

Proses adsorpsi fisik terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi, sehingga pada proses tersebut akan membentuk lapisan multilayer pada permukaan adsorben. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan mudah, yaitu dengan cara pemanasan pada temperatur 150 - 200°C selama 2 - 3 jam (Suryawan, Bambang, 2004).

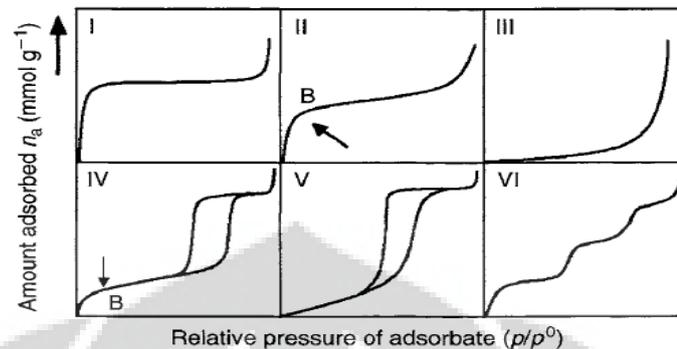
2.1.1 Adsorpsi Isoterm

Jika sejumlah gas atau vapor, q , teradsorpsi oleh padatan berpori-pori saat temperatur konstan dan dalam kesetimbangan tekanan partial, p , (atau konsentrasi, c) maka fungsi $q(p)$ merupakan adsorpsi isoterm (Thomas, W.J dan Barry Crittenden, 1998).

Adsorpsi isoterm merupakan metode yang sering digunakan untuk mewakili keadaan setimbang dari sebuah sistem adsorpsi. Adsorpsi isoterm berguna untuk memberikan informasi mengenai adsorbat, adsorben dan proses adsorpsi. Membantu dalam penentuan luas permukaan adsorben, volume dari pori-pori dan distribusi ukuran (Bansal, R.C dan Meenakshi Goyal, 2005).

Penggambaran kurva antara jumlah gas yang teradsorpsi terhadap tekanan (p/p_0) pada keadaan isotermal dapat dibagi menjadi enam jenis,

seperti gambar berikut : (Hines, A.L dan Robert N. Maddox, 1985 , Marsh H. dan F. Reinoso, 2006).



Gambar 2.2 Tipe-Tipe Kurva Adsorpsi (Mars H. dan F. Reinoso, 2006)

- a. Tipe I, disebut langmuir isotherm menggambarkan adsorpsi (*monolayer*). Langmuir isotherm sesuai dengan adsorpsi fisik pada padatan, biasanya diperoleh dari adsorben berpori kecil (*micropore*) kurang dari 2 nm dan luas area eksternal sangat sedikit, seperti pada karbon aktif, silika gel, zeolit dan bentofit.
- b. Tipe II, diperoleh dari percobaan Brauner, Emmett dan Teller (1938). Kurva jenis ini ditemukan pada adsorben berpori (*porous*) atau padatan berpori besar (*macro-porous*).
- c. Tipe III, menunjukkan kuantitas adsorben semakin tinggi saat tekanan bertambah. Tipe ini jarang terlihat dalam eksperimen adsorpsi, dimana gaya tarik molekul gas lebih besar dibandingkan gaya ikat serapan.
- d. Tipe IV, sering terlihat pada padatan berpori, seperti pada katalis industri. Relatif tekanan rendah sampai menengah, dimana volume terbesar adsorbat yang teradsorpsi dapat dihitung dari *capillary condensation* yang telah sempurna mengisi pori. Kurva jenis ini dihasilkan padatan adsorben berukuran *mesopore* (2-50 nm).
- e. Tipe V, jenis ini hampir sama dengan tipe III, dihasilkan dari interaksi yang rendah antara adsorben dengan adsorbat.
- f. Tipe VI, menunjukkan interaksi adsorbat dengan permukaannya yang terlalu homogen (*pyrolytic graphite*) yang berinteraksi dengan adsorben seperti argon dan metan.

2.1.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

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

1. Jenis adsorbat

a. Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul yang sesuai merupakan hal penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben.

b. Kepolaran zat

Apabila berdiameter sama, molekul-molekul polar lebih kuat diadsorpsi daripada molekul-molekul tidak polar. Molekul-molekul yang lebih polar dapat menggantikan molekul-molekul yang kurang polar yang terlebih dahulu teradsorpsi.

2. Karakteristik adsorben

a. Kemurnian adsorben

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

b. Luas permukaan dan volume pori adsorben

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

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

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

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

2.1.3 Adsorben

Material penyerap atau adsorben adalah zat atau material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas didalamnya (Suryawan, Bambang, 2004). Menurut Suzuki. M (1990) adsorben memiliki dua tipe yaitu polar dan non-polar. Adsorben polar disebut juga dengan *hydrophilic*, adsorben yang mengikat molekul polar, seperti air. Jenis adsorben ini adalah silica gel, porous alumina, dan zeolites. Adsorben non-polar lebih dapat mengikat oli atau gas dibandingkan air, disebut dengan *hydrophobic*, contohnya karbon aktif dan adsorben polimer.

Karakteristik adsorben yang dibutuhkan untuk adsorpsi (Suryawan, Bambang, 2004), adalah :

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

Dari segi sifat material adsorben, diharapkan memiliki sifat kinetik yang baik karena mempengaruhi laju adsorpsi, dan sifat mekanikal yang mempengaruhi ketahanan adsorben dalam melakukan proses adsorpsi dan desorpsi.

- **Jenis – jenis adsorben**

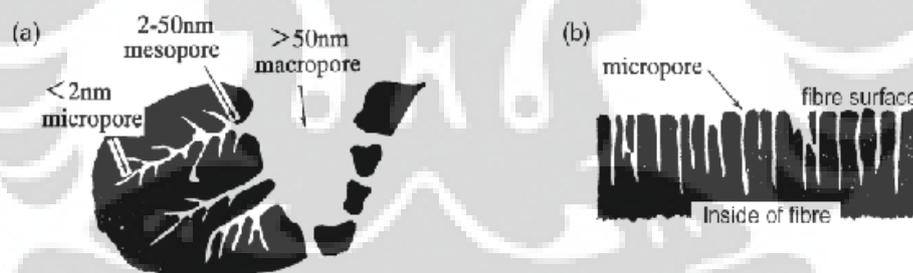
1. Silika gel

Energi yang dibutuhkan untuk pengikatan adsorbat pada silika gel relatif kecil dibanding dengan energi yang dibutuhkan untuk mengikat adsorbat pada karbon aktif atau zeolit sehingga temperatur untuk desorpsinya rendah. Laju desorpsi silika gel terhadap kenaikan temperatur sangat tinggi. Silika

gel dibuat dari silika murni dan secara kimia diikat dengan air. Jika silika gel diberi panas yang berlebih sampai kehilangan kadar air maka daya adsorpsinya akan hilang sehingga umumnya silika gel digunakan pada temperatur dibawah 200°C. Silika gel memiliki kapasitas menyerap air yang besar terutama pada saat tekanan uap air tinggi.

2. Karbon aktif

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

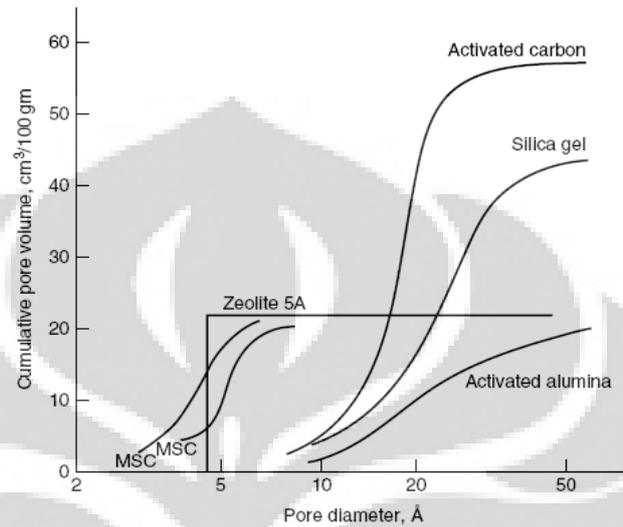


Gambar 2.3 (a) Karbon aktif granul (b) karbon aktif serat (Manocha, Satish. M, 2003)

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

Karbon aktif adalah jenis adsorben yang paling banyak digunakan pada sistem adsorpsi hal tersebut dikarenakan karbon aktif memiliki volume mikropori dan mesopori yang relative besar sehingga memiliki luas

permukaan yang besar, dengan demikian sangat memungkinkan untuk dapat menyerap adsorbat dalam jumlah yang cukup besar. Distribusi ukuran pori pada karbon aktif dan komparasinya terhadap beberapa jenis adsorben lainnya terlihat pada gambar 1 (Yang, Ralph. T, 2003).



Gambar 2.4. Distribusi ukuran pori pada karbon aktif, silica gel, activated alumina, 2 jenis molecular-sieve carbons (MSC), dan zeolit 5A (Yang, Ralph. T, 2003)

Bahan dasar pembuatan karbon aktif adalah seluruh material yang memiliki unsur karbon seperti tempurung kelapa, kayu, batubara dan lain-lain, namun untuk membuat karbon aktif perlu dilakukan pemilihan terhadap bahan dasar tersebut, disamping harus memiliki kandungan unsur karbon bahan dasar karbon aktif juga harus murah dan mudah didapat. Batubara adalah salah satu bahan dasar pembuatan karbon aktif yang paling potensial disamping memiliki kandungan unsur karbon yang cukup besar, ketersediaannya yang melimpah, batu bara juga memiliki harga yang relatif murah sehingga dengan membuat batubara menjadi karbon aktif nilai ekonomi batubara akan semakin meningkat.

3. Zeolit

Zeolit digunakan untuk pengeringan dan pemisahan campuran hidrokarbon, zeolit memiliki kemampuan adsorpsi tinggi karena zeolit

memiliki porositas yang tinggi. Zeolit mengandung kristal zeolit yaitu mineral *aluminosilicate* yang disebut sebagai penyaring molekul. Mineral *aluminosilicate* ini terbentuk secara alami. Zeolit buatan dibuat dan dikembangkan untuk tujuan khusus, diantaranya 4A, 5A, 10X, dan 13X yang memiliki volume rongga antara 0,05 sampai 0,30 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

Karbon aktif telah digunakan sejak berabad-abad yang lalu, sekitar tahun 1600 BC di kawasan Mesir. Hingga sekarang, karbon aktif paling banyak digunakan di industri, sebagai contoh untuk memurnikan air, penyerap gas karbon dioksida.

Bahan dasar karbon aktif mudah ditemukan karena dapat dibuat dari bahan-bahan yang mengandung senyawa karbon, seperti tumbuhan, batok kelapa, sekam padi, jenis kayu ataupun barang tambang, batu bara

Penggunaan karbon aktif paling banyak digunakan karena distribusi ukuran pori-pori pada karbon aktif mempunyai diameter pori yang lebih besar dibandingkan dengan adsorben lainnya (Yang, Ralph.T, 2003). Kapasitas daya serap yang tinggi, sekitar 0,6 – 0,8 cm³/gm, terjadi hampir di seluruh rongga molekular biasa disebut dengan *micropores* (Manocha, Satish M, 2003).

Karbon aktif termasuk ke dalam benda solid, namun berbeda karena pada atom permukaannya memiliki gaya yang tidak seimbang sehingga mudah untuk molekul lain masuk dan membentuk permukaan yang baru.

Beberapa bentuk karbon aktif (Manocha, Satish M, 2003) yaitu bubuk, granul, *spherical*, *impregnated*, dan *polymers coated carbon*. Setiap jenis bentuk karbon memiliki kegunaan yang berbeda.

2.1.4 Adsorbat

Adsorbat adalah substansi yang terkonsentrasi di permukaan adsorben. Pada penelitian ini digunakan gas metana sebagai adsorbat. Metana termasuk ke dalam ikatan hidrokarbon, menurut M Suzuki (1990), hidrokarbon termasuk kelompok substansi non-polar. Berbeda dengan air yang termasuk ke dalam substansi polar.

- **Jenis – Jenis Adsorbat**

1. Air

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

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

2. Amonia

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

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

3. Metanol

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

4. Karbondioksida (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.

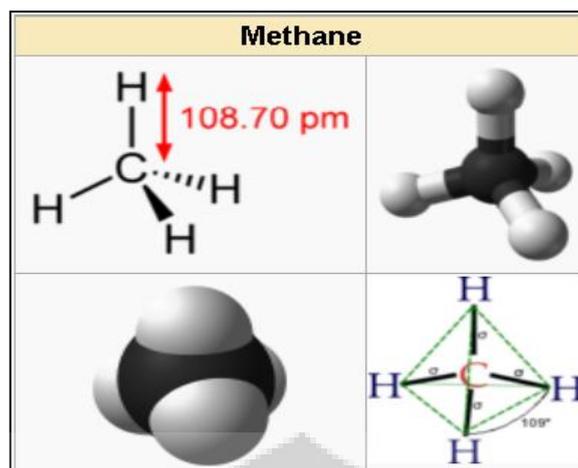
5. Metana (CH₄)

Metana merupakan komponen utama dari gas alam dan termasuk ikatan hidrokarbon. Pada tekanan dan temperatur atmosfer, metana dalam bentuk gas, tidak berwarna dan tidak berbau namun mudah terbakar.

Metana banyak digunakan sebagai bahan bakar kendaraan, karena termasuk bahan bakar fosil dan ditemukan di tambang minyak bumi, gas alam, ataupun di tambang batu bara. Selain itu, gas yang mengandung metana dapat ditemukan dari tumpukan bahan organik akibat pembusukan anaerobik.

Sifat-sifat lain dari gas metana, sebagai berikut (Berdasarkan Refprop) :

- Titik leleh : -182,5 °C
- Titik didih : - 161,6 °C
- Densitas (gas) : 1,819 kg/m³
- Faktor Kompresi (Z) : 0,998
- Temperatur Autoignition : 595 °C



Gambar 2.5 Gambar Struktur Molekul CH_4

2.2 Sistem Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses penyerapan adsorben ke permukaan adsorbat. Dibutuhkan sistem adsorpsi agar proses berjalan sesuai dengan tujuan akhir yang diinginkan, seperti mengetahui karakteristik optimal temperatur adsorpsi dari adsorben, dan kemampuan daya serap adsorben. Dalam pencapaian tujuan tersebut terdapat metode pengukuran proses adsorpsi yang biasa digunakan. Metode pengukuran tersebut memiliki skematik sistem adsorpsi masing-masing.

2.3 Metode Pengukuran Adsorpsi

Terdapat empat metode pengukuran penyerapan adsorpsi, yaitu: metode *carrier gas*, metode volumetrik, metode gravimetrik dan metode kalorimetrik. Empat metode pengukuran penyerapan adsorpsi tersebut telah digunakan di berbagai negara dan telah diakui secara internasional (Keller, J.U et al, 2002). Dalam tinjauan pustaka ini hanya akan dibahas dua buah metode yang paling banyak digunakan yaitu metode gravimetrik dan volumetrik.

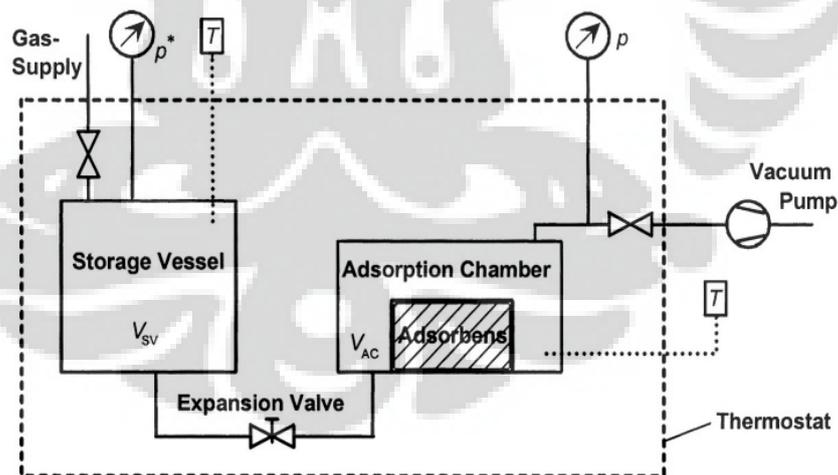
2.3.1 Metode Volumetrik

Dalam metode volumetrik, pengukuran dilakukan untuk mendapatkan temperatur dan tekanan di dalam *vessel*. Pada skematik terdapat dua *vessel* yaitu *storage vessel* dan *adsorption chamber* dihubungkan oleh sebuah katup. *Storage vessel* berguna untuk penyimpanan gas sementara yang

tekanan dan temperaturnya dapat diatur. Kemudian *adsorption chamber* terdapat adsorben untuk adsorpsi gas. Katup dibuka gas mengalir dari *storage vessel* ke *adsorption chamber*, terjadi penurunan tekanan dan kenaikan temperatur menandakan terjadinya adsorpsi. Setelah kesetimbangan tercapai, didapatkan temperatur dan tekanan stabil, massa gas teradsorpsi dapat dihitung.

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

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



Gambar 2.6 Skematik Pengukuran Volumetrik
(Keller, J.U et al, 2005)

- **Perhitungan Kapasitas Penyerapan dengan Metode Volumetrik, massa gas metana yang tidak terserap (m_{void}) dan massa yang tersisa di karbon aktif**

Instalasi alat uji adsorpsi metana menggunakan metode volumetrik sebagai salah satu metode pengukuran penyerapan adsorpsi karena metode volumetrik ini merupakan metode yang sangat mendekati terhadap parameter-parameter dengan alat uji adsorpsi metana

Pengukuran kapasitas dan laju penyerapan dapat dilakukan menggunakan persamaan hukum kesetimbangan gas ideal (STP). Kesetimbangan massa uap adsorbat dalam *charging vessel* dan *measuring vessel* dapat diasumsikan sebagai berikut (Belal, Dawoud, et al., 2003), dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$m_{\text{ads CH}_4} = m_{\text{masuk CH}_4} - m_{\text{void CH}_4} \quad (2.1)$$

$$m_{\text{masuk}} = \sum f(\dot{m}_{\text{cfm}}) - m_{\text{yang tertinggal di tube}} \quad (2.2)$$

$m_{\text{yang tertinggal di tube}}$ menggunakan perbandingan volume antara air dan metana

$$m_{\text{metana}} = \rho_{\text{metana (P,T)}} \cdot V_{\text{metana}} \quad (2.3)$$

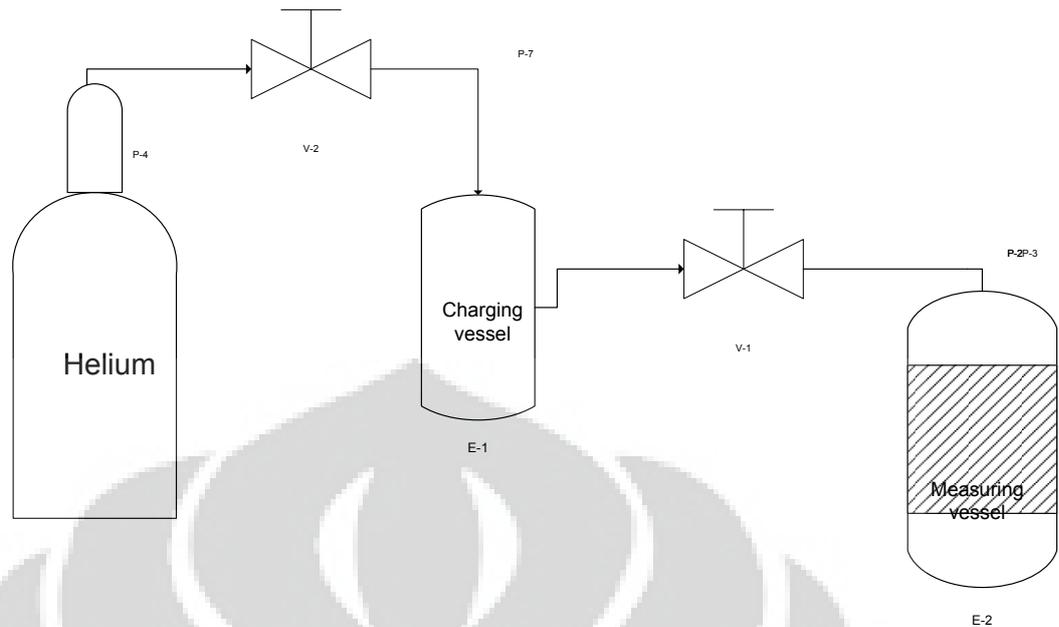
$$V_{\text{air}} = 45 \text{ ml}$$

$$V_{\text{metana}} = V_{\text{air}}$$

Untuk mengetahui massa metana yang tidak terserap (m_{void}) pada proses adsorpsi:

$$m_{\text{void CH}_4} = \rho_{\text{CH}_4(\text{P,T})} \cdot V_{\text{void}} \quad (2.4)$$

Volume kosong (V_{void}) yang akan diukur adalah volume ruangan yang kosong di dalam vessel yang sudah diisi dengan karbon aktif. Volume kosong (V_{void}) diperlukan untuk mengetahui berapa jumlah gas metana yang tersimpan dalam fasa gas dan fasa teradsorpsi dalam vessel. Untuk mencari volume kosong (V_{void}) digunakan pendekatan massa dengan memanfaatkan gas helium. Dalam proses ini gas helium digunakan karena sifatnya yang tidak teradsorpsi pada karbon aktif, ini disebabkan karena ukuran molekul helium yang kecil. Rumus yang digunakan untuk mencari volume kosong tabung (V_{void}) adalah.



Gambar 2.8 Skematik Pengukuran volume kosong

Prosedur pengukuran volume kosong pada *measuring cell* dengan menggunakan metode kesetimbangan densitas adalah sebagai berikut:

- Temperatur di dalam *charging cell* dan *measuring cell* dikondisikan pada temperatur lingkungan 25°C
- Gas helium dimasukkan ke dalam *charging cell* dengan cara membuka katup 1. Katup ditutup kembali saat tekanan pada *charging vessel* telah mencapai tekanan yang diinginkan. Tekanan awal *charging vessel* (P_{cv}) dan temperatur *charging vessel* (T_{cv}) dicatat.
- Buka katup 2 maka gas He masuk ke dalam *measuring vessel*, kemudian Tekanan awal *charging vessel* (P_{cv}) dan temperatur *charging vessel* (T_{cv}) dicatat. Dengan data ini, maka akan
- Setelah tercapai kondisi equilibrium, dimana tekanan pada *charging vessel* dan *measuring vessel* konstan, kira-kira selama 15 menit, Tekanan awal *measuring vessel* (P_{mv}) dan temperatur *charging vessel* (T_{mv}) dicatat.

Prosedur ini dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan volume kosong *measuring vessel*. Berikut ini rumus untuk mendapatkan $V_{\text{void } mv}$ pada *measuring vessel* menggunakan metode kesetimbangan densitas yaitu

perubahan densitas yang terjadi pada *charging vessel* awal dan akhir dan didapat massa He yang terkirim ke *measuring vessel*.

$$m_{\text{void He}} = (\rho_{\text{cv awal}} - \rho_{\text{cv akhir}}) \cdot V_{\text{cv}}$$

$$V_{\text{void mv}} = \frac{m_{\text{void He}}}{\rho_{\text{mv He}}(p,T)}$$

Dimana:

$V_{\text{void mv}}$: volume kosong pada *measuring vessel* (liter)

V_{cv} : volume kosong pada *charging vessel* 1.17 liter

$M_{\text{void He}}$: massa helium yang terkirim ke *measuring vessel* (gram)

$F(m_{\text{cfm}})$: laju aliran massa adsorbat di *Coriolid Flow Meter*
(g/s)

$\sum f(m_{\text{cfm}})$: jumlah laju aliran massa adsorbat di *Coriolid Flow Meter*
(g)

m_{ads} : massa adsorbat yang diserap oleh adsorben (g)

• Massa gas metana yang tersisa

$$m_{\text{in}} = m_{\text{terserap}} + m_{\text{yang tidak terserap}} \quad (1)$$

$$m_{\text{sisia}} = m_{\text{terserap}} + m_{\text{yang tidak terserap}} - m_{\text{out}} \quad (2)$$

substitusi (1) dan (2)

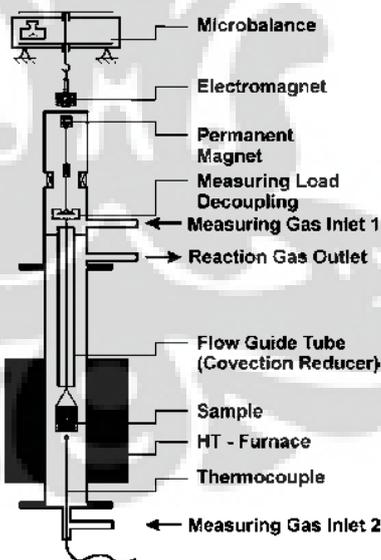
$$m_{\text{sisia}} = m_{\text{in}} + m_{\text{out}}$$

2.3.2 Metode Gravimetrik

Metode gravimetrik digunakan untuk karakteristik pori-pori adsorben, mengukur persamaan adsorpsi gas, dan adsorpsi kinetik (Keller, J.U et al, 2005). Pengukuran adsorpsi isothermal yang dapat dilakukan menggunakan

metode gravimetrik, antara lain: massa yang terserap pada adsorben, tekanan gas dan temperatur. Alat yang digunakan untuk mengukur adsorpsi isothermal adalah *Thermograph Microbalance Aparatus* (TGA) (Rouquerol, J et al, 1998).

Preparasi sampel pengujian menggunakan metode gravimetrik mutlak dilakukan untuk mendapatkan pengujian yang optimum. Preparasi sampel dilakukan dengan *degassing* sampel untuk mendapatkan massa kering sampel serta temperatur, tekanan, dan waktu untuk mendapatkan data pengujian yang valid (Keller, J.U et al, 2002). Pengujian menggunakan metode gravimetrik sangat kompleks, dikarenakan diperlukan pengukuran efek *bouyancy* pada pengolahan datanya. Alat uji adsorpsi menggunakan metode gravimetrik membutuhkan investasi yang cukup besar, karena untuk memiliki TGA dengan keakurasian tinggi harus menyediakan jutaan dollar (Rouquerol, J et al, 1998). Skematik *Thermograph Microbalance Aparatus*, sebagai berikut :

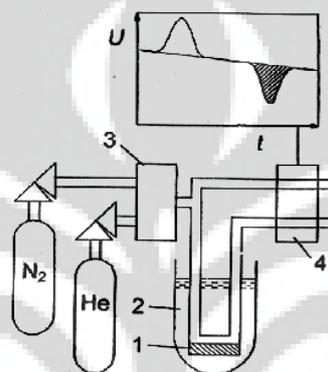


Gambar 2.7 Skematik Skematik *Thermograph MicrobalanceAparatus* (Keller, J.U et al, 2002)

2.3.3 Metode *carrier gas*

Metode *carrier gas* adalah variasi dari metode gas *chromatography* yang telah dimodifikasi (Keller, J.U et al, 2002). Metode *carrier gas*

memanfaatkan *carrier gas*, yaitu gas mulia (helium) yang tidak terserap oleh adsorben, untuk mengukur konsentrasi adsorbat (nitrogen) yang terserap adsorben. Pengukuran dengan metode ini dilakukan dengan mengalirkan helium dan nitrogen, nitrogen yang terserap oleh sampel diindikasikan dengan berkurangnya konsentrasi gas helium pada satu waktu. Titik jenuh pengukuran menggunakan metode *carrier gas* ditandai dengan bertambahnya konsentrasi nitrogen. Skematik metode *carrier gas*, sebagai berikut:



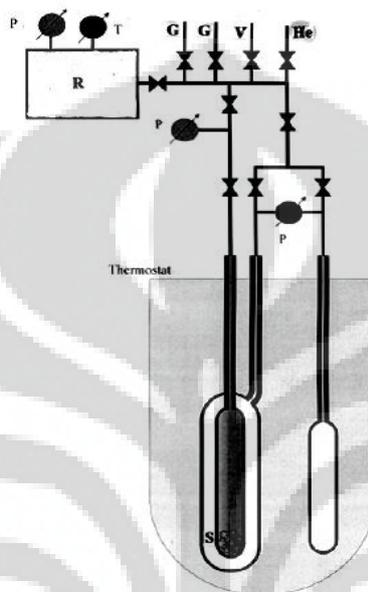
Gambar 2.8 Skematik metode carrier gas. (1) sampel, (2) tabung dengan nitrogen cair gas mixer (3) dan (4) konduktivitas gas detektor. Hasil dari pengukuran metode ini adalah grafik U voltage dan waktu t (Keller, J.U et al, 2002).

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

2.3.4 Metode kalorimetrik

Pengukuran adsorpsi menggunakan metode kalorimetrik baik dilakukan isothermal maupun isobar tidak dapat dilakukan tanpa data awal adsorbat dan sampel yang diuji. Data awal tersebut adalah data termodinamika. Teknik pengukuran ini sangat khusus dan terdapat

komponen khusus yang tidak ditemukan di pasar. Pada institusi penelitian biasanya digunakan Tian-Calvet kalorimeter yang digunakan untuk mengukur panas adsorpsi (Keller, J.U et al, 2002). Dari panas adsorpsi maka entalpi adsorpsi dan massa yang terserap bisa di hitung. Skematik Tian-Calvet kalorimeter, sebagai berikut:



Gambar 2.9 Skematik Tian-Calvet kalorimeter. (P) pressure gauge, (T) termometer, (R) gas reservoir, (S) sampel, (G) adsorbat masuk, (V) katup vakum, dan (He) helium masuk (Keller, J.U et al, 2002).

2.4 Adsorpsi Equilibrium

Ketika permukaan padatan dilalui oleh gas sehingga molekul gas menabrak permukaan padatan tersebut dan menumpuk pada permukaan padatan sehingga kemudian gas tersebut diserap dan membentuk ikatan lain.

Pada sistem adsorbat-adsorben, jumlah adsorbat yang terserap pada kondisi equilibrium adalah merupakan fungsi dari tekanan dan temperatur;

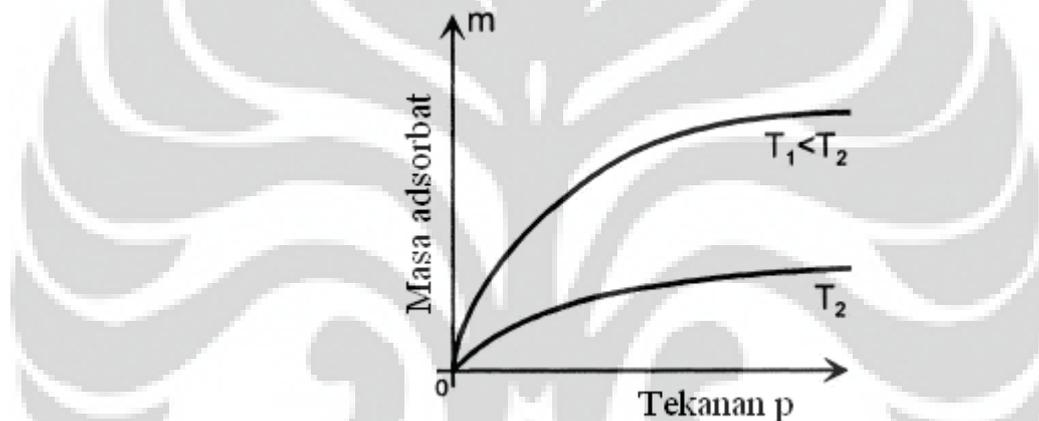
$$\frac{x}{m} = f(P, T) \quad (2.1)$$

Dimana, x/m adalah jumlah adsorbat yang terserap per unit massa adsorben pada tekanan equilibrium dan pada temperatur adsorpsi. Adsorpsi equilibrium dapat didekati dalam tiga cara, yaitu:

1. Adsorpsi Isotermal

Pada adsorpsi isotermal, temperatur adsorpsi dijaga konstan dengan demikian x/m tergantung pada tekanan equilibrium sehingga jumlah adsorbat yang terserap adalah:

$$\frac{x}{m} = f(p) \quad [T = \text{konstan}] \quad (2.2)$$

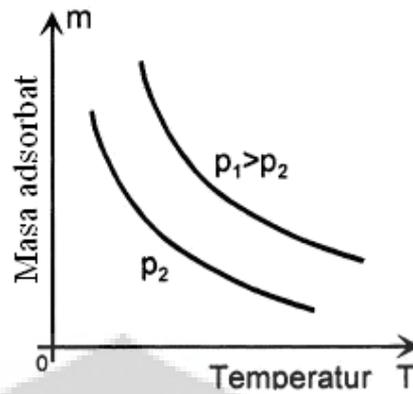


Gambar 2.10 Grafik Data yang Diperoleh pada Adsorpsi Isotermal
(Keller, Jurgen., 2005)

2. Adsorpsi Isobar

Pada adsorpsi isobar, tekanan adsorpsi dijaga konstan dan temperatur adsorpsi divariasikan dengan demikian x/m adalah:

$$\frac{x}{m} = f(T) \quad [p = \text{konstan}] \quad (2.3)$$

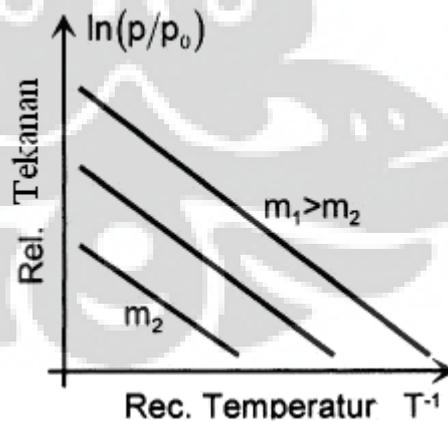


Gambar 2.11 Grafik Data yang Diperoleh Pada Adsorpsi Isobar
(Keller, Jurgen., 2005)

3. Adsorpsi Isosterik

Pada adsorpsi isosterik dimana jumlah adsorbat yang terserap per unit massa adsorben adalah konstan dan temperatur divariasikan sehingga tekanan menjadi fungsi yang sangat esensial untuk menjaga x/m tetap konstan.

$$p = f(T) \quad \left[\frac{x}{m} = \text{konstan} \right] \quad (2.4)$$



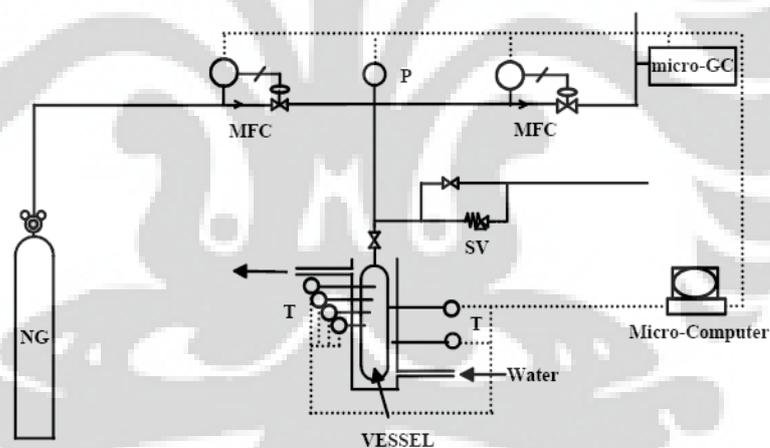
Gambar 2.12 Grafik Data yang Diperoleh Pada Adsorpsi Isostere
(Keller, Jurgen., 2005)

Data eksperimen adsorpsi yang berupa jumlah adsorbat yang terserap pada adsorben biasanya dihasilkan dari proses adsorpsi isothermal, hal tersebut dikarenakan investigasi proses adsorpsi pada temperatur konstan adalah cara atau metode yang paling mudah. Selain itu, analisis teoritis data adsorpsi untuk asumsi pada pemodelan biasanya juga menggunakan data adsorpsi isothermal.

Dikarenakan ketiga tipe adsorpsi equilibrium tersebut di atas adalah merupakan fungsi equilibrium sehingga dimungkinkan untuk menghasilkan atau mendapatkan satu parameter dengan menggunakan parameter dari salah satunya.

2.5 Skematik Sistem Adsorpsi

Pada adsorpsi-desorpsi metana, digunakan sistem skematik seperti pada Gambar 2.12, berdasarkan Jurnal Internasional “*Effect of cycling operations on an adsorbed natural gas storage*” oleh Pupier, O. et al, 2004.



Gambar 2.13 Skematik Penelitian Untuk Operasi Siklus (Pupier, O. et al, 2004)

Gambar 2.12, menjelaskan aliran masuk adsorbat menuju tangki penyimpanan (*vessel*) dan keluar ke lingkungan. Terdapat komponen mengontrol aliran massa (MFC) untuk mengatur aliran massa adsorbat yang masuk dan keluar. Pemasangan *micro-gas chromatograph* ditujukan untuk mengetahui kandungan adsorbat yang keluar dan dilihat pengaruhnya setelah beberapa siklus dilakukan.

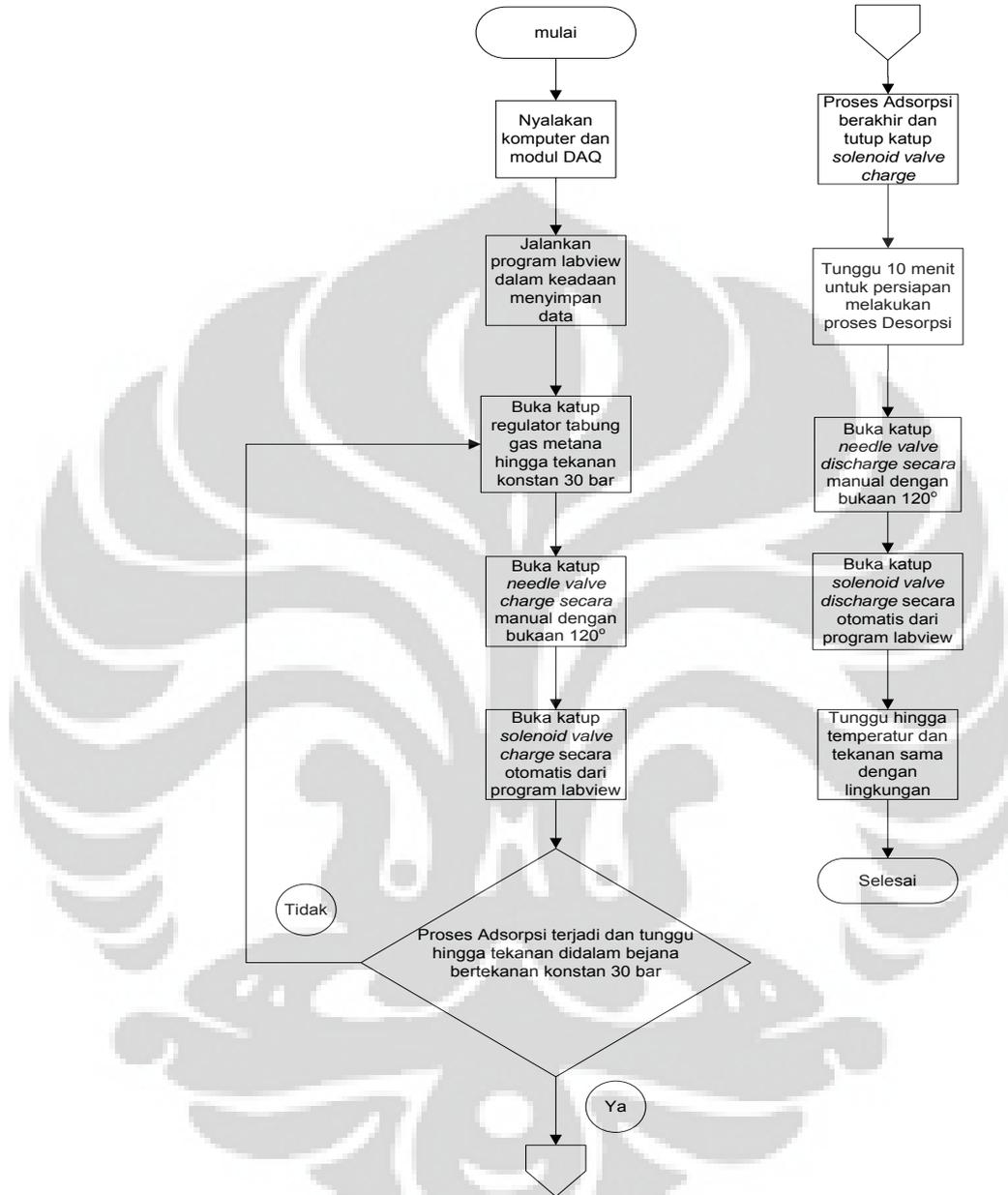
Data yang diambil yaitu tekanan, temperatur dan aliran massa. Proses adsorpsi-desorpsi dilakukan pada temperatur konstan, 298 K oleh sebab itu *vessel* dimasukan ke dalam air yang dapat diatur temperaturnya. Air digunakan karena lebih stabil terhadap keadaan lingkungan yang kurang stabil. Tekanan dalam *vessel* mencapai 3,5 MPa dan temperatur adsorben kembali seperti temperatur awal, minimal berbeda 0,5 °C, maka pengisian berakhir

Skematik di atas bertujuan untuk mendapatkan grafik temperatur, tekanan, dan aliran massa terhadap waktu dan kandungan adsorbat setelah dilakukan sekitar 700 siklus.



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian Alat Uji Adsorpsi-Desorpsi Metana



Gambar 3.1 Flowchart metode penelitian alat uji adsorpsi-desorpsi Metana

3.2 Alat Uji Adsorpsi-desorpsi Metana

3.2.1 Pressure Vessel

Pressure vessel dirancang sebagai tempat untuk merubah fasa adsorbat menjadi *vapour*. Namun pada penelitian ini digunakan untuk menyimpan CH_4 bertekanan tinggi. Pada perancangan *pressure vessel* parameternya adalah tekanan maksimum adsorbat, karena akan berpengaruh pada ketebalan *vessel*. Tekanan yang dibutuhkan yaitu 40 bar, sehingga perancangan untuk *pressure vessel* harus mampu menahan tekanan lebih dari 40 bar, sebagai *safety factor*.

Gambar *pressure vessel*, sebagai berikut:



Gambar 3.2 Pressure Vessel

Bagian-bagian dari *pressure vessel* yang dibuat yaitu,

1. Blind Flange

Blind flange yang digunakan memiliki material baja karbon dengan ukuran disesuaikan untuk DIN 40 SS 304



Gambar 3.3 Blind Flange

2. Slip on Flange

Blind flange yang digunakan DIN 40 SS 304



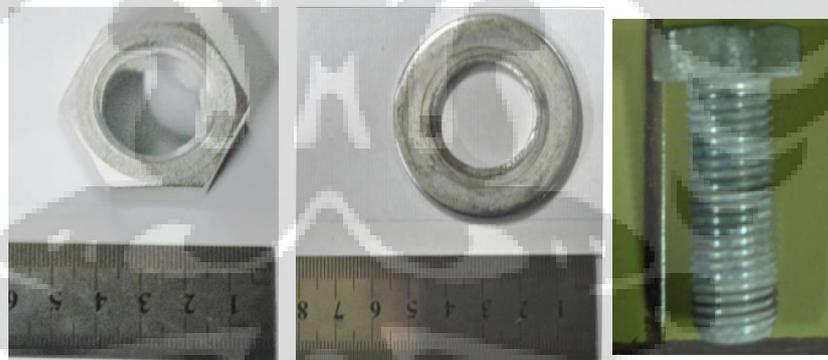
Gambar 3.4 Slip-On

3. Pipa

Pipa dengan schedule 40 memiliki diameter dalam (\varnothing_i) 128.19 mm dan diameter luar (\varnothing_o) 141.3 mm.

4. Nut, Ring dan Screw

Memiliki material baja karbon yang dilapisi galvanis, dengan diameter as 25 mm.



Gambar 3.5 Nut, Ring, Screw

5. Packing Teflon

Diantara flange diberi packing agar tidak terjadi kebocoran, dengan jenis teflon yang mampu menahan tekanan dan temperatur masing-masing 400 kg/cm^2 dan 280°C .



Gambar 3.6 Packing Teflon

3.2.2 Pipa dan Insulasi

Pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana, dari sumber gas CH_4 menuju *pressure vessel* dihubungkan dengan pipa *stainless steel* dengan ukuran 1/4 inci. Pipa ini memiliki diameter luar (Ø_o) 6.35 mm dan diameter dalam (Ø_i) 3 mm. Panjang keseluruhan pipa yang digunakan pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana 7225 mm, sehingga volumenya 51070.52 mm^3 .

Insulasi pipa pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana yang digunakan terbuat dari asbestos. Diameter (Ø) 6 mm dan tebal insulasi 9 mm. *Thermal conductivity* adalah $0,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.



Gambar 3.7 Pipa

3.2.3 Pressure Transmitter

Pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan satu buah *pressure transmitter* yang digunakan untuk mengukur tekanan di *measuring cell* (bejana bertekanan). *Pressure transmitter* yang digunakan pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

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

Gambar *pressure transmitter* pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana, sebagai berikut :

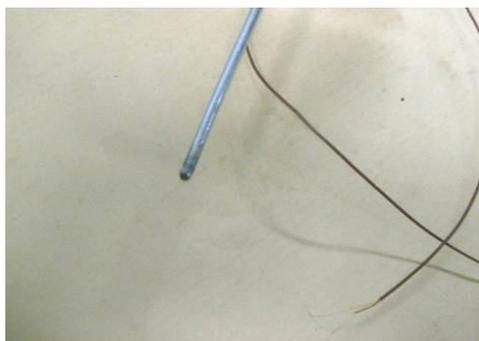


Gambar 3.8 Pressure Transmitter

3.2.4 Termokopel

Pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan tujuh buah termokopel yang digunakan untuk mengukur temperatur di *measuring cell*. Termokopel yang digunakan pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

Jenis	: Kabel
Tipe termokopel	: K
Temperatur <i>range</i>	: – 200 - 1250°C
<i>Accuracy</i>	: Class I → 95 %



Gambar 3.9 Modifikasi Termokopel Jenis K

Termokopel yang digunakan dimodifikasi untuk mencegah kebocoran yang terjadi melalui kabel termokopel yaitu ujung dari termokopel dimasukkan ke dalam tubing 1/8 inci sebagai selubung yang dilas menempel dengan sisi selubung tersebut.

3.2.5 Pompa Vakum

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

Pompa vakum yang digunakan pada alat uji, memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Pabrikan	: Aruki
Tipe	: VP-1C-2
Jenis	: <i>1 Stage Vacuum Pump</i>
Vakum maksimal	: 10 Pa
Laju pemvakuman	: 1.5 CFM (50/60 Hz)
Konsumsi energi	: 220 V

Gambar pompa vakum yang digunakan dalam pengujian alat uji adsorpsi-desorpsi metana, sebagai berikut :



Gambar 3.10 Pompa Vakum

3.2.6 Needle valve

Pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan dua buah *needle valve* yang digunakan sebagai alat pembuka dan penutup serta sebagai pengontrol banyaknya aliran fluida yang mengalir. *Needle valve* merupakan salah satu jenis dari *valve*.

Needle valve yang digunakan pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana memiliki spesifikasi, sebagai berikut:

Pabrikan	: WHITEY
Tipe	: SS-20VF4
Orifice	: 0.125 in or 3.2 mm
Stem type	: VEE
Connection size	: <i>inlet</i> 1/4" female NPT and <i>outlet</i> 1/4" female NPT
Tekanan	: max 6000 PSI (41300 kPa)
Temperatur	: 1000°F



Gambar 3.11 Needle valve

3.2.7 Tube Flaring

Tube flaring atau sambungan pipa pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan untuk menyambungkan seluruh aliran pipa dalam sistem, yaitu menghubungkan antara tabung gas CH₄ menuju *measuring cell* (bejana bertekanan).

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

Pabrikan	: Swagelok
----------	------------

Diameter luar (\emptyset_1) : 1/4 inchi

Gambar *tube flaring* yang digunakan dalam pengujian alat uji adsorpsi-desorpsi metana, sebagai berikut :



Gambar 3.12 Tube

3.2.8 Sambungan Tee

Sambungan *tee* atau sambungan T pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan sebagai terminal rangkaian pipa. Dalam suatu rangkaian pipa yang dimana input pipa yang bercabang dapat diubah output pipa menjadi single dan juga sebaliknya. Jenis dari sambungan *tee* ada banyak jenisnya, salah satunya adalah sambungan *tee* dengan 3 kepala untuk jenis tubing.

Sambungan *tee* atau sambungan T yang digunakan pada alat uji ini memiliki spesifikasi, sebagai berikut:

Pabrikan : SWAGELOK
 Tipe : 3 kepala untuk jenis tubing
 Orifice : 1/4 inchi



Gambar 3.13 Sambungan tee atau T

3.2.9 Thermal Insulation (Thermalflex)

Thermal insulation pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan sebagai isolasi temperatur pada media yang dipasangkannya. Dengan adanya *thermal insulation* atau biasa disebut *thermalflex* dapat menjaga temperatur dari temperatur ambient yang selalu berubah setiap saat.

Thermal insulation yang digunakan pada alat uji ini memiliki spesifikasi, sebagai berikut:

Pabrikan	: ACTROL
Tipe	: superlonFR (black)
Temperatur limit	: -40 ⁰ C to 105 ⁰ C
Thermal Conductivity	: 0.0374 W/mK
Thickness	: 10 mm



Gambar 3.14 Thermal insulation (*thermalflex*)

3.2.10 Insulation Tape

Insulation tape pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan sebagai alat untuk menempelkan *thermalflex* sekeliling drum serta dapat digunakan untuk isolasi temperatur pada suatu media. *Insulation tape* ini sama dengan plester pada umumnya tetapi memiliki kelebihan dapat mengisolasi temperatur walaupun sangat kecil. Biasanya alat ini digunakan untuk mengisolai pipa pada *air conditioning*.

Insulation tape white yang digunakan pada alat uji ini memiliki spesifikasi, sebagai berikut:

Pabrikan	: MULTICOMP
----------	-------------

Tipe : 38mm X 20m insulation tape white 3820W
 Temperatur limit : 0⁰C to 80⁰C
 Material thickness : 0.15 mm



Gambar 3.15 Insulation tape

3.2.11 Drum

Drum pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan sebagai tempat untuk mengkondisikan temperatur menjadi *isothermal* dengan media air.

Drum yang digunakan pada alat uji ini memiliki spesifikasi, sebagai berikut:

Volume : 100 liter



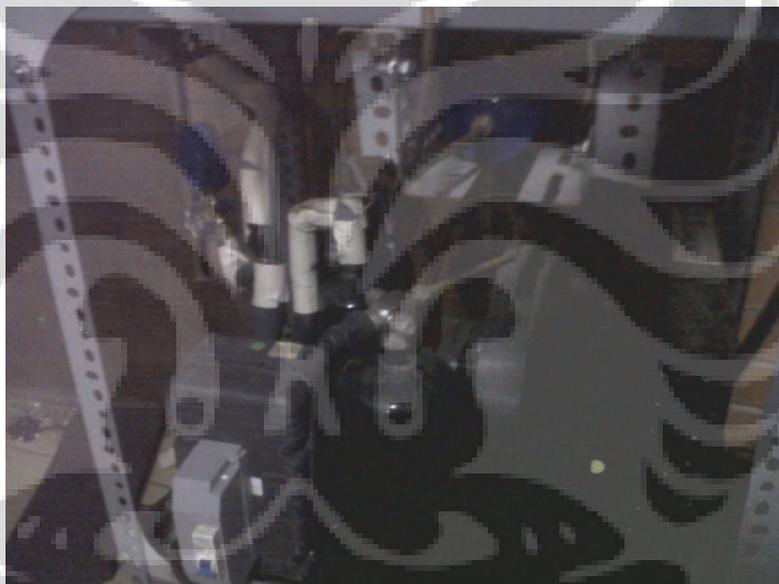
Gambar 3.16 Drum

3.2.12 Circulating Thermal Bath (CTB)

Circulating thermal bath (CTB) pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan untuk membuat air dalam keadaan *isothermal* sesuai dengan kondisi temperatur yang diinginkan. *Circulating thermal bath* ini juga dilengkapi dengan *pump* untuk mensirkulasi air sehingga tercapai temperatur yang sesuai dengan temperatur yang diinginkan.

Circulating thermal bath yang digunakan pada alat uji ini memiliki spesifikasi, sebagai berikut:

Pabrikan	: HUBER
Tipe	: CC1
Operating temperatur	: -20°C to 200°C
Max operating temp. of refrigerator	: 50°C
Heating power	: 2 kW
Cooling power	: 0.18 kW
Max delivery (pressure)	: 10 l/m
Bath volume	: 12 liters
Bath depth and height	: 150 mm and 215 mm



Gambar 3.17 Sistem Pendingin (CTB)

3.2.13 Male Connector

Male connector pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan sebagai penyambung antara connector ulir dengan *connector tubing*. Komponen *connector* ini mempunyai 2 jenis yaitu *male connector* dan *female connector*.

Male connector yang digunakan pada alat uji ini memiliki spesifikasi, sebagai berikut:

Pabrikan	: SWAGELOK
----------	------------

Tipe : male connector

Orifice : 1/4"



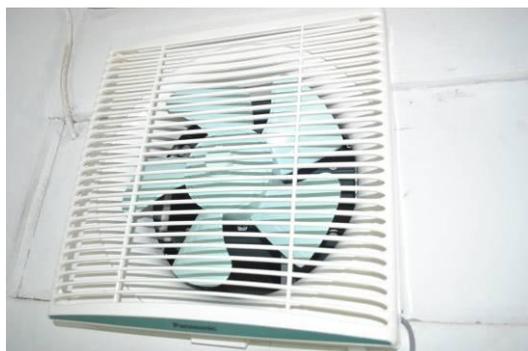
Gambar 3.18 Male connector

3.2.14 Exhaust Fan

Exhaust fan pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan sebagai alat untuk membantu proses pembuangan gas baik didalam ruangan atau dari *out tubing gas*. Dengan adanya exhaust fan dapat mengurangi tingkat bahaya dari gas *flammable* dan dari gas beracun yang ada didalam ruangan.

Exhaust fan yang digunakan pada alat uji ini memiliki spesifikasi, sebagai berikut:

Pabrikan	: PANASONIC
Tipe	: 25RUN3
Sumber tegangan	: 220 Volt 50Hz
Hembusan udara(m^3/mnt)	: 15.6(keluar) dan 10.7(masuk)
Arus(ampere)	: 0.131-0.167(keluar) dan 0.078-0.1(masuk)
Daya	: 27.46-39.94(keluar) dan 17.21-21.91(masuk)
Putaran per menit(RPM)	: 1046-1240(keluar) dan 899-1067(masuk)



Gambar 3.19 Exhaust fan

3.2.15 Regulator

Regulator pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan sebagai *valve* dan sekaligus mengontrol tekanan yang diinginkan secara manual. Di *regulator* terdapat 2 *pressure gauge* untuk membaca *pressure* di tabung dan *pressure* yang dikeluarkan.

Regulator yang digunakan pada alat uji ini memiliki spesifikasi, sebagai berikut:

Pabrikan	: HARRIS
Max pressure di tabung	: 200 bar
Max pressure output	: 40 bar



Gambar 3.20 Regulator Tekanan

3.2.16 Temperature Controller

Temperature controller pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan untuk mengontroler temperatur pada *heater*. Dengan adanya alat ini dapat menset temperatur sesuai dengan kebutuhan.

Temperatur controller yang digunakan pada alat ini memiliki spesifikasi, sebagai berikut:

Pabrikan	: Autonics
Model	: TZN4S
Power supply	: 100-240 VAC 50/60 Hz
Input sensor	: termokopel K,R,E,T,S,N,W
Display accuracy	: $\pm 0.3\%$ based on F.S or 3°C max

Input temperatur : K(-100 to 1300⁰C), J(0 to 800⁰C)
 Ambient temperatur : -10 to 50⁰C (at non-freezing status)
 Storage temperatur : -20 to 60⁰C
 Ambient humidity : 35 to 85% RH



Gambar 3.21 Temperature control

3.2.17 Main Contact Breaker (MCB)

Main contact breaker (MCB) pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan pada *heater* sebagai pemutus aliran listrik bila terjadi kelebihan beban listrik agar tidak terjadi kerusakan pada alat elektronik.

Main contact breaker (MCB) pada alat uji ini memiliki spesifikasi, sebagai berikut:

Pabrikan : SCHNEIDER ELECTRIC
 Model : 11341SNI
 Voltase operation : 230/400 V 50 Hz



Gambar 3.22 Main contact breaker (MCB)

3.2.18 Terminal

Terminal pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan pada *heater* untuk menstabilkan listrik dan dapat mengubah arus DC menjadi AC.

Terminal pada alat uji ini memiliki spesifikasi, sebagai berikut:

Pabrikan : FOTEK

Model : solid state module SSR-10 DA

Voltage range : input 3-32VDC dan output 24-380VAC

Current : 10 A



Gambar 3.23 Terminal

3.2.19 Data Akusisi (DAQ)

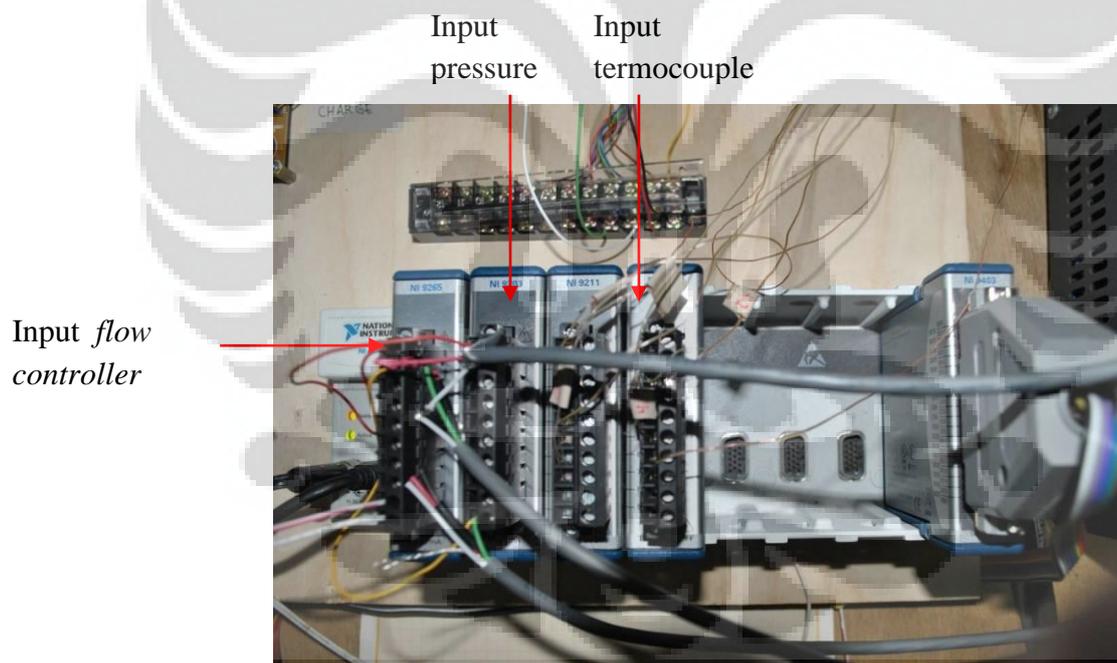
Data akusisi digunakan untuk menerima sinyal atau *analog output* dari alat ukur, yaitu *pressure transmitter* dan termokopel serta kendali terhadap *solenoid valve* dan *coriolis flow meter*. Data *analog* yang diterima data akusisi dari alat ukur diubah menjadi data digital, sehingga mampu dibaca dan disimpan komputer .

Data akusisi terdiri dari dua bagian yaitu *analog input module* dan *converter*. *Analog input module* merupakan alat yang menangkap sinyal dari alat ukur, sedangkan *converter* merupakan alat yang menerima, mengubah sinyal dan menguatkan keluaran *analog input module* agar dapat diterima komputer melalui *communication port*. Pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana terdapat empat data akusisi, yaitu data akusisi untuk menerima keluaran termokopel, *pressure transmitter*, *solenoid*

valve serta *flow controller* berupa mA. Perbedaan keluaran sinyal alat ukur tersebut mengakibatkan harus digunakan empat data akusisi.

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

Pabrikan	: National Instrument
Type	: NI cDAQ 9174
Komponen	: modul NI9221, modul NI9203, modul NI9265, modul NI9403 dan slot kaki modul
Input accepted	: termokopel: J,K,T,E,R,S dan B current: ± 20 mA, 4- 20 mA
Jumlah channel	: 8
Accuracy	: $\pm 0,1\%$
Supply voltage	: 9-30 V dan 15 W max



Gambar 3.24 Data akusisi (DAQ)

3.2.20 Power Supply

Power supply digunakan untuk memberikan *supply* tegangan pada instrumen dan alat ukur serta pada *solenoid valve*. Pada alat uji adsorpsi-

desorpsi metana, *supply* tegangan diperlukan untuk memberikan tegangan untuk data akusisi, *solenoid valve* dan *pressure transmitter*. Besar tegangan *supply* untuk kedua komponen tersebut tidak boleh melebihi tegangan maksimal komponen.

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

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



Gambar 3.25 Power Supply

Tipe : GZT-H300S24
 Jenis : AC-DC
 Input : 176V-264V/3.8A max 50/60 Hz
 Output : +24.0V===12.5A

3.2.21 Komputer

Komputer pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan sebagai alat penerima sinyal dari data akusisi dan penyimpan data pengujian dan terinstal perangkat lunak konversi tegangan (Lab View 6.5).

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

Processor : Intel (R) Celeron (R) 4 - 2,8 GHz

Memory : 480 GB of RAM
 OS : Microsoft XP service pack 2
 Perangkat lunak : National Instrument, Lab View 6.5

3.2.22 Heater

Heater pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana ini digunakan sebagai alat pemanas *measuring cell* (bejana bertekanan) saat akan melakukan proses *degassing* sehingga substansi yang masih tersisa di dalam karbon aktif dapat dilepas. Pemanasan dilakukan dengan menjaga temperatur konstan sehingga digunakan temperatur *controller*.

Berikut adalah spesifikasi untuk *heater* :

Jumlah : 1 buah
 Daya : 800 W
 Voltase : 220 V



Gambar 3.26 Heater

3.2.23 Karbon Aktif Komersial

Tabel 3.1 Data properties karbon aktif komersial

<i>Bulk density</i>	kg/m ³	450 ± 30
<i>Moisture (as packed)</i>	wt-%	< 2,0
<i>Surface area (BET)</i>	m ² /g	1050

		± 50
<i>Ash content</i>	wt-%	< 8,0
<i>Iodine number</i>	mgI ₂ /g	> 1000
<i>Pore volume</i>	Cc/g	0.514
<i>Lower confidence</i>	Å	3.070
<i>Fitting error</i>	%	0.254
<i>Half pore width (mode)</i>	Å	3.070

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



Gambar 3.27 Activated carbon (carbotech)

3.2.24 Tubeler Karbon Aktif

Digunakan tube sebagai tempat penyimpanan karbon aktif dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. Diameter 2.2 cm dan panjang 30 cm dengan 8 tube
2. Bahan Material Satinless Steel 304 dengan mesh



Gambar 3.28 Tubeler Karbon Aktif

3.2.25 Ball Valve

Spesifikasi :

1. Merek Swagelok
2. Tekanan Maksimal 80 bar
3. Bahan Material Stainless steel



Gambar 3.29 Ball Valve

3.2.26 Flowmeter



Gambar 3.30 Flowmeter

Spesifikasi:

1. Merek Brooks tipe delta mass flow meter
2. Range mass flow 5-25 slpm

Menurut DigiFLO Flow Rate sensors, pertama-tama kita untuk mengkonversi SLPM ke g/s ada 3 tahap:

- a) Mengkonversi dari SLPM ke LPM (Liter Per Minute)

SLPM tersebut mempunyai kondisi temperature dan tekanan yang telah ditetapkan yaitu pada tekanan 1 atm dan temperature 21.11 °C. Dan dibawah ini rumus untuk mengkonversi SLPM ke LPM

$$F [\text{SLPM}] = F [\text{LPM}] \times \frac{294.26}{T_{\text{gas}}} \times \frac{P_{\text{gas}}}{14.696}$$

Dengan T_{gas} dalam Kelvin dan P_{gas} dalam psia

- b) Mengkonversi dari LPM ke gram/sekon

$$F[\text{g/s}] = F[\text{LPM}] \times \rho (T,P)$$

Dimana untuk mengetahui nilai ρ menggunakan software REFROP dengan mengubah T dan P pada kondisi saat itu juga.

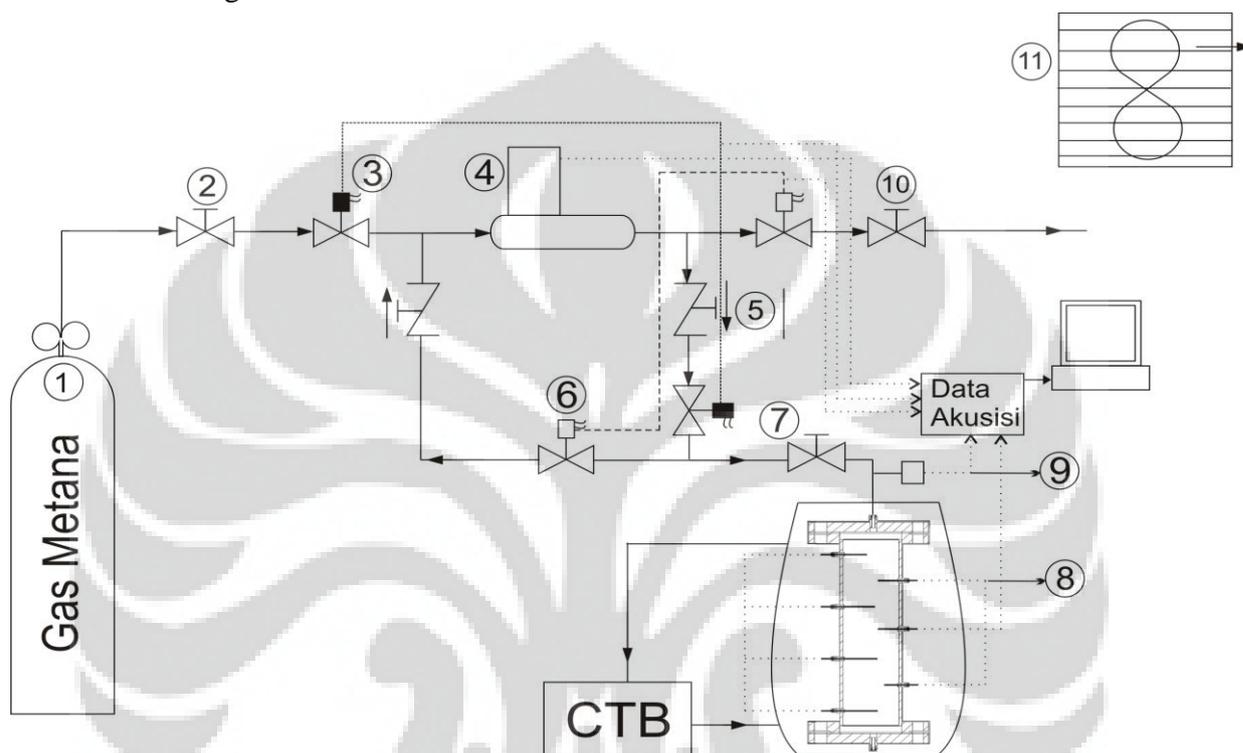
- c) Mengkonversi dari gram/sekon ke gram

Untuk mengetahui massa adsorbat (gram) yang diserap oleh karbon aktif kita melakukan pendekatan numerical integration yang dengan metode trapezoidal dengan mencari luasan dari fungsi dari garis linear yang dibentuk oleh pergerakan nilai SLPM setiap detiknya.

3.3 Skematik Instalasi Alat Uji Adsorpsi-Desorpsi Metana

Dari bagian-bagian alat uji di atas diinstalasi menjadi satu sistem, bagian-bagian alat uji yang telah ada dimodifikasi di beberapa tempat diantaranya modifikasi termokopel dengan *tubing* berselubung serta desain dan pembuatan sistem kontrol temperatur ruang pengujian. Skematik peginstalasian alat uji adsorpsi-desorpsi metana ini berdasarkan dari referensi jurnal akan tetapi ada perbedaannya yaitu dari segi komponen yang digunakan karena hal tersebut disesuaikan terhadap kondisi lingkungan laboratorium dan tujuan utama dari penelitian. Walaupun ada sedikit

perbedaan pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana ini, akan tetapi prosedur penelitian tersebut sama dengan prosedur yang dilakukan berdasarkan dari referensi jurnal. Berikut ini adalah skematik dan gambar alat uji adsorpsi-desorpsi metana yang bertempat di Laboratorium Pendingin dan Tata udara Lantai 3 Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sebagai berikut:



Gambar 3.31 Skematik Sistem Adsorpsi dan Desorpsi

KETERANGAN

1. Penyimpanan gas metana
2. Katup untuk kontrol aliran
3. Solenoid valve untuk pengisian (adsorpsi)
4. Flow Controller
5. Check valve
6. Katup Tabung
7. Sensor temperatur (termokopel)
8. Sensor tekanan (*Pressure Transmitter*)
9. Ball valve, untuk katup buka dan tutup

10. Exhaust fan

Dari skematik diatas dapat dijelaskan secara umum bahwa jalur pipa *inlet* yang melewati *flow controller* maka aliran massa yang lewat akan terbaca baik di layar komputer maupun layar digital *flow controller* dan juga untuk jalur pipa *outlet* dari bejana akan melewati *flow controller* sehingga aliran massa yang lewat dapat diketahui. *Flow controller* yang digunakan hanya satu buah dan juga memiliki satu aliran input dan satu aliran output sehingga tidak terjadi kebalikan arah aliran massa yang melewati *flow controller*. Selain itu digunakan *check valve* yang berfungsi agar aliran gas tidak berbalik arah. Data akusisi yang digunakan adalah Natonal Instrument, yang berfungsi untuk membaca sensor tekanan dari *pressure transmitter*, temperatur dari termokopel yang dimodifikasi bentuknya dan laju aliran massa dari *flow controller* serta sebagai kendali dari proses buka-tutup dari *ball valve*. Kemudian ada Exhaust fan yang berfungsi untuk membantu proses keluaran hingga dipastikan gas metana yang terbawa oleh udara tersebut dibuang keluar dari *outlet*.

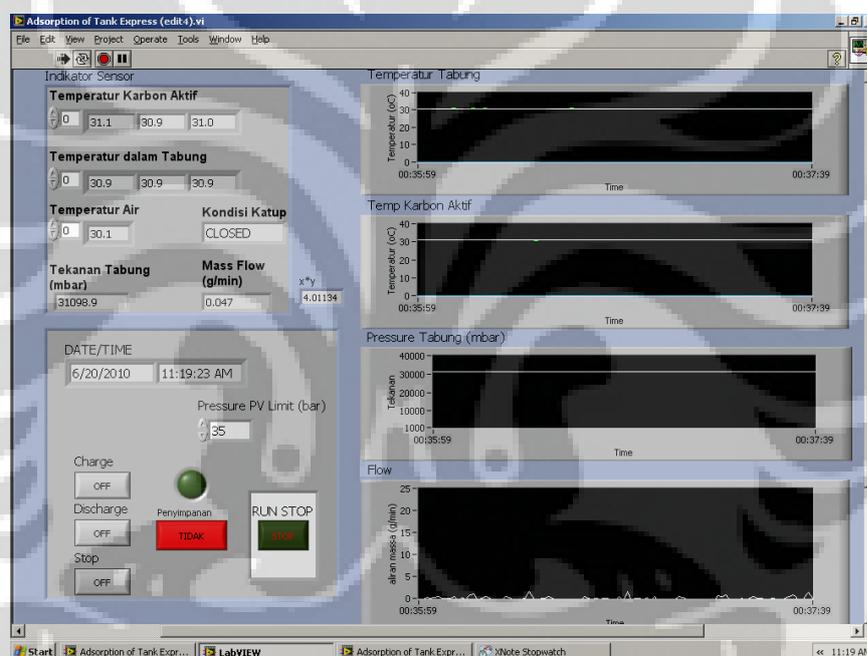
3.3.1 Instrumentasi

Pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan teknik instrumentasi pada alat ukur yang dilakukan untuk mengukur tekanan dan temperatur serta kendali buka-tutup. Instrumentasi dapat diartikan sebagai alat atau piranti(devive) yang dipakai dalam pengukuran dan pengendalian suatu sistem. Secara umum instrumentasi mempunyai 3 fungsi utama:

- a. sebagai alat ukur
- b. sebagai alat analisa data
- c. alat control sistem

Pada perancangan alat uji adsorpsi-desorpsi metana, teknik instrumentasi digunakan sebagai alat ukur, sebagai alat analisa data, dan juga sebagai alat kendali. Oleh karena itu, teknik instrumentasi digunakan karena pengambilan data tekanan, mass flow dan temperatur dilakukan per detik yang dilakukan secara manual, analisis yang dilakukan berdasarkan perubahan tekanan dan temperatur per detik.

Pengukuran menggunakan *pressure transmitter*, *flow controller* dan termokopel memerlukan perangkat lunak (software) untuk membaca, mengendalikan dan menyimpan hasil pengukuran. Perangkat lunak ini mudah untuk dibuat dan dioperasikan (user friendly), hal ini memungkinkan orang dapat menggunakannya. Pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan perangkat lunak *labview 8.5* sebagai pembaca, kendali dan penyimpanan data hasil pengujian. Program pembacaan dan penyimpanan menggunakan perangkat lunak *labview 8.5* mudah dibuat dan dioperasikan. Adapun program pembacaan, kontrol dan penyimpanan data hasil pengujian alat uji adsorpsi-desorpsi metana menggunakan *labview 8.5*, sebagai berikut:



Gambar 3.32 Program Labview 8.5

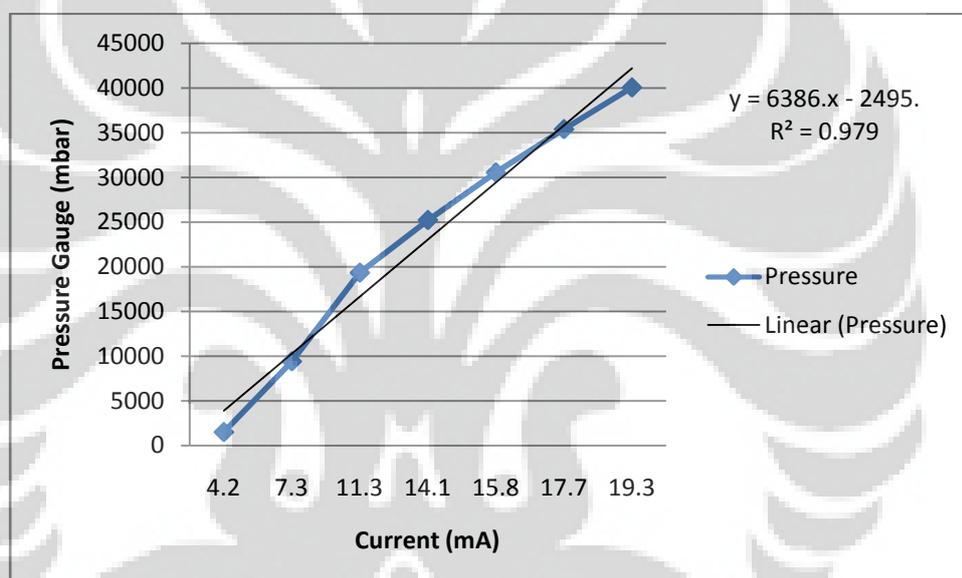
3.3.2 Verifikasi Alat Ukur

Verifikasi alat dilakukan untuk mengetahui kesalahan (*error*) pembacaan alat ukur. Verifikasi alat ukur, yaitu membandingkan alat ukur yang digunakan pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana dengan alat ukur standar. Bertujuan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang valid, alat ukur yang diverifikasi adalah *pressure transmitter*, termokopel dan *flow controller*.

1. Verifikasi Pressure Transmitter

Pada verifikasi alat ukur tekanan dengan menggunakan *pressure transmitter* dilakukan konversi arus menjadi skala tekanan. Verifikasi *pressure transmitter* dilakukan dengan menggunakan alat Druck DPI 104-K0394.

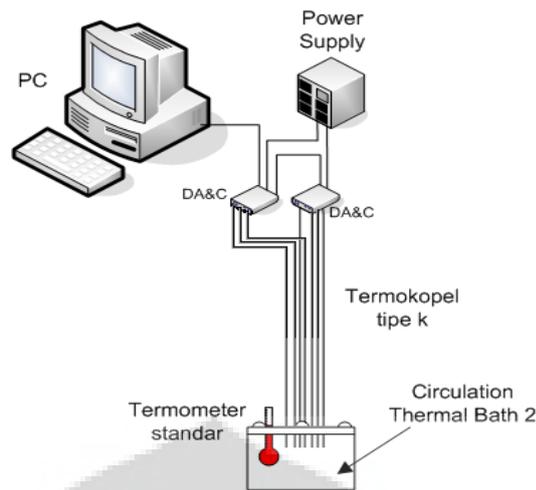
Data kalibrasi yang telah dilakukan dibuat persamaan garis melalui microsoft excel, antara tekanan yang diberikan dengan arus yang ditunjukkan oleh *pressure transmitter*. Grafik yang terbentuk adalah garis linier yang didapatkan dari perbandingan tekanan dan arus *pressure transmitter*. Gambar grafik verifikasi *pressure transmitter*, sebagai berikut :



Gambar 3.33 Grafik Kalibrasi Pressure Transmitter

2. Verifikasi Termokopel

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

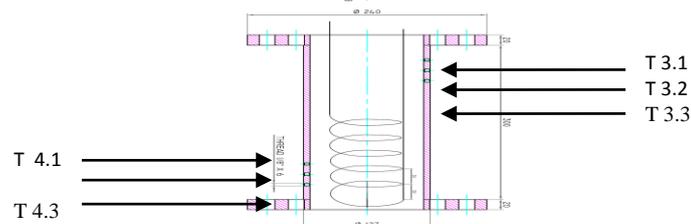


Gambar 3.34 Skematik proses verifikasi termokopel

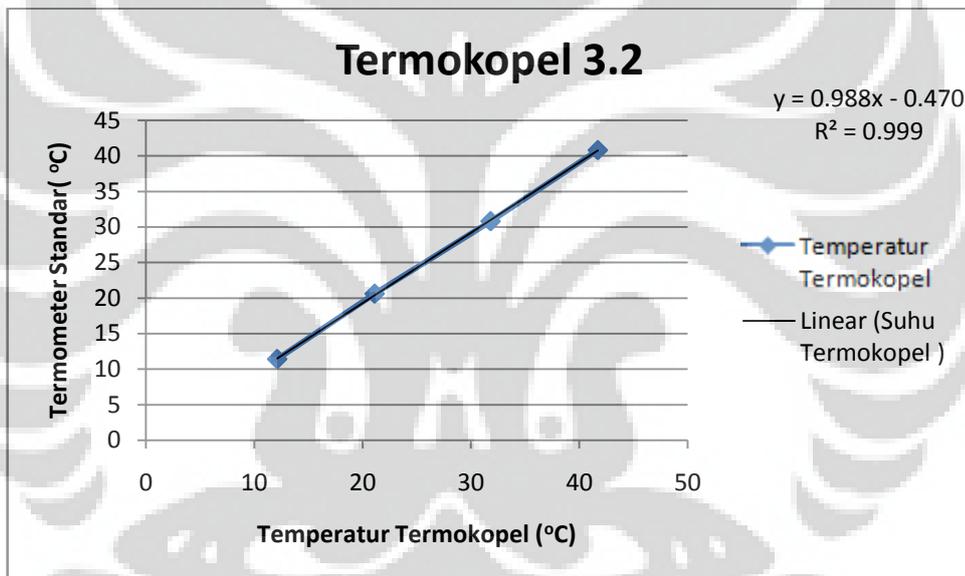
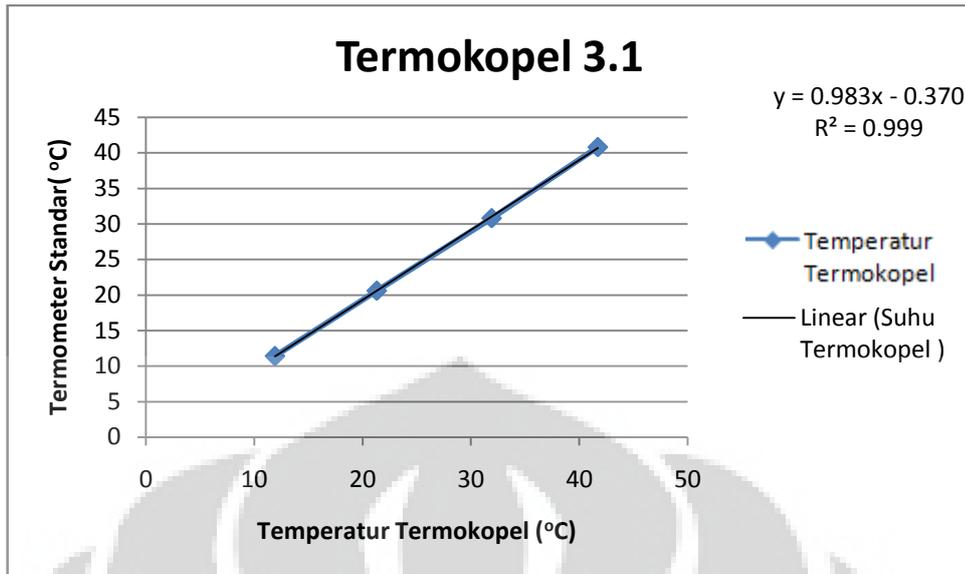
Kalibrasi dilakukan dengan mengambil data pembacaan temperatur termokopel terhadap pembacaan skala temperatur air raksa (termometer standar). Proses verifikasi dilakukan dengan mengatur temperatur *circulating thermal bath* (CTB) pada temperatur tertentu dimana termometer air raksa terbaca dan dalam keadaan stabil, kemudian data temperatur dari pembacaan termokopel 1 sampai dengan 5, yang terbaca komputer dicatat.

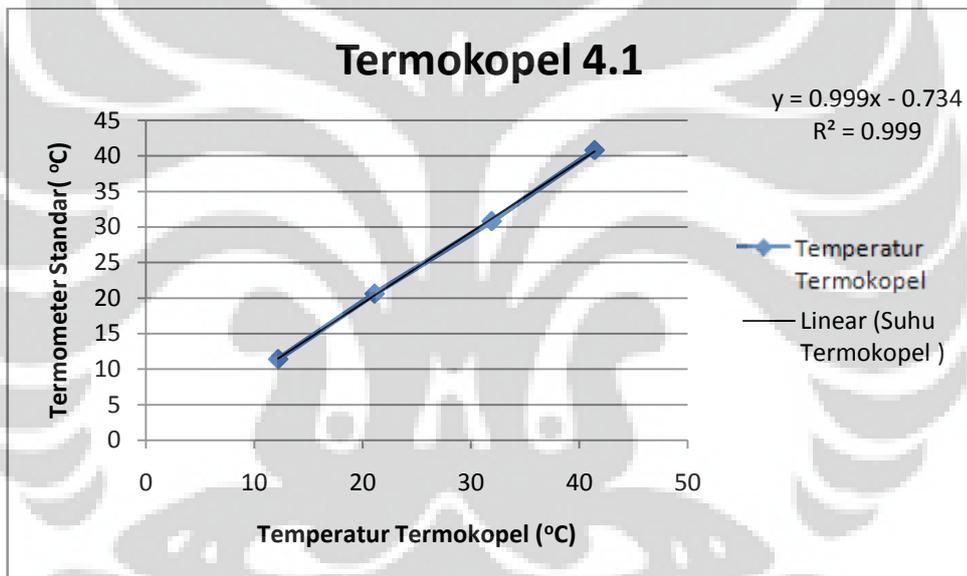
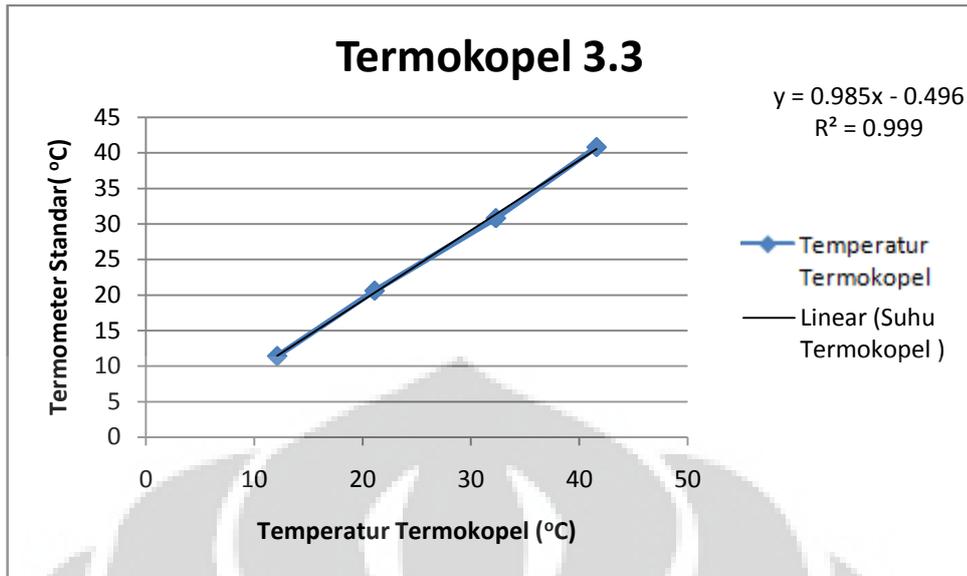
Data perbedaan termometer air raksa dan termokopel digambar dalam grafik. Grafik yang terbentuk adalah garis linier yang didapatkan dari perbandingan pembacaan termokopel dan pembacaan termometer air raksa, maka didapatkan persamaan matematis garis linier. Persamaan matematis tersebut yang digunakan untuk verifikasi pembacaan termokopel.

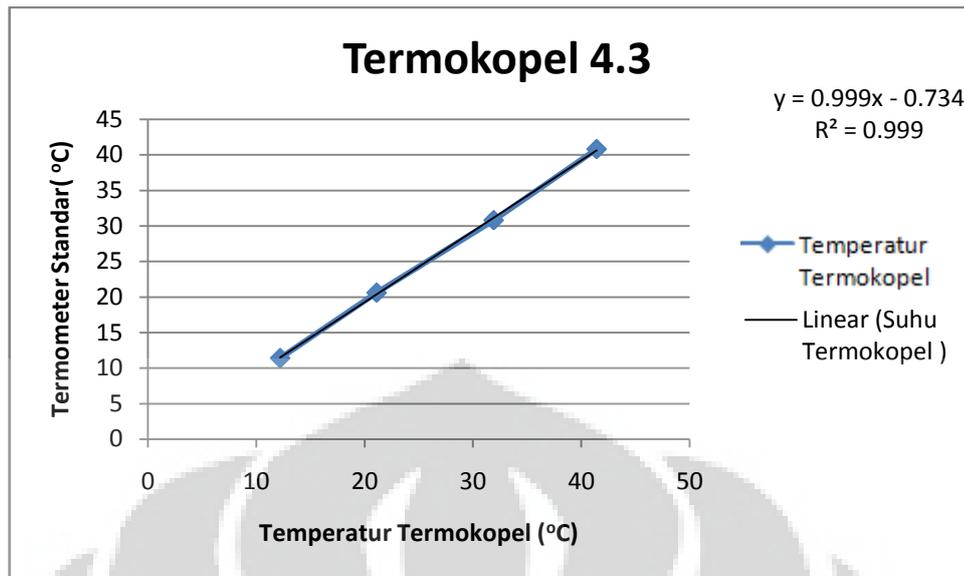
Kelima termokopel diletakkan ke dalam pressure vessel untuk mengukur temperatur di dalam tabung secara random. Digunakan dua buah modul untuk membaca lima termokopel, berikut adalah grafik verifikasi termokopel berdasarkan penempatan termokopel di dalam tabung dan diberi nama berdasarkan peletakan termokopel di data akuisisi.



Gambar 3.34 Skematik Pressure Vessel







Gambar 3.35 Grafik kalibrasi termokopel

Keterangan :

Nama termokopel, misal Temp 3.0 berarti termokopel dipasang di data akusisi pada modul 3, urutan ke-0

Jarak termokopel di dalam pressure vessel dengan diameter dalam 128.19 mm

Temp 3.0 = 105 mm

Temp 3.1 = 66,7 mm

Temp 3.2 = 61,5 mm

Temp 3.3 = 44,5 mm

Temp 4.1 = 30 mm

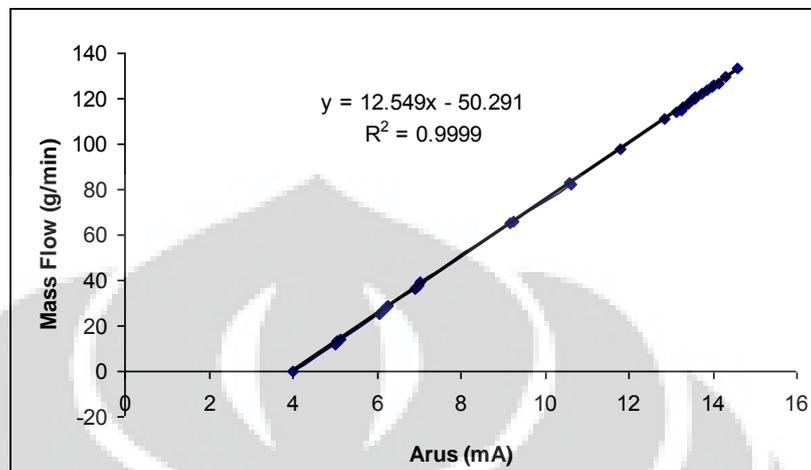
Temp 4.3 = 90 mm

3.3.2.1 Verifikasi flow Controller

Pada verifikasi alat ukur aliran massa, Siemens Sitran F C Massflo Mass 6000 dapat membaca aliran massa gas yang melewatinya, agar terbaca di komputer maka dilakukan konversi arus menjadi skala aliran massa.

Data kalibrasi yang telah dilakukan dibuat persamaan garis melalui microsoft excel, antara aliran massa yang ditunjukkan dengan arus yang

terbaca oleh *flow controller*. Grafik yang terbentuk adalah garis linier yang didapatkan dari perbandingan *flow controller* dan arus yang terbaca. gambar grafik verifikasi *flow controller*, sebagai berikut :



Gambar 3.36 Grafik kalibrasi *flow controller*

3.4 Preparasi Sampel

3.4.1 Dry Sorbent

Adsorben adalah zat atau material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas didalamnya dan adsorbat adalah substansi dalam bentuk cair atau gas yang terkonsentrasi pada permukaan adsorben (Suryawan, Bambang, 2004). Dibutuhkan proses pembuatan dry sorbent berarti mengeringkan adsorben, yaitu karbon aktif yang akan digunakan untuk menghilangkan substansi tersebut dalam hal ini yaitu uap air serta mengetahui berat adsorben yang akan digunakan dalam penelitian.

Berikut metode yang digunakan untuk dalam proses dry sorbent:

- Timbang karbon aktif yang akan dipanaskan dengan timbangan dengan tingkat kepresisian tinggi untuk mendapatkan berat awal sampel. Timbangan yang digunakan adalah timbangan dengan merk AND tipe FX 4000 dengan ketelitian 0.01 dan maksimum beban 4100. Gambar timbangan, sebagai berikut:



Gambar 3.37 Timbangan AND FX 4000

- Gunakan heater dan temperatur controller untuk memanaskannya agar temperatur dapat terjaga konstan, yaitu sekitar 200°C, selama dua jam. Lamanya pemanasan tergantung dari tempat yang digunakan dan massa dari karbon aktif.
- Selama pemanasan dilakukan pengadukan secara perlahan agar panas merata ke seluruh karbon aktif dan mempercepat pemanasan.
- Diharapkan temperatur di permukaan karbon aktif berkisar antara 95 – 100 °C, karena air yang terkandung sudah menguap.
- Segera timbang kembali massa karbon aktif yang telah dipanaskan
- Terjadi pengurangan dari massa awal, dan massa akhirlah yang digunakan untuk penelitian.

Karbon aktif yang telah dipanaskan dimasukkan ke dalam pressure vessel. Setiap pemanasan yang dilakukan massa awal karbon aktif yaitu 500 gr proses diatas dilakukan sebanyak 4 kali sehingga massa akhir dari karbon aktif didapatkan 460,01 g; 453,62 g; 469,52 g; 450,04 g, sehingga massa total karbon aktif didalam pressure vessel yaitu 1.833,19 g.



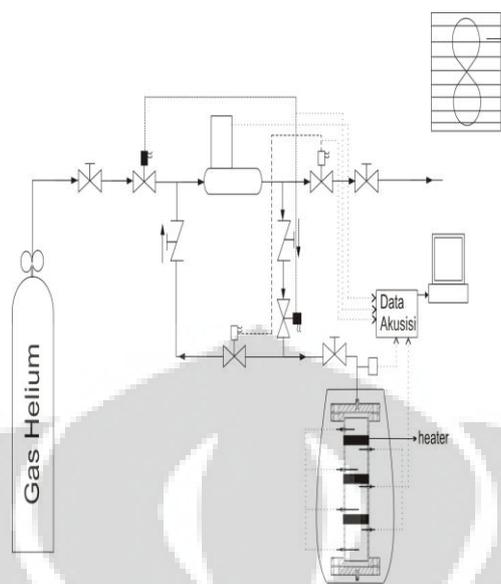
Gambar 3.38 Proses dry sorbent dan control panel untuk menjaga temperatur

3.4.2 Proses Degassing

Proses degassing adalah suatu proses pengeluaran zat kotor atau zat yang tidak diinginkan sehingga tidak ada zat yang tersimpan didalam karbon aktif (Saha, Bidyut Baran et al, 2006).

Tahapan proses degassing:

1. Panaskan tabung dengan menggunakan heater dengan temperatur sekitar 150°C selama 1 jam (Dawoud dan Aristov, 2003)
2. Vakumkan tabung dengan menggunakan pompa vakum selama 1,5-2 jam.
3. Setelah itu isi tabung menggunakan gas Helium sebanyak 3-4 bar selama 1-1,5 jam. Gas Helium tersebut berfungsi sebagai pengangkut zat kotor yang tidak diinginkan yang berada didalam dan disekitar rongga-rongga karbon aktif.
4. Lalu vacuum kembali tabung dengan menggunakan pompa vacuum selama $\frac{1}{2}$ jam. Dalam proses pengvakuman ini semua zat pengotor yang tidak diinginkan termasuk gas Helium akan terbuang ke lingkungan sehingga kondisi didalam tabung dan karbon aktif tidak ada lagi sisa-sisa zat pengotor yang tidak diinginkan.
5. Lakukan semua proses tersebut sebanyak 4 kali agar pemurnian karbon aktif dan didalam tabung tidak ada lagi sisa zat pengotor yang tidak diinginkan.



Gambar 3.39 Proses Degassing

3.4.3 Proses Adsorpsi

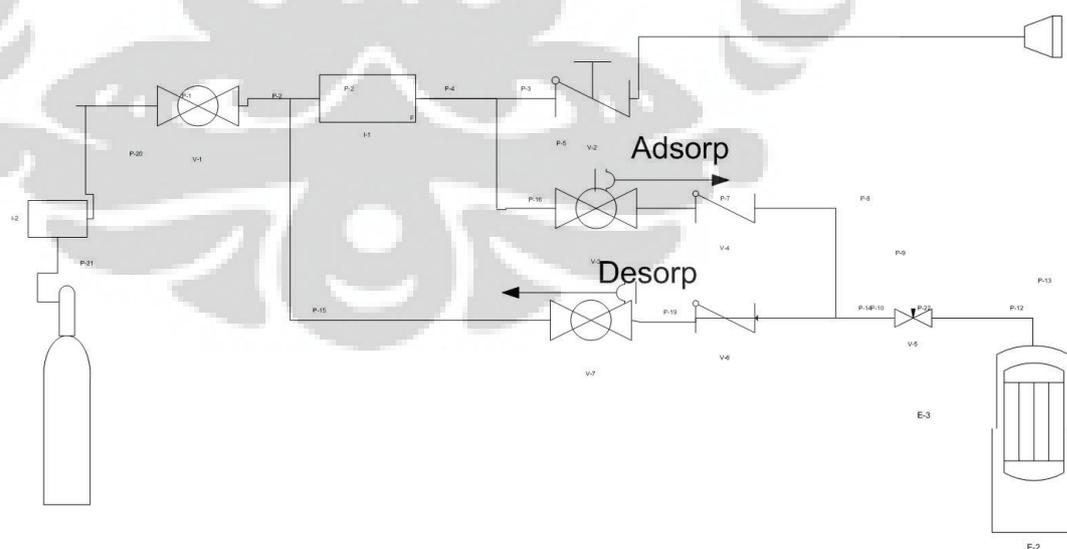
Berikut ini adalah prosedur pengujian karakteristik adsorpsi isothermal:

1. Pengujian dimulai dengan melakukan proses degassing.
2. Circulating thermal bath (CTB) dioperasikan kemudian menjaga temperatur pada *measuring cell* (bejana bertekanan) konstan 5°C atau 15°C atau 25°C
3. Setelah temperatur pada *measuring cell* (bejana bertekanan) mencapai 5°C atau 15°C atau 25°C dan konstan pada temperatur tersebut, *ball valve charge* dibuka dengan menggunakan kendali data akuisisi dari komputer sehingga adsorbat (CH_4) masuk menuju *measuring cell* (bejana bertekanan) pada tekanan adsorpsi menggunakan metode bertahap dari 0.5 - 3.5 MPa dengan interval 5 bar.
4. Atur nilai dari flowmeter menjadi 5 slpm
5. Pengambilan data penyerapan dimulai ketika tekanan dan temperatur pada *measuring cell* (bejana bertekanan) dalam keadaan tidak stabil karena terjadi kenaikan tekanan disertai dengan kenaikan temperatur. Dan apabila flowmeter 0 slpm, tekanan stabil dan temperatur isothermal berarti proses adsorpsi sudah berakhir.

3.4.4 Proses Desorpsi

Berikut ini adalah prosedur pengujian karakteristik desorpsi isothermal:

1. Circulating thermal bath (CTB) dioperasikan kemudian menjaga temperatur pada *measuring cell* (bejana bertekanan) konstan 30 °C atau 40 °C atau 50 °C
2. Setelah temperatur pada *measuring cell* (bejana bertekanan) mencapai 5°C atau 15 °C atau 25 °C dan konstan pada temperatur tersebut, *ball valve discharge* dibuka dengan menggunakan kendali data akusisi dari komputer
3. Membuka katup *ball valve* discharging melalui data akusisi yang telah diprogram kerjanya dan akan mengalir gas metana melewati *flow controller* dengan set point 5 slpm
4. Gas Metana (CH₄) yang tidak terserap oleh karbon aktif akan terbangun melalui jalur *outlet* pipa keluar ke lingkungan dan exhaust fan yang telah dinyalakan akan membantu proses keluaran gas Metana (CH₄) baik didalam ruangan penelitian atau jalur *outlet* pipa.
5. Tunggu hingga *measuring cell* (bejana bertekanan) flowmeter 0 slpm, tekanan stabil dan temperatur isothermal berarti proses desorpsi sudah berakhir.



Gambar 3.41 Skema Proses Adsorpsi dan Desorpsi

BAB 4

ANALISA DATA PENELITIAN

Pada pengerjaan penelitian dilakukan proses adsorpsi dengan menjaga temperatur air di dalam drum dengan memvariasikan temperatur air yaitu 5 °C, 15 °C, dan 25 °C dengan menjaga laju mass flow 5 SLPM. Tekanan yang kita masukan ke dalam vessel (bejana bertekanan) melalui 7 kali memasukkan gas dari 5 bar hingga tekanan vessel menjadi 35 bar dengan interval antar memasukkan gas 5 bar. Setiap memasukkan gas metana ke dalam vessel dihitung waktu pengisian, temperatur vessel (termokopel) dan laju massa gas metana (flowmeter). Proses adsorpsi pada setiap kali memasukkan gas metana akan selesai bila laju massa gas mencapai 0, tekanan vessel stabil dan suhu di vessel mencapai titik isothermal yang sama dengan suhu drum. Sedangkan, proses desorpsi dilakukan dengan menjaga temperatur air di dalam drum dengan memvariasikan temperatur air yaitu 30 °C, 40 °C, dan 50 °C. Tujuan dari penelitian ini mengetahui karakteristik karbon aktif, pengaruh temperatur drum dan kapasitas gas metana yang diserap karbon aktif dan dikirim. Proses adsorpsi dan desorpsi pada setiap kali memasukkan dan mengirimkan gas metana akan selesai bila laju massa gas mencapai 0, tekanan vessel stabil dan suhu di vessel mencapai titik isothermal yang sama dengan temperatur air di dalam drum.

Berikut ini adalah data-data yang diperoleh sebelum proses pengambilan data :

Total massa karbon aktif pada 8 tubuler : 421.6 gram

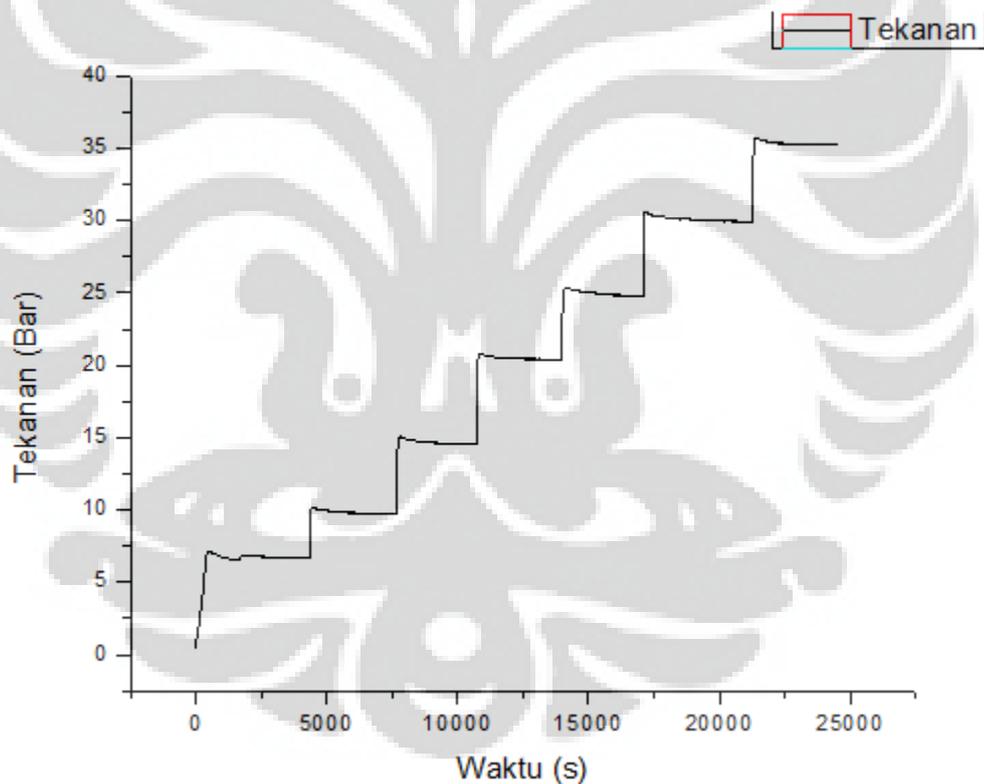
Volume Void: 2.268 liter

Tabel 4.1 Data perhitungan massa void measuring vessel

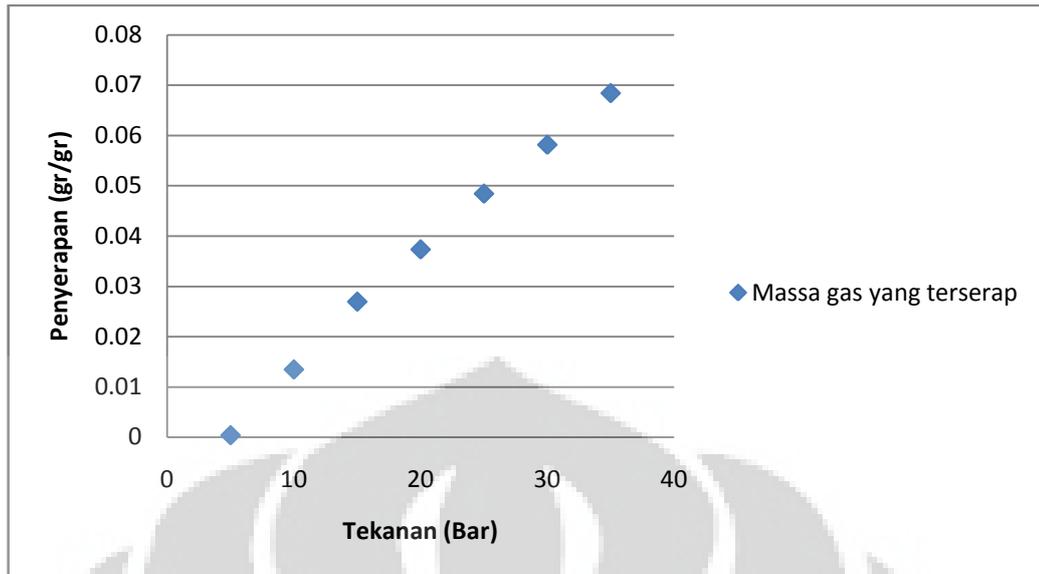
Data	$M_{mv}(g)$	densitas _{mv} (g/l)	$V_{void}(l)$
1	687.258	0.29614	2.321
2	698.9931	0.30748	2.273
3	640.6569	0.28976	2.211
Rata - Rata			2.268

Berikut di bawah ini grafik proses adsorpsi dan desorpsi dengan variasi temperatur air di dalam drum.

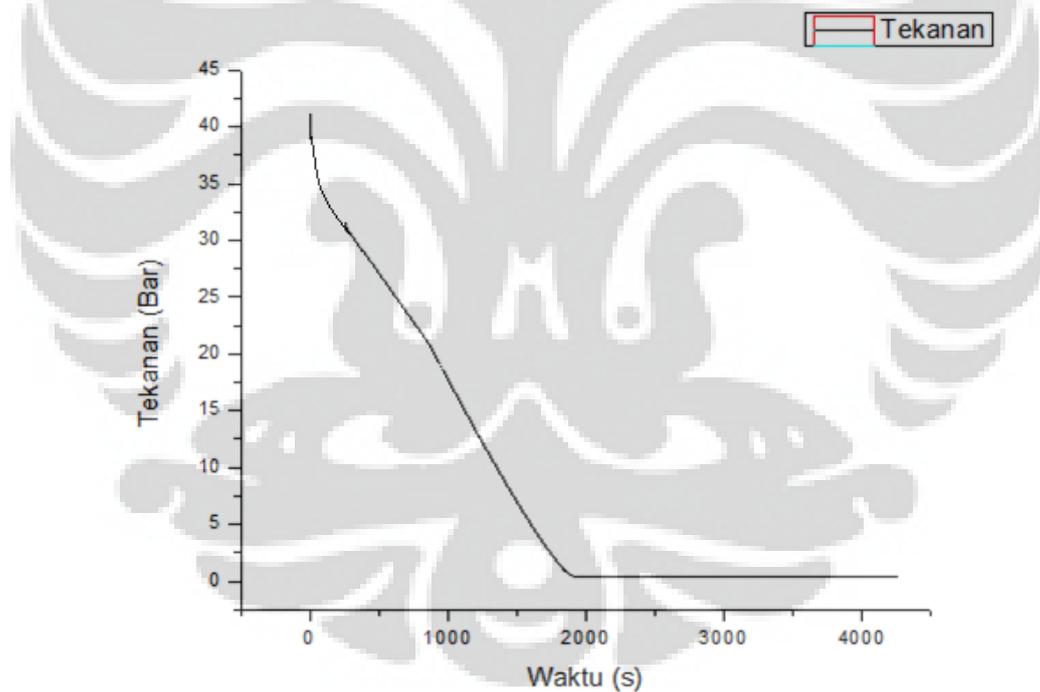
4.1 Unjuk Kerja Adsorpsi dan Desorpsi pada Temperatur air 5 °C dan 30 °C (Percobaan 1)



Gambar 4.1 Proses adsorpsi pada temperature air 5 °C



Gambar 4.3 Grafik penyerapan pada temperatur air 5 °C



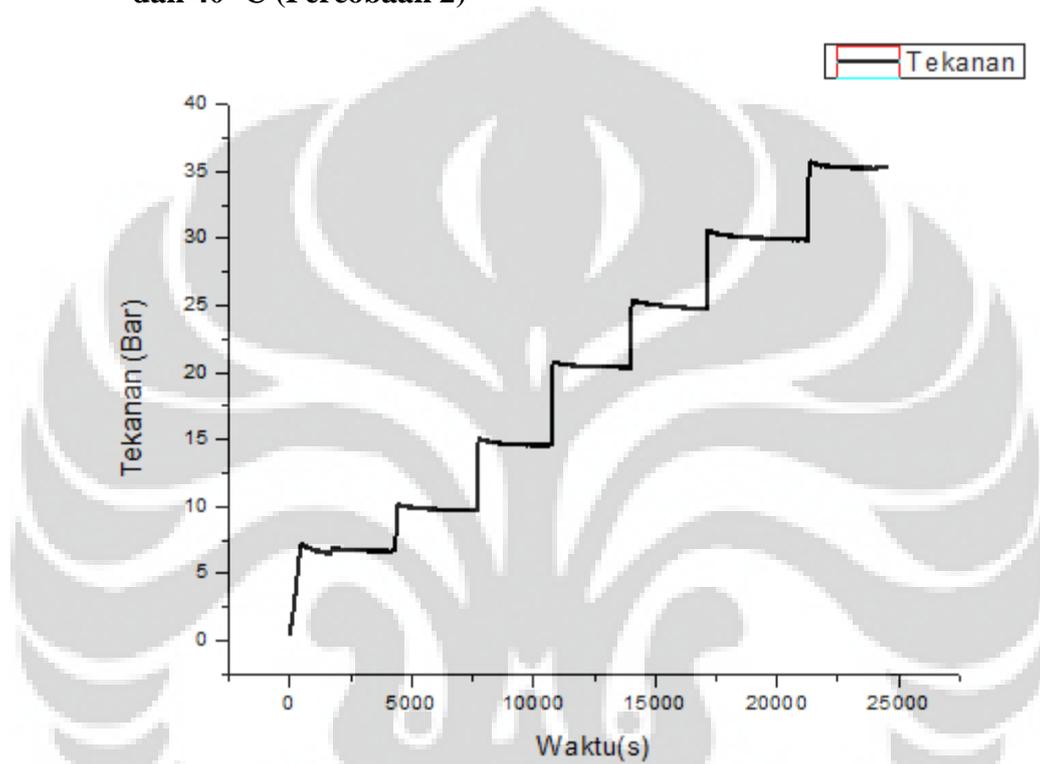
Gambar 4.2 Proses desorpsi pada temperature air 30 °C

Tabel 4.2 Adsorpsi pada temperatur 5 °C

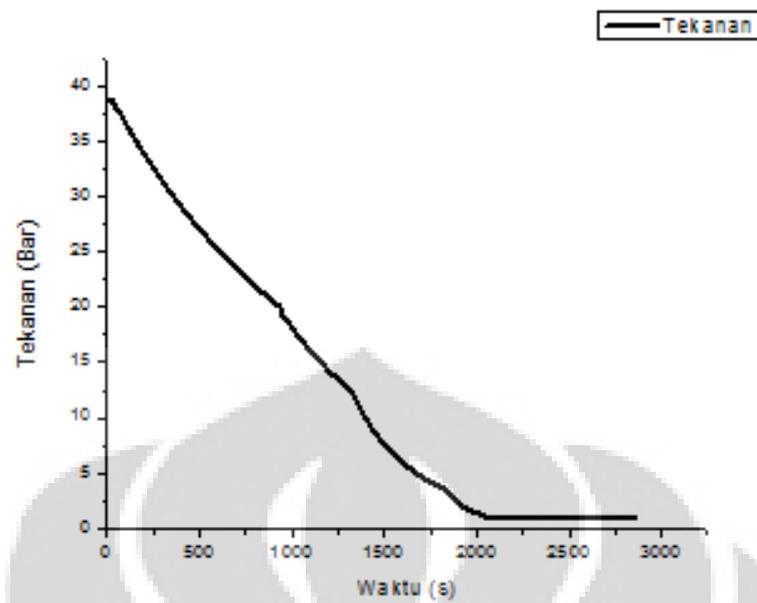
No	P (MPa)	$m_{ads}(g)$	Penyerapan (g/g)
1	0.572	0.153	0.000364
2	1.049	5.667	0.0134

3	1.502	11.354	0.0269
4	1.968	15.737	0.0373
5	2.423	20.412	0.0484
6	2.894	24.517	0.0581
7	3.296	28.843	0.0684

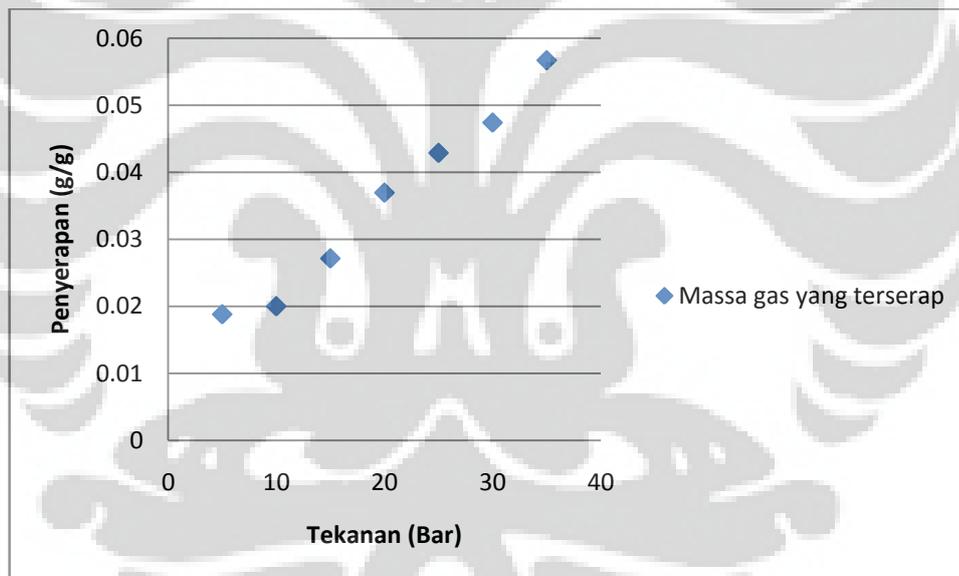
4.2 Unjuk Kerja Adsorpsi dan Desorpsi pada Temperatur air 15 °C dan 40 °C (Percobaan 2)



Gambar 4.4 Proses adsorpsi pada temperature 15 °C



Gambar 4.5 Proses Desorpsi pada temperature 40 °C



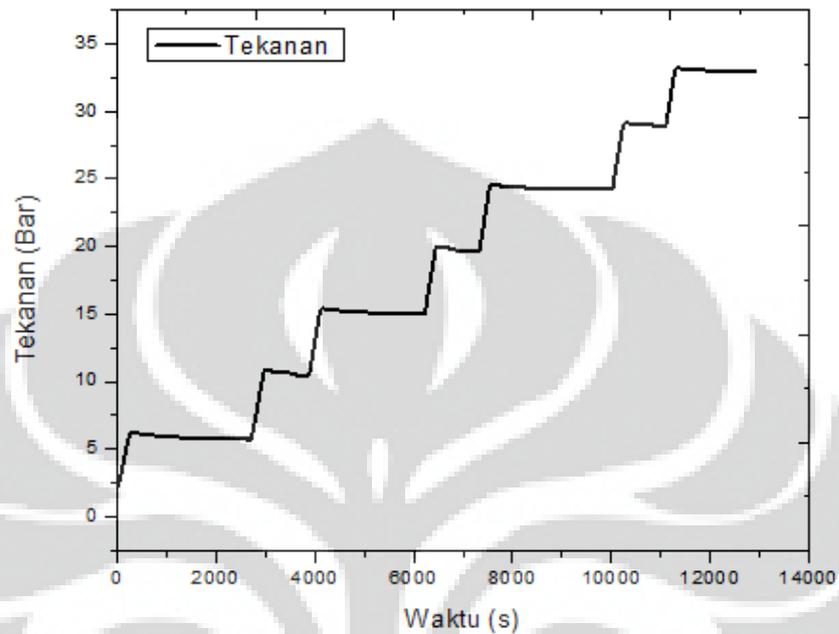
Gambar 4.6 Penyerapan pada temperatur air 15 °C

Tabel 4.3 Adsorpsi pada temperatur air 15 °C

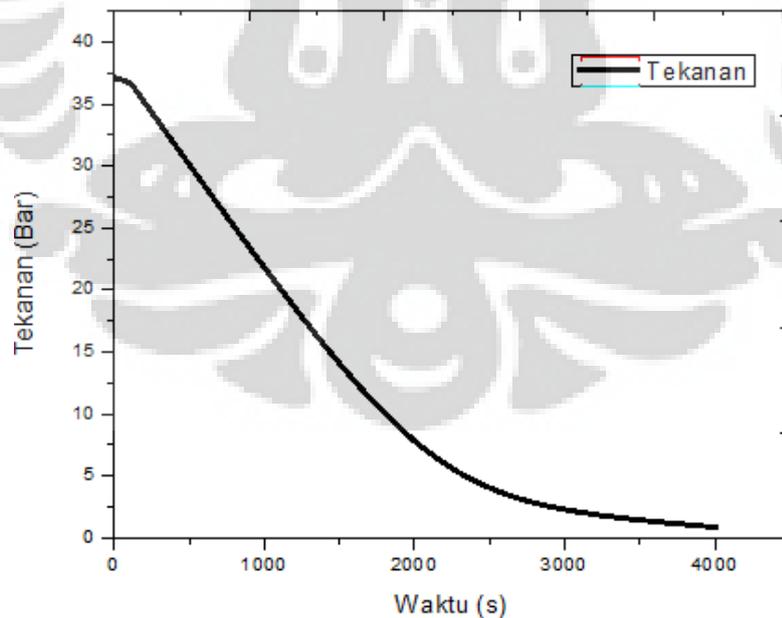
No	P (MPa)	$m_{\text{ads}}(\text{g})$	$m_{\text{ads}}(\text{g/g})$
1	0.5292	7.922	0.0187
2	0.1065	8.425	0.0199
3	1.4951	11.435	0.0271
4	1.9815	15.565	0.0369
5	2.4472	18.066	0.0428
6	2.9369	19.971	0.0474

7	3.4227	23.889	0.0566
---	--------	--------	--------

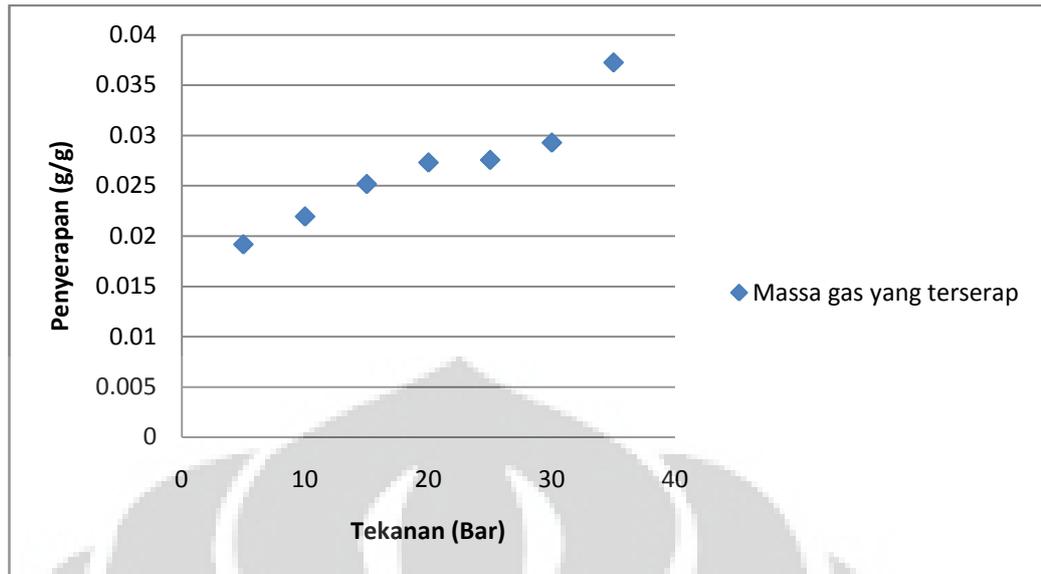
4.3 Unjuk Kerja Adsorpsi dan Desorpsi pada Temperatur air 25 °C dan 50 °C (Percobaan 3)



Gambar 4.7 Proses adsorpsi pada temperatur air 25 °C



Gambar 4.8 Proses Desorpsi pada temperature air 50 °C

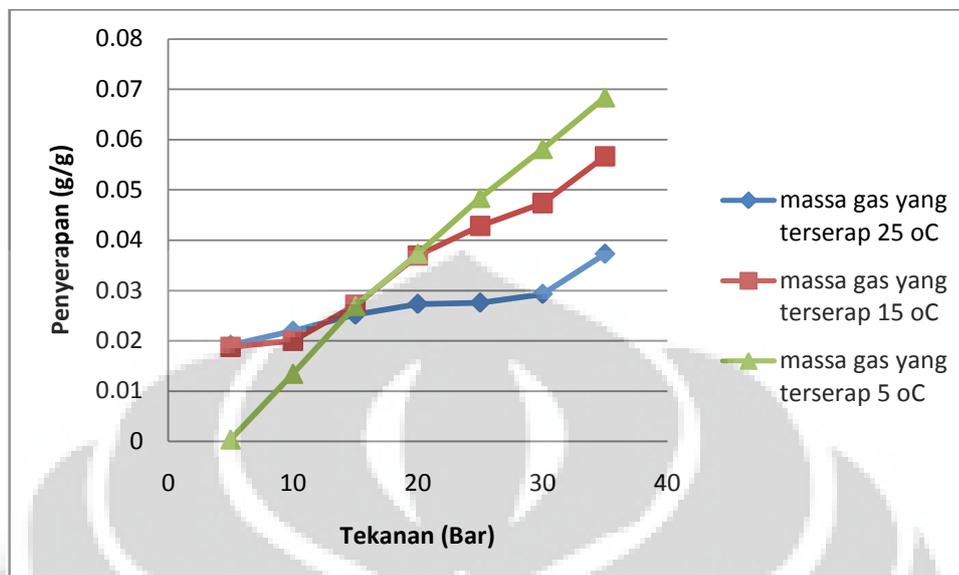


Gambar 4.9 Penyerapan pada Temperatur air 25 °C

Tabel 4.4 Adsorpsi pada Temperatur air 25 °C

No	P (MPa)	m_{ads} (g)	Penyerapan(g/g)
1	0.5292	8.08	0.0192
2	0.1065	9.249	0.0219
3	1.4951	10.611	0.0252
4	1.9815	11.514	0.0273
5	2.4472	11.622	0.0276
6	2.9369	12.348	0.0293
7	3.4227	15.711	0.0373

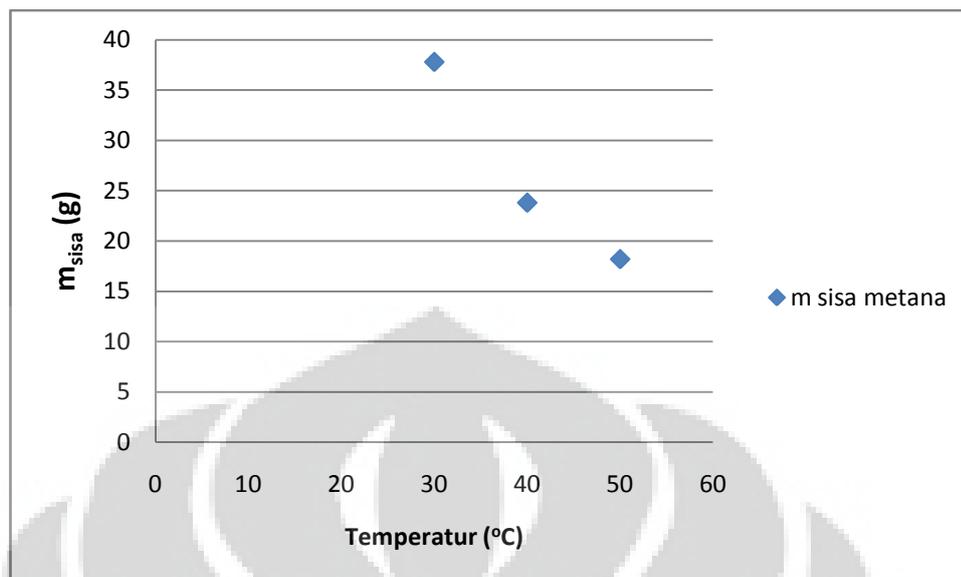
4.4 Perbedaan temperatur adsorpsi dengan massa yang diserap (Qds) pada setiap kenaikan tekanan



Gambar 4.10 Grafik perbedaan temperatur air pada proses penyerapan adsorpsi

Gambar 4.10 ini menunjukkan antara massa metana yang terserap dengan perbedaan suhu air dalam drum. Penyerapan gas metana yang paling banyak sebesar 0.0684 gram/gram pada temperatur air 5 °C. Jika dibandingkan pendekatan teoritis dan pendekatan eksperimen menunjukkan hal yang sama bahwa massa metana yang diserap pada proses adsorpsi paling baik dengan temperatur yang rendah disebabkan panas dari energy aktivasi pada proses adsorpsi terjadi perpindahan kalor ke air.

4.5 Massa Gas Metana yang Tersisa Di dalam Vessel



Gambar 4.11 Grafik massa gas metana yang tertinggal di vessel pada setiap percobaan

Grafik 4.11 diatas bisa menunjukkan bahwa proses pengiriman gas metana yang keluar dari vessel pada temperatur air 50 °C paling baik disebabkan gas metana yang akan keluar perlu diberikan panas yang menyebabkan gas metana tersebut beraksi dikarenakan ikatan gaya Van der Walls antar molekul metana dan karbon aktif makin lemah apabila dinaikkan temperatur lingkungannya.

Tabel 4.5 Massa sisa metana di dalam vessel

m_{input} (g)	m_{ads} (g)	$m_{tidak\ terserap}$ (g)	m_{dd} (g)	m_{sisa} (g)
79.878	28.843	51.035	40.687	39.191
79.531	23.889	55.642	54.64	24.891
76.237	15.711	60.526	56.815	19.422

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

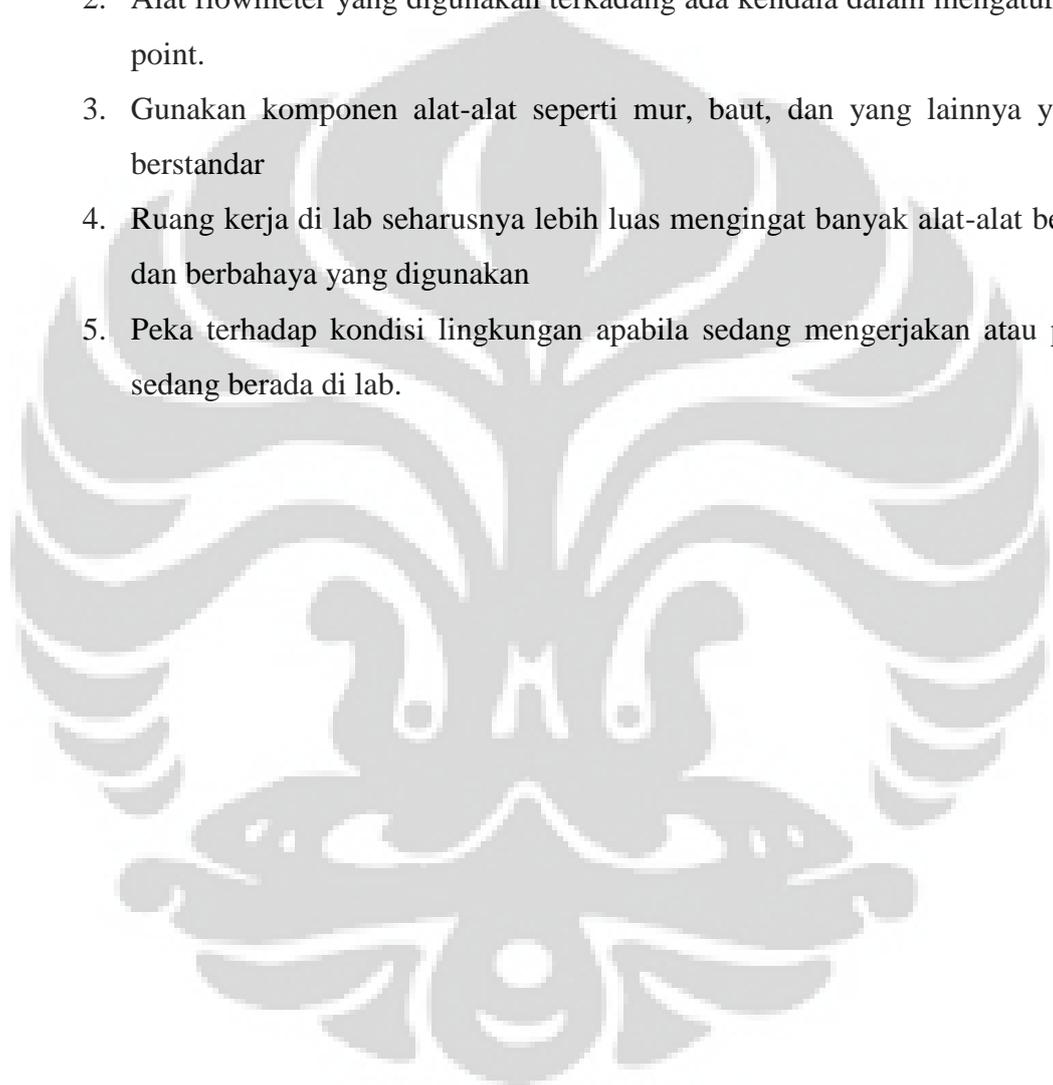
Setelah melakukan proses analisa data, pengolahan data serta analisa hasil pengolahan data, maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Bahwa makin banyak massa gas metana yang terserap makin rendah temperatur lingkungan mengingat untuk membuang panas dari energy aktivasi dari reaksi gas metana dengan karbon aktif agar kondisi stabil.
2. Bahwa makin banyak massa gas metana yang terkirim keluar vessel makin tinggi temperatur lingkungan karena untuk mengoptimalkan agar gas metana tersebut ke luar dari vessel kita harus memberikan energy panas ke dalam vessel agar energy aktivasinya meningkat dan cenderung untuk gas metana melepaskan ikatan dengan karbon aktif.
3. Penyerapan maksimum pada temperatur air 5 °C yaitu 0,0684 g/g dan penyerapan minimum pada temperatur air 25 °C yaitu 0.0372 g/g .Persentase perbandingan antara penyerapan minimum dan maksimum 45,61 %
4. Massa sisa metana maksimum yang terdapat di vessel pada temperatur 30 °C 37.805 gram dan massa sisa metana minimum yang terdapat di vessel pada temperatur 50 °C 18.187 gram. Perbandingan persentase maksimum dan minimum 51.892 %.
5. Penyerapan pada temperatur 5 °C yaitu 0,565 V/V, penyerapan pada temperatur 15 °C yaitu 0,429 V/V dan penyerapan pada temperatur 25 °C yaitu 0,26 V/V

5.2 Saran

Atas dasar analisa yang telah dilakukan, maka dengan ini penulis memberikan saran dan solusi untuk perbaikan penelitian ke depannya agar:

1. Untuk pengambilan data yang lebih valid dan akurat, pengujian sebaiknya dilakukan pada temperatur CTB yang konstan. Karena temperatur CTB sangat mempengaruhi hasil data pengukuran
2. Alat flowmeter yang digunakan terkadang ada kendala dalam mengatur set point.
3. Gunakan komponen alat-alat seperti mur, baut, dan yang lainnya yang berstandar
4. Ruang kerja di lab seharusnya lebih luas mengingat banyak alat-alat besar dan berbahaya yang digunakan
5. Peka terhadap kondisi lingkungan apabila sedang mengerjakan atau pun sedang berada di lab.



REFERENSI

- [1] Shahriar Shafiee and Erkan Topal, "When will Fossil Fuel reserves be Diminished," *Energy Policy*, pp. 181-189, September 2008.
- [2] (2007, Oktober) Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. [Online]. <http://geo.ugm.av.id/archives/28>
- [3] Michael Hoel and Snorre Kverndokk, "Depletion of Fossil Fuels and The Impact of Global Warnings," *Resources and Energy Economics*, pp. 115-136, April 1996.
- [4] Prajit K. Dutta and Roy Radner, "A Strategic Analysis of Global Warming: Theory and Some Numbers," *Journal of Economics Behavior and Organization*, pp. 187-209, January 2009.
- [5] Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi, *Energy Efficiency and Conservation Clearing House Indonesia (EECCHI)*, 1st ed. Jakarta, Indonesia: Danish Energy Management, 2011.
- [6] A. Widiyanto, S. Kato, N. Maruyama, A. Nishimura, and S. Sampattagu, "Environmental Impact Evaluation of Electricity Grid Mix Systems in Four Selected Countries Using LCA Point of View," in *Proceeding of Ecodesign*, Tokyo, 2003.
- [7] Kementrian Koordinator Bidang Perekonomian, *Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia*, Cetakan Pertama ed., Kementrian Koordinator Bidang Perekonomian Deputi Bidang Infrastruktur dan Pengembangan Wilayah, Ed. Jakarta, Indonesia: Kementrian Koordinator Bidang Perekonomian, 2011.
- [8] Indonesian Stastical Bureu (BPS), *Value of Construction Completes by Type of Construction 2001-2005*. Indonesia, 2007.
- [9] S.H. Gheewala A. Utama, "Life Cycle of Energy of Single Landed Houses in Indonesia," *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 1911-1916, April 2008.
- [11] Huimin Jiang, Yiqiang Jiang, Yang Wang, Zuiliang Ma, and Yang Yao, "An Experimental Study on A Modified Air Conditioner with A Domestic Hot Water Supply (ACDHWS)," *Energy*, vol. 31, pp. 1783-1803, May 2005.

- [12] Katsuhiko Ogata, *Teknik Kontrol Automatik*, Edisi Kedua ed., Ir. Purnomo Wahyu Indarto, Ed. Jakarta, Indonesia: Erlangga, 1996.
- [13] B.W. Zingano, "A Discussion on Thermal Comfort with Reference to Bath Water Temperature to Deduce A Midpoint of The Thermal Comfort Temperature Zone," *Renewable Energy*, vol. 23, pp. 41-47, April 2000.



LAMPIRAN

