



UNIVERSITAS INDONESIA

**ADSORPSI ISOTERMAL GAS METANA PADA
KARBON AKTIF UNTUK ADSORBED
NATURAL GAS DENGAN TEKANAN 30 BAR**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

OCTAVIANDY SABRAN SYAHPUTRA

0606073404

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

DEPOK

JUNI 2010

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Kami menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

ADSORPSI ISOTERMAL GAS METANA PADA KARBON AKTIF UNTUK ADSORBED NATURAL GAS DENGAN TEKANAN 30 BAR

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang kami ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya. Tugas Akhir ini dikerjakan sebagian bersama rekan saya yang bernama Martha Indah Rusdian Lestari (NPM : 0606029334) dengan penelitian tugas akhirnya yang berjudul **"Perancangan dan Pembuatan Alat Uji Adsorbed Natural Gas dengan Tekanan hingga 4 MPa"** sehingga terdapat kata-kata atau kalimat yang sama.

Depok, 21 Juni 2010

OCTAVIANDY SABRAN SYAHPUTRA

NPM : 0606073404

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Octaviandy Sabran Syahputra
NPM : 0606073404
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Adsorpsi Isotermal Gas Metana pada Karbon Aktif untuk
Adsorbed Natural Gas dengan Tekanan 30 bar

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.-Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng. ()
Penguji : Dr. Ir. Muhamad Idrus Alhamid ()
Penguji : Endang Wijaya, ST. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 21 Juni 2010

KATA PENGANTAR

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

1. Dr.-Ing. Ir. Nasruddin M.Eng. dan Dr. Ir. Muhamad Idrus Alhamid selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Orang tua dan keluarga penulis yang telah banyak memberikan bantuan dukungan doa, materi dan moral;
3. Pak Seno, Pak Endang Wijaya dan Pak Awal yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang penulis perlukan dari tahap desain hingga dibuat alat ini;
4. Partner kerja saya Martha Indah R.L yang telah membantu dan menemani saya hingga pengambilan data;
5. Sahabat, rekan-rekan laboratorium teknik pendingin dan laboratorium mekanika fluida, dan teman-teman satu angkatan Teknik Mesin 2006 yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis;
6. Para karyawan Departemen Teknik Mesin yang telah banyak membantu mempersiapkan jalannya penelitian ini.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di masa yang akan datang.

Depok, Juni 2010

Penulis

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

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

Nama : Octaviandy Sabran Syahputra

NPM : 0606073404

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

**ADSORPSI ISOTERMAL GAS METANA PADA
KARBON AKTIF UNTUK ADSORBED NATURAL
GAS DENGAN TEKANAN 30 BAR**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 21 Juni 2010

Yang menyatakan

(Octaviandy Sabran Syahputra)

ABSTRAK

Nama : Octaviandy Sabran Syahputra
Program studi : Teknik Mesin
Judul : Adsorpsi Isotermal Gas Metana pada Karbon Aktif untuk Adsorbed Natural Gas dengan Tekanan 30 bar

Bahan bakar minyak (BBM) merupakan salah satu sumber daya yang tidak dapat diperbaharui. Penggunaan bahan bakar minyak (BBM) tidak diimbangi dengan sumber daya yang ada. Penggunaan terbesar bahan bakar minyak (BBM) adalah kendaraan bermotor. Produksi kendaraan bermotor semakin meningkat sepanjang tahun sehingga mengakibatkan kebutuhan akan bahan bakar minyak (BBM) semakin besar dan makin lama sumber daya minyak yang ada akan habis sedangkan sumber bahan bakar gas (BBG) masih sedikit dimanfaatkan. Selain itu efek BBM di pembakaran kendaraan bermotor dapat menghasilkan CH_4 dan CO_2 serta gas lainnya yang bisa menyebabkan efek rumah kaca. Dari efek rumah kaca tersebut mengakibatkan suhu permukaan bumi memanas yang disebabkan kadar CO_2 dan CH_4 meningkat. Hal tersebut mempunyai dampak yang sangat berbahaya bagi kehidupan di bumi. Untuk itu kita perlu suatu cara agar emisi dari pembakaran kendaraan bermotor berkurang dan memanfaatkan sumber bahan bakar gas (BBG) yang ada. Walaupun ada, penggunaannya masih sedikit karena tabung yang digunakan berukuran besar dan bertekanan 150 bar yang membuat konsumen ragu untuk memakainya serta stasiun pengisian yang sangat langka. Adsorpsi adalah salah satu cara atau metode yang efektif untuk mengurangi emisi gas buang. Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi antara molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan. Penelitian ini membahas tentang kapasitas adsorpsi CH_4 murni pada karbon aktif. Dalam penelitian ini karbon aktif yang digunakan adalah karbon aktif komersial (Carbotech). Pengukuran adsorpsi menggunakan metode yang mendekati yaitu metode volumetrik (isotermal) pada temperatur 30°C dengan tekanan 30 bar. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan data kapasitas dan laju penyerapan pada karbon aktif hingga beberapa siklus kerja.

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

ABSTRACT

Name : Octaviandy Sabran Syahputra
Study program : Mechanical Engineering
Title : Methane Isothermal Adsorption on Activated Carbon for Adsorbed Natural Gas Application at 30 bar Maximum Pressure

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, that is make the people are so confuse to use it and the gas stations are rare. Adsorption is effective way to reduce gas emission which released. Adsorption is phenomena physics which happen between molecule-molecule gas or liquid to contact with a solid surface. This study discusses the capacity adsorption CH_4 at activated carbon. In this research the activated carbon used is a commercial active carbon (Carbotech). Adsorption measurement use volumetric method (isothermal) at temperatures 30°C with 30 bar pressure. The objective from this research is to get capacity data and the rate adsorption at activated carbon until several work cycle.

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

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Pembatasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
II. DASAR TEORI	5
2.1 Adsorpsi	5
2.1.1 Adsorpsi fisik	5
2.1.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi	7
2.1.3 Adsorben dan adsorbat.....	8
2.1.3.1 Adsorben	9
2.1.3.2 Adsorbat	11
2.2 Metode Pengukuran Adsorpsi.....	13
2.2.1 Metode <i>carrier gas</i>	13
2.2.2 Metode volumetrik	14

2.2.3	Metode gravimetrik.....	16
2.2.4	Metode kalorimetrik.....	17
2.3	Kapasitas dan Laju Penyerapan dengan Metode Volumetrik	17
III. METODE PENELITIAN		19
3.1	Tahapan Penelitian Alat Uji Adsorpsi-Desorpsi Metana	19
3.2	Alat Uji Adsorpsi-Desorpsi Metana.....	20
3.2.1	<i>Pressure vessel</i>	20
3.2.2	Pipa dan insulasi.....	23
3.2.3	<i>Pressure transmitter</i>	23
3.2.4	Termokopel	24
3.2.5	<i>Coriolis flow meter</i>	25
3.2.6	Pompa vakum.....	25
3.2.7	<i>Needle valve</i>	26
3.2.8	<i>Tube flaring</i>	27
3.2.9	Sambungan Tee.....	28
3.2.10	<i>Thermal insulation(Thermaflox)</i>	29
3.2.11	Insulation Tape.....	29
3.2.12	Drum	30
3.2.13	Circulating Thermal Bath(CTB)	31
3.2.14	<i>Solenoid valve</i>	32
3.2.15	<i>Male connector</i>	32
3.2.16	<i>Exhaust fan</i>	33
3.2.17	Regulator	34
3.2.18	<i>Temperatur Controller</i>	35
3.2.19	<i>Main Cobotact Breaker(MCB)</i>	35
3.2.20	Dimmer	36
3.2.21	Terminal	37
3.2.22	Data Akusisi(DAQ).....	37
3.2.23	<i>Power Supply</i>	39
3.2.24	Komputer	40
3.2.25	<i>Heater</i>	41

3.2.26	Karbon aktif komersial.....	41
3.3	Skematik Instalasi Alat Uji Adsorpsi-Desorpsi Metana	42
3.3.1	Instrumentasi	45
3.3.2	Verifikasi alat ukur.....	47
	3.3.2.1 Verifikasi <i>pressure transmitter</i>	47
	3.3.2.2 Verifikasi termokopel.....	48
	3.3.2.3 Verifikasi <i>Coriolis flow meter</i>	52
	3.3.2.3 Pengukuran volume.....	52
3.4	Preparasi Sampel.....	55
3.4.1	<i>Dry sorbent</i>	55
3.4.2	Proses <i>Degassing</i>	56
3.5	Proses Adsorpsi.....	57
3.6	Proses Desorpsi.....	59
IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN		60
4.1	Pengulangan Data (<i>Repeatibility</i>)	60
4.1.1	Hubungan Tekanan tekanan terhadap Waktu pada Proses Adsorpsi-Desorpsi gas Metana 3 Siklus	61
4.1.2	Hubungan <i>Massflow</i> terhadap Waktu pada Proses Adsorpsi-Desorpsi gas Metana 3 Siklus	63
4.1.3	Hubungan Temperatur Tabung terhadap Waktu pada Proses Adsorpsi-Desorpsi gas Metana 3 Siklus	65
4.1.4	Hubungan Temperatur Adsorben terhadap Waktu pada Proses Adsorpsi-Desorpsi gas Metana 3 Siklus	71
4.1.5	Hubungan Temperatur Mean Tabung terhadap Waktu pada Proses Adsorpsi-Desorpsi gas Metana 3 Siklus	77
4.1.6	Hubungan Temperatur Mean Adsorben terhadap Waktu pada Proses Adsorpsi-Desorpsi gas Metana 3 Siklus	79
4.2	Perhitungan Kapasitas Penyerapan 3 siklus.....	80

V. KESIMPULAN DAN SARAN	84
5.1 Kesimpulan	84
5.2 Saran.....	85
DAFTAR REFERENSI	86
LAMPIRAN	89



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva adsorpsi isotermis.....	6
Gambar 2.2 (a) Karbon aktif granul (b) karbon aktif serat	10
Gambar 2.3 Skematik metode <i>carrier gas</i> . (1) sampel, (2) tabung dengan nitrogen cair gas mixer (3) dan (4) konduktivitas gas detektor. Hasil dari pengukuran metode ini adalah grafik U voltage dan waktu t	14
Gambar 2.4 Skematik metode volumetrik	15
Gambar 2.5 Skematik <i>Thermograph Microbalance Aparatus</i>	16
Gambar 2.6 Skematik Tian-Calvet kalorimeter. (P) <i>pressure gauge</i> , (T) termometer, (R) <i>gas reservoir</i> , (S) sampel, (G) adsorbat masuk,.....	17
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> metode penelitian alat uji adsorpsi-desorpsi metana.....	19
Gambar 3.2 <i>Pressure vessel</i>	20
Gambar 3.3 <i>Blind flange</i>	21
Gambar 3.4 <i>Slip on flange</i>	21
Gambar 3.5 Mur,rings, as drat	22
Gambar 3.6 <i>Packing Teflon</i>	22
Gambar 3.7 Filter	23
Gambar 3.8 <i>Pressure Transmitter</i>	24
Gambar 3.9 <i>Modifikasi Termokopel jenis K</i>	24
Gambar 3.10 <i>Coriolis flow meter</i>	25
Gambar 3.11 Pompa vakum.....	26
Gambar 3.12 <i>Needle valve</i>	27
Gambar 3.13 <i>Tube flaring</i>	28
Gambar 3.14 <i>Sambungan tee</i>	28
Gambar 3.15 <i>Thermal Insulation(Thermalflex)</i>	29
Gambar 3.16 <i>Insulation tape</i>	30
Gambar 3.17 Drum	30
Gambar 3.18 <i>Circulating Thermal Bath</i>	31
Gambar 3.19 <i>Solenoid valve</i>	32
Gambar 3.20 <i>Male connector</i>	33
Gambar 3.21 <i>Exhaust fan</i>	34

Gambar 3.22	<i>Regulator</i>	34
Gambar 3.23	<i>Temperature controller</i>	35
Gambar 3.24	<i>Main contact breaker</i>	36
Gambar 3.25	<i>Dimmer</i>	37
Gambar 3.26	<i>Terminal</i>	37
Gambar 3.27	DAQ	39
Gambar 3.28	<i>Power supply 1</i>	40
Gambar 3.29	<i>Power supply 2</i>	40
Gambar 3.30	Heater	41
Gambar 3.31	<i>Activated carbon (carbotech)</i>	42
Gambar 3.32	Instalasi alat uji adsorpsi-desorpsi metana.....	43
Gambar 3.33	Skematik sistem adsorpsi dan desorpsi	44
Gambar 3.34	Program labview 8.5	46
Gambar 3.35	Grafik kalibrasi <i>pressure transmitter</i> di bejana bertekanan.....	47
Gambar 3.36	Skematik proses verifikasi termokopel	48
Gambar 3.37	Grafik kalibrasi termokopel	51
Gambar 3.38	Grafik kalibrasi <i>coriolis flow meter</i>	52
Gambar 3.39	Skema proses pengukuran volume bejana bertekanan.....	53
Gambar 3.40	Timbangan AND FX 4000.....	55
Gambar 3.41	Proses dry dorbent dan control panel	56
Gambar 3.42	Skematik proses degassing.....	57
Gambar 3.43	Skematik proses adsorpsi	58
Gambar 3.44	Skematik proses desorpsi	59
Gambar 4.1	Grafik Tekanan vs <i>Time</i> Proses Adsorpsi 3 Siklus	61
Gambar 4.2	Grafik Tekanan vs <i>Time</i> Proses Desorpsi 3 Siklus	62
Gambar 4.3	Grafik Massflow vs <i>Time</i> Proses Adsorpsi 3 Siklus	63
Gambar 4.4	Grafik Massflow vs <i>Time</i> Proses Desorpsi 3 Siklus	64
Gambar 4.5	Grafik Temperatur Tabung vs <i>Time</i> Proses Adsorpsi Siklus 1	65
Gambar 4.6	Grafik Temperatur Tabung vs <i>Time</i> Proses Desorpsi Siklus 1.....	66
Gambar 4.7	Grafik Temperatur Tabung vs <i>Time</i> Proses Adsorpsi Siklus 2	67
Gambar 4.8	Grafik Temperatur Tabung vs <i>Time</i> Proses Desorpsi Siklus 2.....	68
Gambar 4.9	Grafik Temperatur Tabung vs <i>Time</i> Proses Adsorpsi Siklus 3	69

Gambar 4.10 Grafik Temperatur Tabung vs <i>Time</i> Proses Desorpsi Siklus 3.....	70
Gambar 4.11 Grafik Temperatur Adsorben vs <i>Time</i> Proses Adsorpsi Siklus 1...	71
Gambar 4.12 Temperatur Adsorben vs <i>Time</i> Proses Desorpsi Siklus 1.....	72
Gambar 4.13 Grafik Temperatur Adsorben vs <i>Time</i> Proses Adsorpsi Siklus 2....	73
Gambar 4.14 Grafik Temperatur Adsorben vs <i>Time</i> Proses Desorpsi Siklus 2....	74
Gambar 4.15 Grafik Temperatur Adsorben vs <i>Time</i> Proses Adsorpsi Siklus 3....	75
Gambar 4.16 Grafik Temperatur Adsorben vs <i>Time</i> Proses Desorpsi Siklus 3 ...	76
Gambar 4.17 Grafik Temperatur Mean Tabung vs <i>Time</i> Proses Adsorpsi 3 Siklus.....	77
Gambar 4.18 Grafik Temperatur Mean Tabung vs <i>Time</i> Proses Desorpsi 3 Siklus.....	78
Gambar 4.19 Grafik Temperatur Mean Adsorben vs <i>Time</i> Proses Adsorpsi 3 Siklus.....	79
Gambar 4.20 Grafik Temperatur Mean Adsorben vs <i>Time</i> Proses Desorpsi 3 Siklus.....	80
Gambar 4.21 Grafik Isosterik Proses Adsorpsi-Desorpsi Siklus 2	82

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data properties karbon aktif komersial.....	42
Tabel 3.2 Data pengukuran volume kosong bejana bertekanan.....	54
Tabel 4.1 Data hasil eksperimen tabung berisi karbon aktif.....	81
Tabel 4.2 Data hasil eksperimen tabung kosong.....	81



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Posisi termokopel bejana bertekanan.....	88
Lampiran 2 Sertifikat pengujian carbotech.....	89



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat sekarang ini pemanasan global akibat efek rumah kaca sudah tidak bisa dihindari lagi. Efek rumah kaca atau green house effect merupakan suatu fenomena dimana adanya gelombang pendek radiasi matahari menembus atmosfer dan berubah menjadi gelombang panjang ketika mencapai permukaan bumi. Setelah mencapai permukaan bumi, sedikit gelombang yang dipantulkan untuk dilepaskan ke angkasa dan sisanya masih berada di permukaan bumi karena dipantulkan kembali oleh lapisan gas seperti kaca yang berada di atmosfer. Gas yang berada di lapisan atmosfer memiliki kemampuan untuk menyerap radiasi matahari lalu dipantulkan ke bumi sehingga bumi menjadi. Proses ini dapat terjadi berulang kali, sementara gelombang yang masuk semakin bertambah banyak. Hal ini mengakibatkan pemanasan di bumi menjadi meningkat.

Efek rumah kaca itu sendiri terjadi karena meningkatnya konsentrasi gas metana (CH_4) dan gas lain seperti karbondioksida (CO_2) dan klorofluorokarbon (CFC) di atmosfer. Adanya gas metana diyakini bahwa gas metana tersebut dapat dihasilkan oleh mikrobia dalam keadaan anaerob sehingga secara alamiah gas metan dapat ditemukan lahan gambut, rawa dan sedimen di daerah pantai (Hardy, 2003). Selain itu kenaikan konsentrasi gas CO_2 itu sendiri disebabkan berbagai jenis pembakaran dipermukaan bumi salah satunya yang paling besar yaitu dari sisa pembakaran bahan bakar minyak (BBM) pada kendaraan bermotor.

Selain itu ternyata bahan bakar minyak yang ada di bumi mengalami penipisan karena sumber daya akan minyak mulai berkurang karena tingkat perkembangan jumlah kendaraan tidak sebanding dengan sumber daya akan

bahan bakar minyak(BBM) yang tersedia. Oleh karena itu, sekarang ini kendaraan bermotor mulai beralih pemakain 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 dikendaraan 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 didalamnya 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 isothermal (Dawoud dan Aristov, 2003). Pengukuran menggunakan metode volumetrik dapat digunakan menghitung kapasitas

adsorpsi untuk semua ukuran dan jenis pasangan adsorben-adsorbat, selain itu dapat juga menghitung laju penyerapan adsorpsi (Keller, Jurgen et al, 2002).

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 .

1.2 Perumusan Masalah

Kinerja suatu sistem yang menggunakan sistem adsorpsi-desorpsi pada permukaan padatan dipengaruhi oleh karakteristik 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

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan data karakteristik adsorpsi dan desorpsi isothermal yang ditunjukkan dengan data kapasitas dan laju penyerapan karbon aktif granul terhadap CH_4 dengan kemurnian 99.99% dengan pengulangan proses adsorpsi-desorpsi hingga beberapa siklus kerja.

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.

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 II

DASAR TEORI

2.1 Adsorpsi

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

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

2.1.1 Adsorpsi fisik

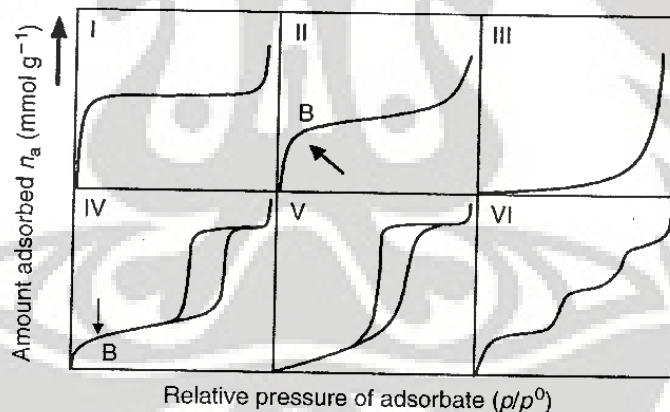
Adsorpsi fisik adalah fenomena fisik yang terjadi saat molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan dan sebagian dari molekul-molekul tadi mengembun pada permukaan padatan tersebut (Suryawan, Bambang 2004). Adsorpsi fisik yang terjadi karena adanya gaya *Van Der Waals* yaitu gaya tarik-menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorbat tidak terikat secara kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lainnya. Dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat yang satu dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorpsi fisik merupakan suatu peristiwa yang reversibel. Bila dalam keadaan kesetimbangan kondisinya diubah misalnya

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

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

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

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



Gambar 2.1 Kurva adsorpsi isotermis

(Mars H. dan F. Reinoso, 2006)

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

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

- b. Tipe II, diperoleh dari percobaan Brauner, Emmett dan Teller (1938). Kurva jenis ini ditemukan pada adsorben berpori (*porous*) atau padatan berpori besar (*macro-porous*).
- c. Tipe III, menunjukkan kuantitas adsorben semangkin tinggi saat tekanan bertambah. Tipe ini jarang terlihat dalam eksperimen adsorpsi, dimana gaya tarik molekul gas lebih besar dibandingkan gaya ikat serapan.
- d. Tipe IV, sering terlihat pada padatan berpori, seperti pada katalis industri. Relatif tekanan rendah sampai menengah, dimana volume terbesar adsorbat yang teradsorpsi dapat dihitung dari *capillary condensation* yang telah sempurna mengisi pori. Kurva jenis ini dihasilkan padatan adsorben berukuran *mesopore* (2-50 nm).
- e. Tipe V, jenis ini hampir sama dengan tipe III, dihasilkan dari interaksi yang rendah antara adsorben dengan adsorbat.
- f. Tipe VI, menunjukkan interaksi adsorbat dengan permukaannya yang terlalu homogen (*pyrolytic graphite*) yang berinteraksi dengan adsorben seperti argon dan metan.

2.1.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi

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

1. Jenis adsorbat
 - a. Ukuran molekul adsorbat

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

Apabila berdiameter sama, molekul-molekul polar lebih kuat diadsorpsi daripada molekul-molekul tidak polar. Molekul-molekul

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

2. Karakteristik adsorben

a. Kemurnian adsorben

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

b. Luas permukaan dan volume pori adsorben

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

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

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

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

2.1.3 Adsorben dan Adsorbat

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

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

2.1.3.1 Adsorben

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

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

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

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

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

1. Silika gel

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

sehingga umumnya silika gel digunakan pada temperatur dibawah 200°C . Silika gel memiliki kapasitas menyerap air yang besar terutama pada saat tekanan uap air tinggi.

2. Karbon aktif

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



Gambar 2.2 (a) Karbon aktif granul (b) karbon aktif serat

(Manocha, Satish. M, 2003)

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

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

3. Zeolit

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

2.1.3.2 Adsorbat

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

1. Air

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

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

2. Amonia

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

Kerugian dari amonia :

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

3. Metanol

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

4. Karbondioksida (CO_2)

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 (CH_4)

Metana merupakan ikatan senyawa kimia yang sangat sederhana terdiri dari satu atom karbon dan empat atom hydrogen. Gas metana ini diproduksi oleh mikrobia dalam keadaan anaerob. Secara alamiah lahan gambut, rawa dan sedimen di daerah pantai merupakan sumber utama dari gas metan di atmosfer (Hardy,2003). Pada kondisi tekanan dan temperature atmosfer, gas metana merupakan gas yang sangat ringan, tidak berwarna, dan juga tidak berbau (gas

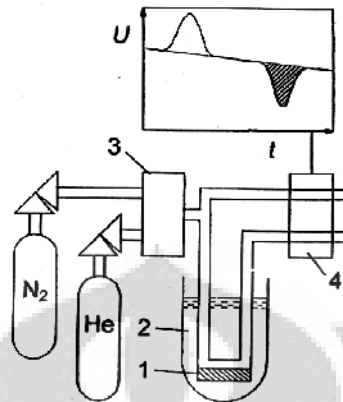
metana murni). Gas metana juga merupakan gas reaktif dan beracun. Gas tersebut mudah terbakar (flammable) sehingga dapat memicu ledakan.

2.2 Metode Pengukuran Adsorpsi

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

2.2.1 Metode *carrier gas*

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



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

(Keller, J.U et al, 2002).

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

2.2.2 Metode volumetrik

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

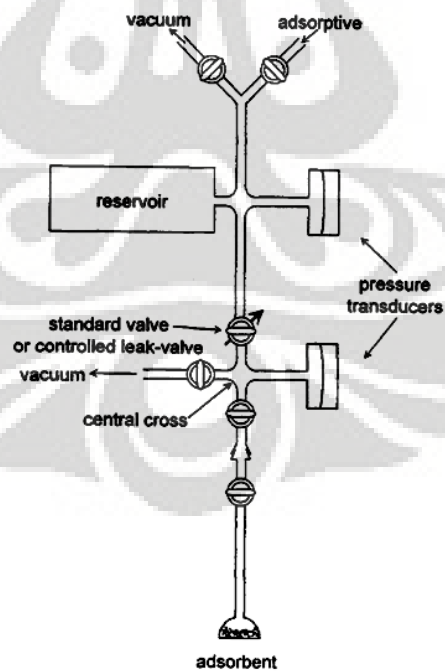
Data pengukuran pada metode volumetrik adalah tekanan dan temperatur, dimana data diukur saat adsorbat masuk ke tempat diletakkannya adsorben

(*adsorption bulb*). Setelah kesetimbangan adsorpsi terjadi, jumlah adsorbat yang terserap dihitung dari perubahan tekanan yang terjadi.

Hal yang terpenting dalam pengukuran adsorpsi 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.

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



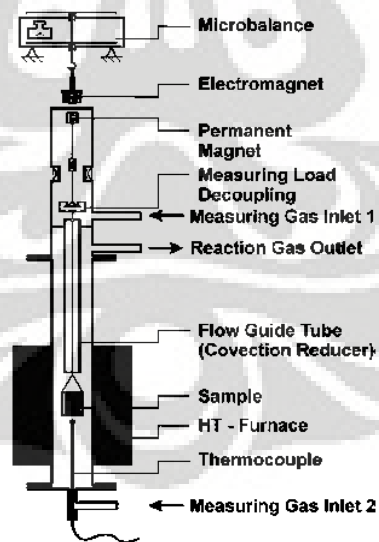
Gambar 2.4 Skematik metode volumetrik

(Rouquerol, J et al, 1998)

2.2.3 Metode gravimetrik

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

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

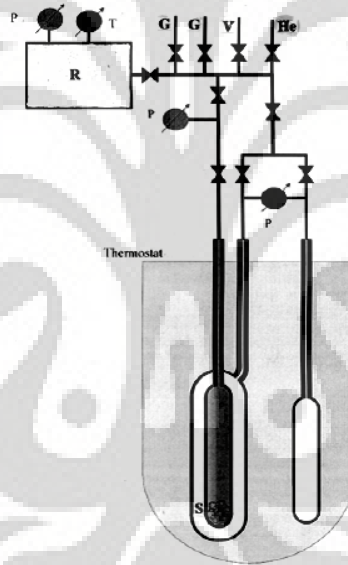


Gambar 2.5 Skematik *Thermograph Microbalance Aparatus*

(Keller, J.U et al, 2002)

2.2.4 Metode kalorimetrik

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



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

2.3 Kapasitas dan Laju Penyerapan dengan Metode Volumetrik

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). Perubahan massa adsorpsi diukur dari perubahan tekanan yang terjadi antara adsorbat dan adsorben pada temperatur konstan (Rouquerol, J et al, 1998). Kesetimbangan massa uap adsorbat dalam *measuring cell* menurut Dawoud dan Aristov, 2003, dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$m_{ads} = |\dot{m}_{CFM} \times t| - (\rho(P,T) \times V_{void}) \quad (2.1)$$

Dimana: V_{void} : volume kosong pada tabung(L)

t : waktu (detik)

$\rho(P,T)$: nilai density pada kondisi temperature dan tekanan tertentu(g/L)

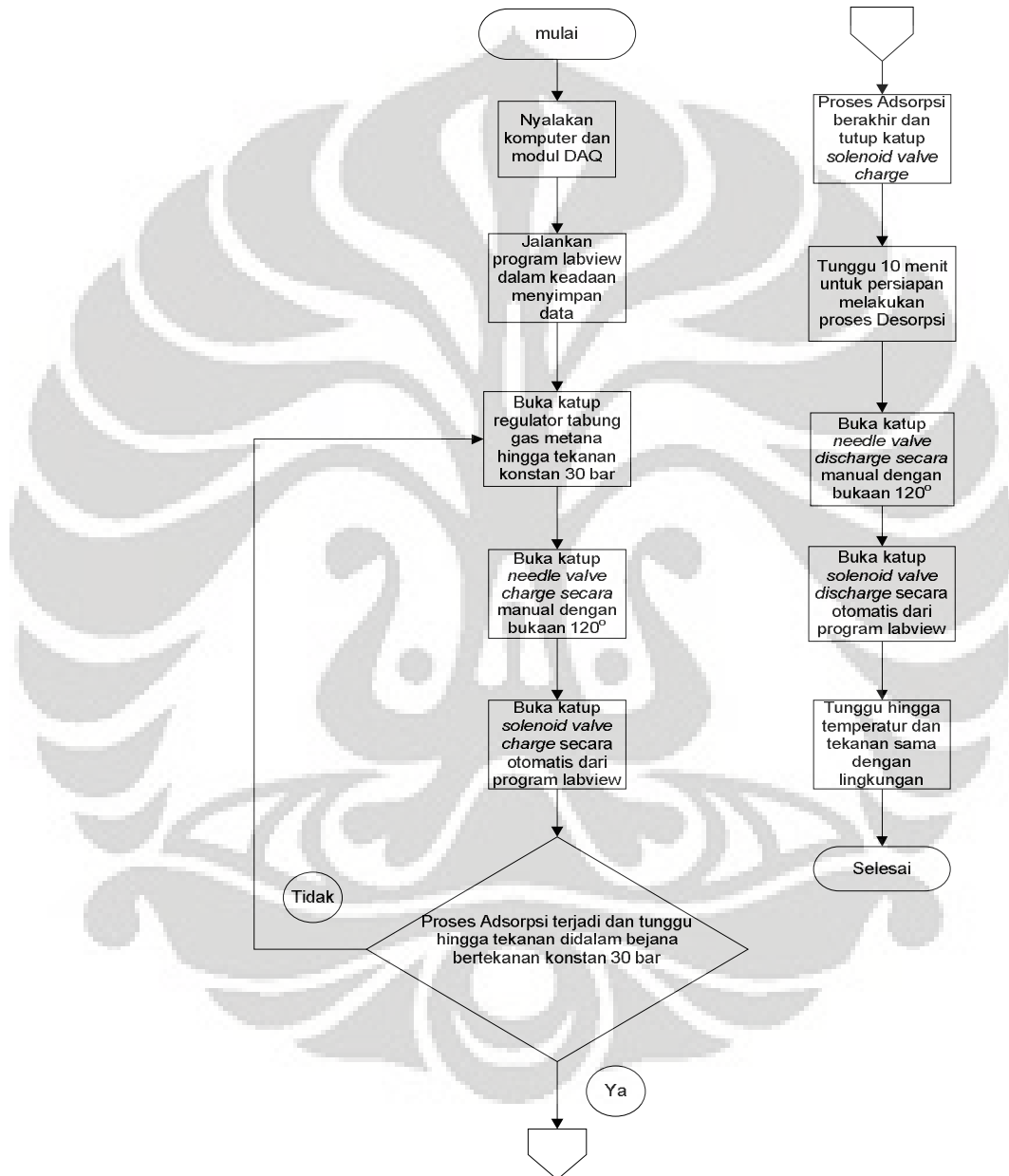
\dot{m}_{CFM} : laju aliran massa adsorbat di *Coriolid Flow Meter* (g/min)

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

BAB III

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

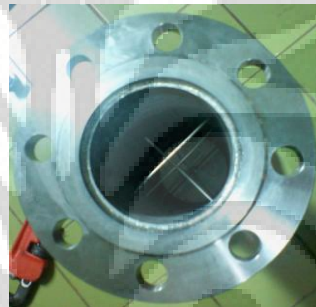
Blind flange yang digunakan memiliki material baja karbon dengan ukuran disesuaikan untuk DIN 40 SS 304



Gambar 3.3 Blind Flange

2. Slip on Flange

Blind flange yang digunakan DIN 40 SS 304



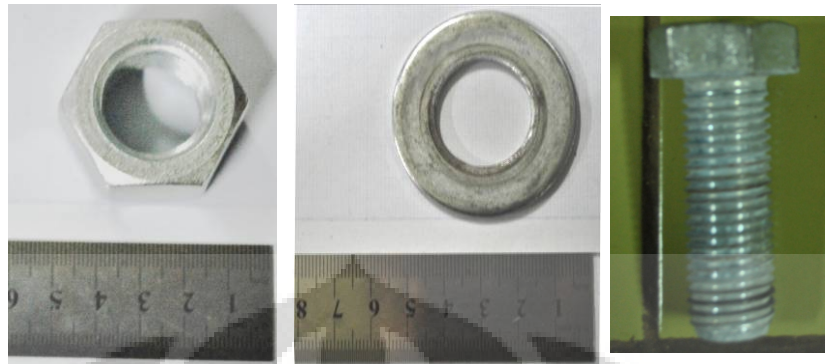
Gambar 3.4 Slip-On Flange

3. Pipa

Pipa dengan schedule 40 memiliki diameter dalam (Ø_i) 128.19 mm dan diameter luar (Ø_o) 141.3 mm.

4. Mur dan Drat As

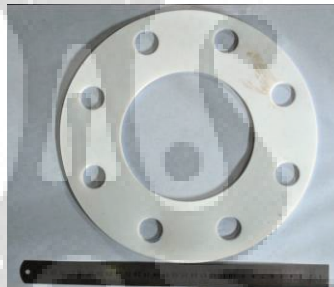
Memiliki material baja karbon yang dilapisi galvanis, dengan diameter as 25 mm.



Gambar 3.5 Mur, Ring, As Drat

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

6. Filter

Filter memiliki mesh sebesar 2.11 mm. Letak filter di dalam pressure vessel, dengan menggantungkan filter di flange slip-on, seperti pada gambar berikut:



Gambar 3.7 Peletakan saringan dan saringan yang digunakan

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 $0,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

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 :

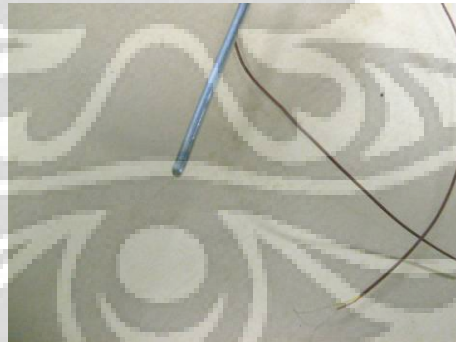


Gambar 3.8 Pressure Transmitter

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 Coriolis flow meter

Coriolis flow meter (CFM) pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan sebagai alat untuk mengetahui *mass flow rate*, *total mass*, *density*, temperatur, *volumetric flowrate*, *total volume*, *fraction flow*, *% fraction*, dan *total fraction* suatu fluida yang mengalir pada alat ini.

Coriolis flow meter (CFM) yang digunakan pada alat uji adsorpsi kinetic memiliki spesifikasi, sebagai berikut:

Pabrikan	: SIEMENS
Tipe	: Sitrans F C Massflo mass 6000 IP 67
Measuring Range	: 0-52000 kg/h
Liquid temperatur range	: -50 to +180oC
Liquid pressure range	: max 430 bar
Accuracy	: 0.1% of actual flow
Supply voltage	: 115/230 V a.c., 50-60 Hz



Gambar 3.10 Coriolis flow meter

3.2.6 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 3.11 Pompa Vakum

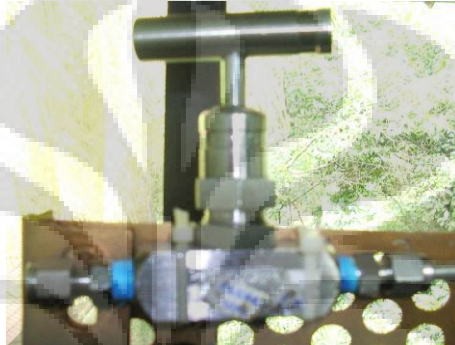
3.2.7 Needle valve

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 3.12 Needle valve

3.2.8 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 (Ø)	: 1/4 inchi

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



Gambar 3.13 Tube Flaring

3.2.9 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:

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



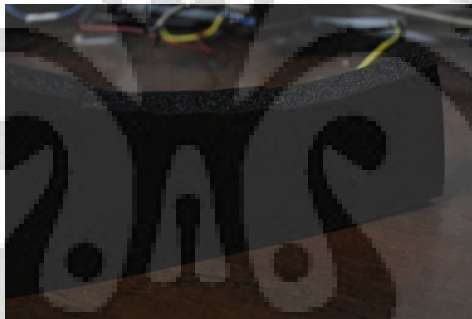
Gambar 3.14 Sambungan tee atau T

3.2.10 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°C to 105°C
Thermal Conductivity	: 0.0374 W/mK
Thickness	: 10 mm



Gambar 3.15 Thermal insulation (*thermalflex*)

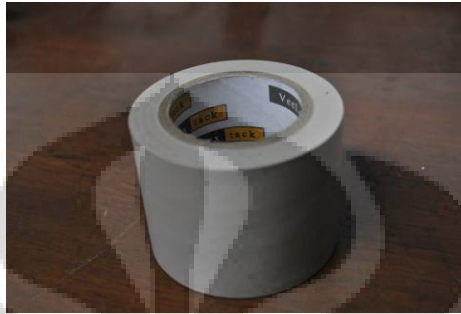
3.2.11 Insulation Tape

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
----------	-------------

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



Gambar 3.16 Insulation tape

3.2.12 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



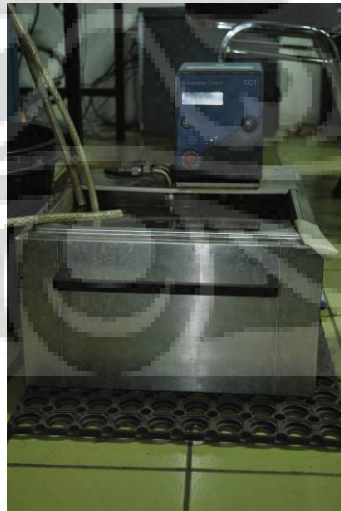
Gambar 3.17 Drum

3.2.13 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



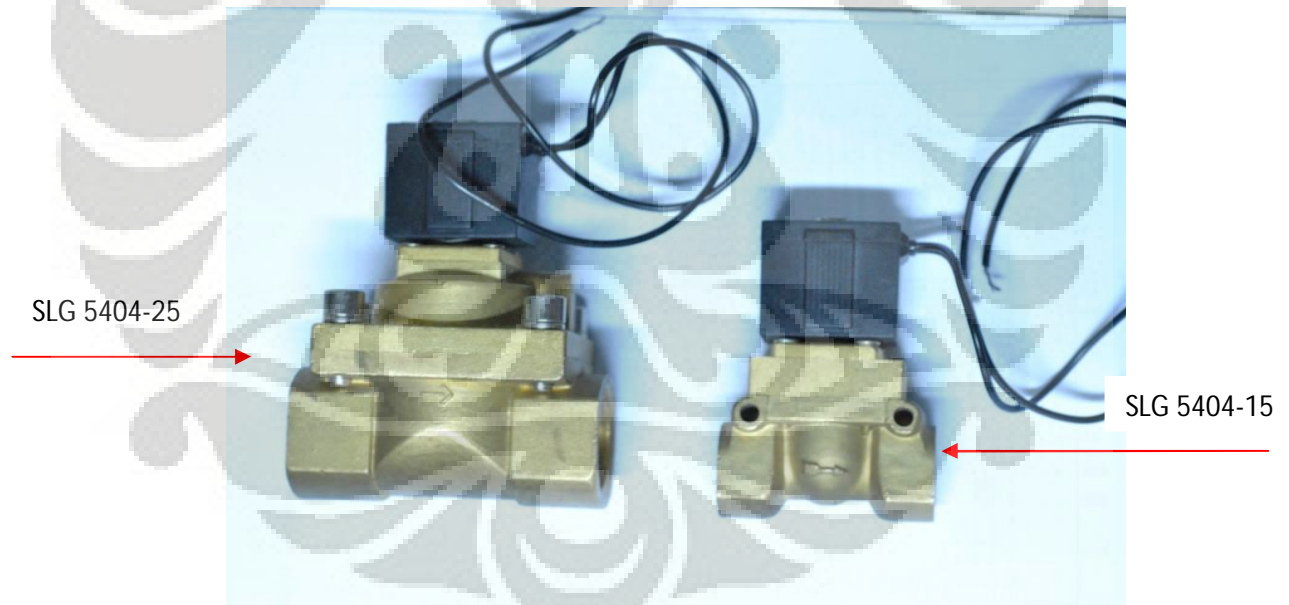
Gambar 3.18 *Circulating thermal bath*

3.2.14 Solenoid valve

Solenoid valve pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan untuk mengontrol buka atau tutup *valve* secara otomatis dengan bantuan suatu program untuk menjalankannya seperti program *labview*.

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

Pabrikan	: JIOYOUNG PNEUMATIC CO LTD
Tipe	: SLG 5404-25 dan SLG 5404-15
Pressure	: 0-7.5 MPa
PT	: 1"(SLG 5404-25) dan 1/2"(SLG 5404-15)
Volt	: 220 AC DC 24 Volt \pm 10%, 320 mA 7.6 Watt
Orifice	: 26(SLG 5404-25) dan 15(SLG 5404-15)
Temperatur	: 0 ⁰ C-150 ⁰ C



Gambar 3.19 Solenoid valve

3.2.15 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 3.20 Male connector

3.2.16 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(m³/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 3.21 Exhaust fan

3.2.17 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 3.22 Regulator

3.2.18 Temperature Controller

Temperature controller pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan untuk mengontrol 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 1300°C), J(0 to 800°C)
Ambient temperatur	: -10 to 50°C (at non-freezing status)
Storage temperatur	: -20 to 60°C
Ambient humidity	: 35 to 85% RH



Gambar 3.23 Temperature control

3.2.19 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 3.24 Main contact breaker (MCB)

3.2.20 Dimmer

Dimmer pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan pada *heater* sebagai pengatur *Voltage* dan *current* secara manual. Dengan adanya *dimmer* dapat menset *Voltage* sesuai dengan kebutuhan yang dipakai alat elektronik tersebut.

Dimmer pada alat uji ini memiliki spesifikasi, sebagai berikut:

Pabrikan : CLIPSAL
 Model : E30 system C-Classic series
 Voltage : 250 V AC
 Load : hanya untuk lampu pijar
 Dimension : 87mm X 87mm



Gambar 3.25 Dimmer

3.2.21 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 3.26 Terminal

3.2.22 Data Akusisi (DAQ)

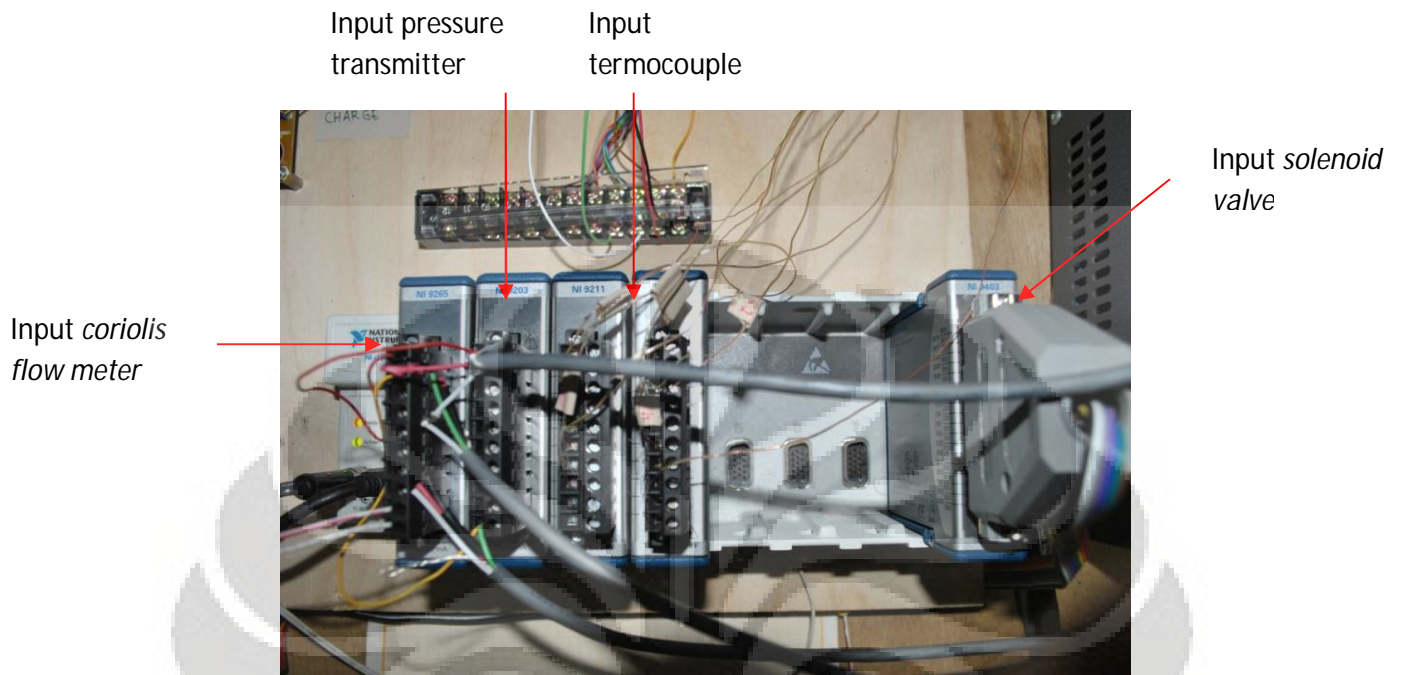
Data akusisi digunakan untuk menerima sinyal atau *analog output* dari alat ukur, yaitu *pressure transmitter* dan termokopel serta kendali terhadap *solenoid valve* dan *coriolis flow meter*. Data *analog* yang diterima data

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 *coriolis flow meter* 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
Tipe	: 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 3.27 Data akuisisi (DAQ)

3.2.23 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 akuisisi, *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	: <i>Digital dual output power supply</i>
Output	: arus (A) dan tegangan (V)



Gambar 3.28 Power Supply 1

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



Gambar 3.29 Power supply 2

3.2.24 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

3.2.25 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 : 3 buah
Daya : 500 W
Voltase : 220 V



Gambar 3.30 Heater

3.2.26 Karbon Aktif Komersial

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

Tabel 3.1 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>	mgJ2/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



Gambar 3.31 Activated carbon (carbotech)

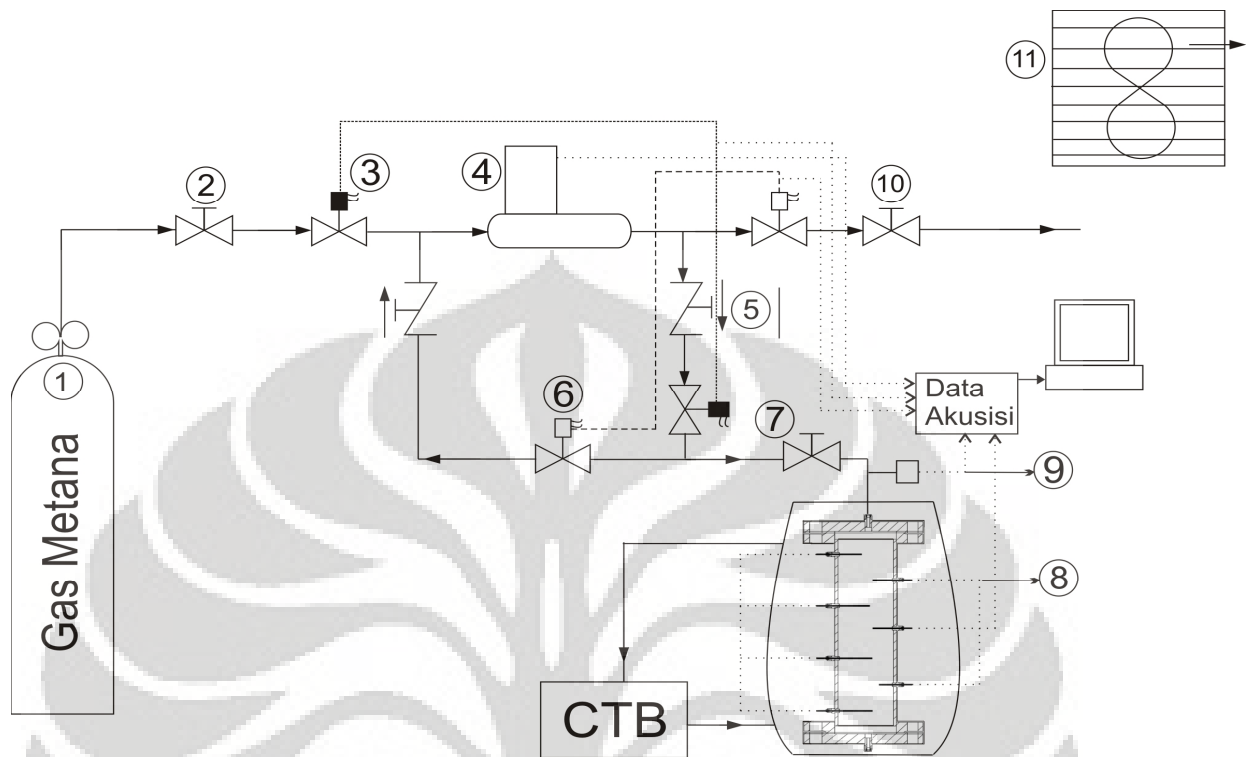
3.3 Skematik Instalasi Alat Uji Adsorpsi-Desorpsi Metana

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 3.32 Instalasi alat uji adsorpsi-desorpsi metana



Gambar 3.33 Skematik Sistem Adsorpsi dan Desorpsi

KETERANGAN

1. Penyimpanan gas metana
2. Katup untuk kontrol aliran
3. Solenoid valve untuk pengisian (adsorpsi)
4. Coriolis Mass flowmeter (CMF)
5. Check valve
6. Solenoid valve untuk pembuangan (desorpsi)
7. Katup Tabung
8. Sensor temperatur (termokopel)
9. Sensor tekanan (*Pressure Transmitter*)
10. Ball valve, untuk katup buka dan tutup
11. Exhaust fan

Dari skematik diatas dapat dijelaskan secara umum bahwa jalur pipa *inlet* yang melewati *coriolis flow meter* maka aliran massa yang lewat akan terbaca baik di layar komputer maupun layar digital *coriolis flow meter* dan juga untuk jalur pipa *outlet* dari bejana akan melewati *coriolis flow meter* sehingga aliran massa yang lewat dapat diketahui. *Coriolis flow meter* yang digunakan hanya satu buah dan juga memiliki satu aliran input dan satu aliran output sehingga tidak terjadi kebalikan arah aliran massa yang melewati *coriolis flow meter*. 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 *coriolis flow meter* (CFM) serta sebagai kendali dari proses buka-tutup dari *solenoid 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

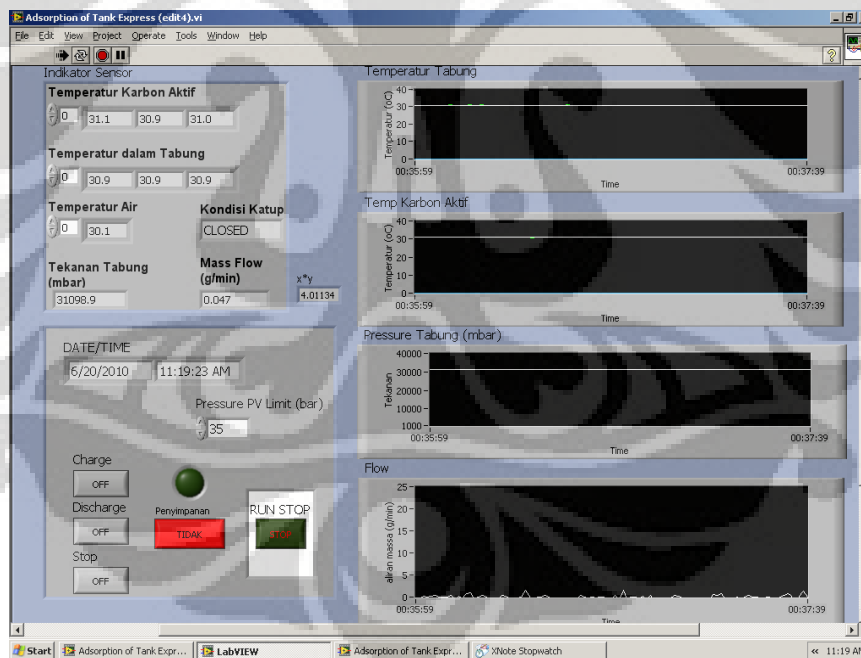
Pada alat uji adsorpsi-desorpsi metana digunakan teknik instrumentai pada alat ukur yang dilakukan untuk mengukur tekanan dan temperatur serta kendali buka-tutup *solenoid valve*. Instrumentasi dapat diartikan sebagai alat atau piranti(devive) yang dipakai dalam pengukuran dan pengendalian suatu sistem.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

- a. sebagai alat ukur
- b. sebagai alat analisa data
- c. alat kendali

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

tekanan dan temperatur per detik, dan juga komponen *solenoid valve* yang dikendalikan dengan alat instrumentasi.

Pengukuran menggunakan pressure transmitter, *coriolis flow meter* dan termokopel serta kendali *solenoid valve* 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 3.34 Program Labview 8.5

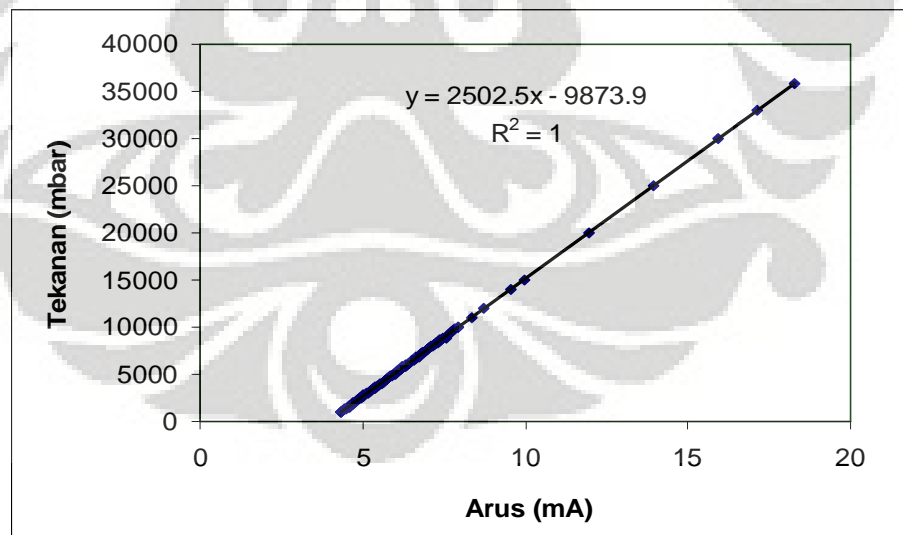
3.3.2 Verifikasi Alat Ukur

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 *coriolis flow meter*.

3.3.2.1 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.

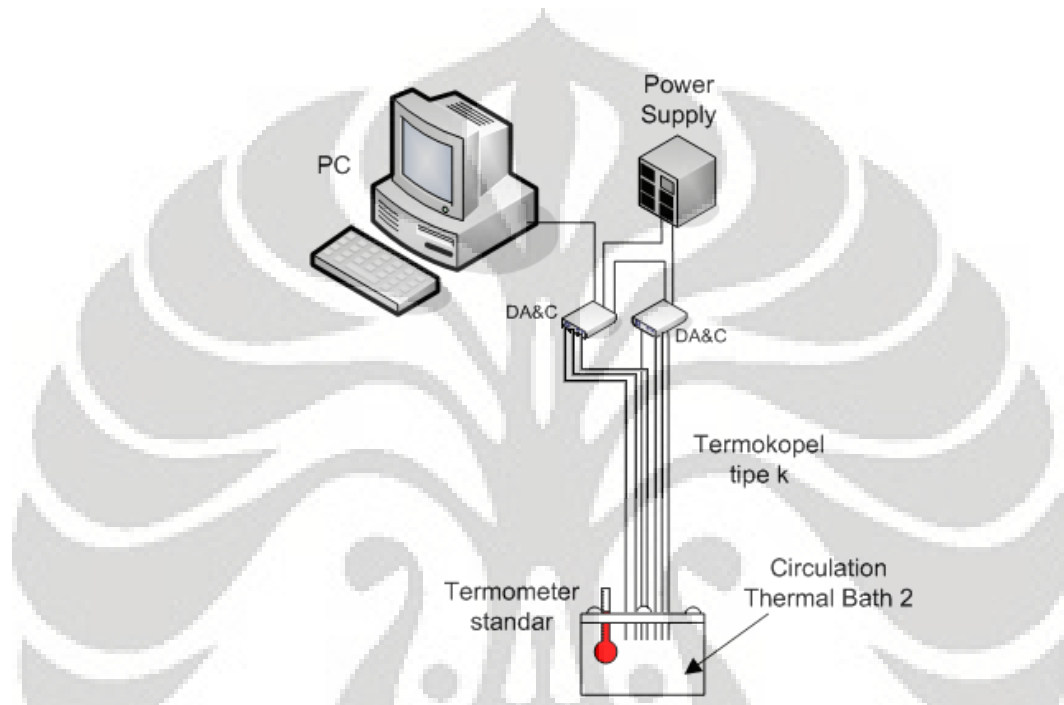
Data kalibrasi yang telah dilakukan dibuat persamaan garis melalui microsoft excel, antara tekanan yang diberikan dengan arus yang ditunjukkan oleh *pressure transmitter*. Grafik yang terbentuk adalah garis linier yang didapatkan dari perbandingan tekanan dan arus *pressure transmitter*. Gambar grafik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



Gambar 3.35 Grafik kalibrasi *pressure transmitter* di measuring cell (bejana bertekanan)

3.3.2.2 Verifikasi Termokopel

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



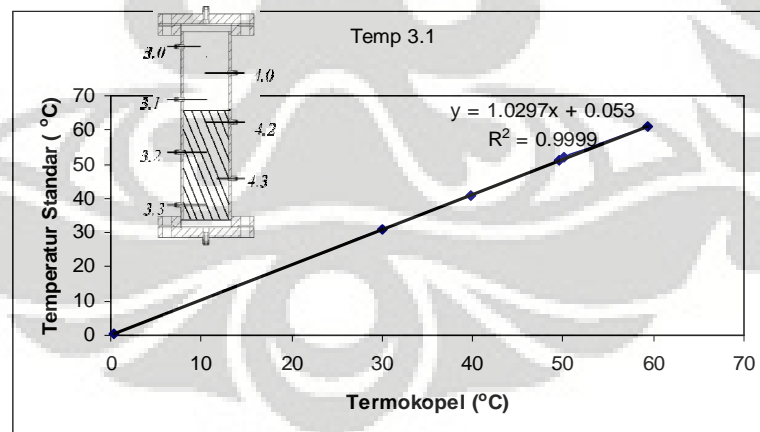
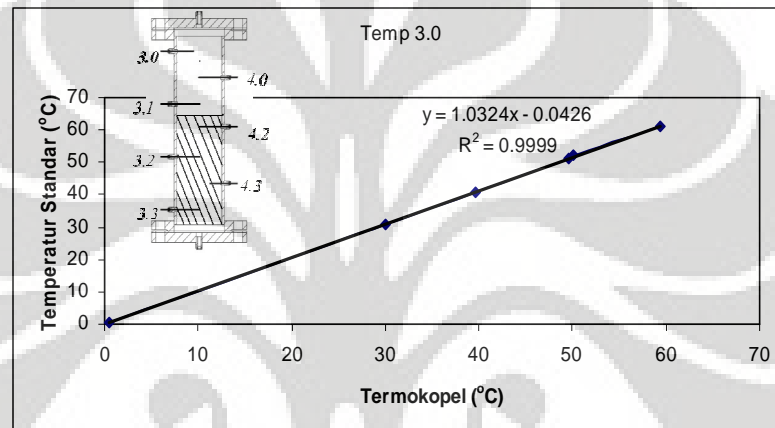
Gambar 3.36 Skematik proses verifikasi termokopel

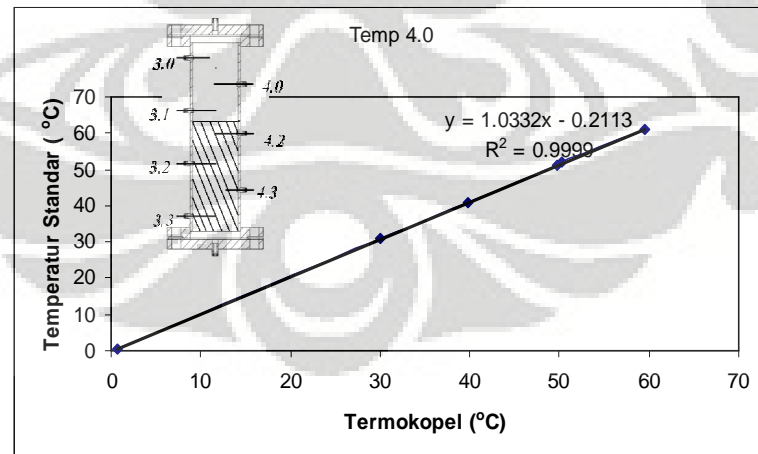
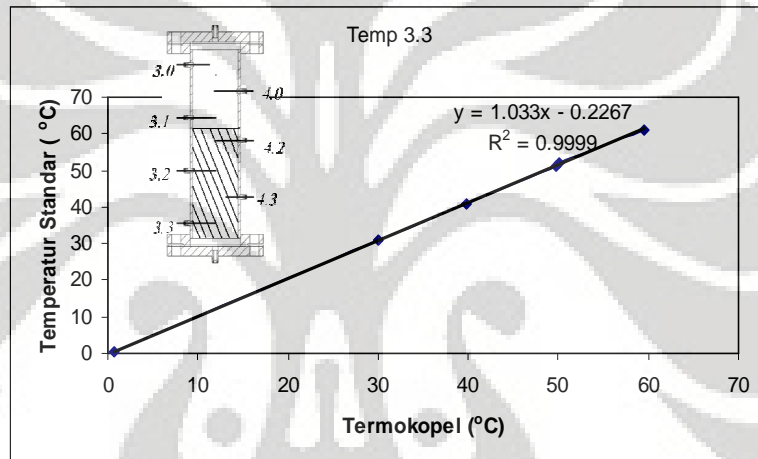
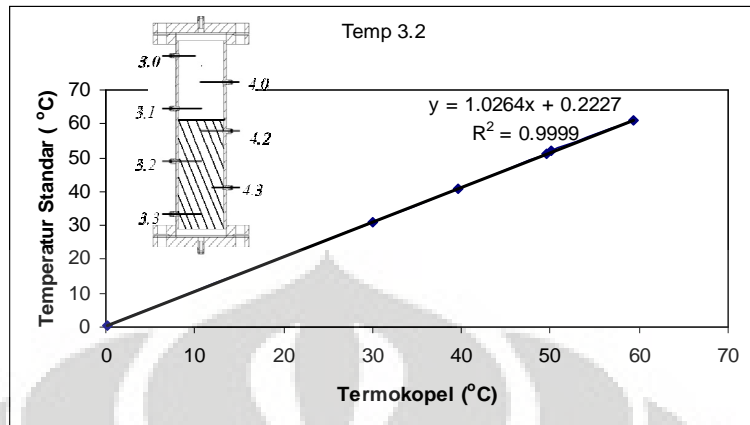
Kalibrasi dilakukan dengan mengambil data pembacaan temperatur termokopel terhadap pembacaan skala temperatur air raksa (termometer standar). Proses verifikasi dilakukan dengan mengatur temperatur *circulating thermal bath* (CTB) pada temperatur tertentu dimana termometer air raksa terbaca dan dalam keadaan stabil, kemudian data temperatur dari pembacaan termokopel 1 sampai dengan 7, yang terbaca komputer dicatat.

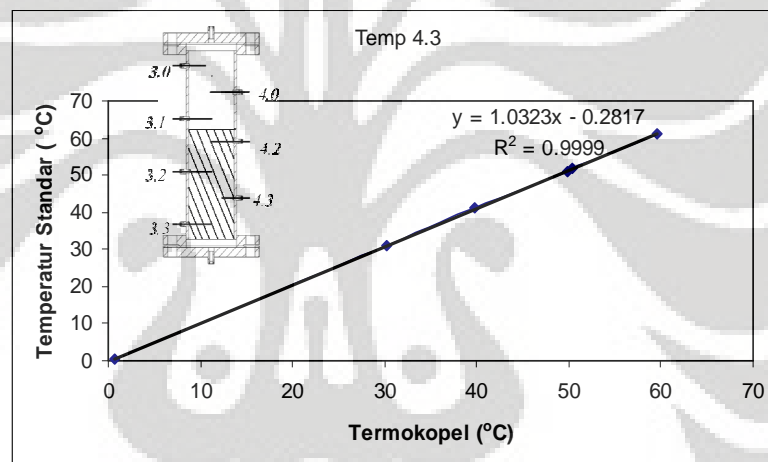
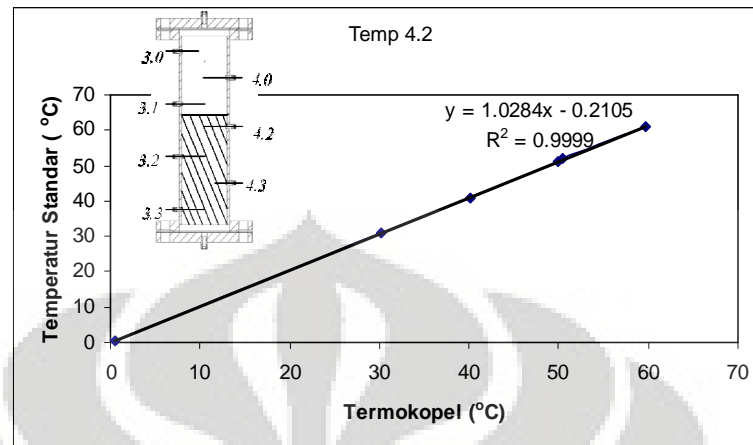
Data perbedaan termometer air raksa dan termokopel digambar dalam grafik. Grafik yang terbentuk adalah garis linier yang didapatkan dari perbandingan pembacaan termokopel dan pembacaan termometer air raksa,

maka didapatkan persamaan matematis garis linier. Persamaan matematis tersebut yang digunakan untuk verifikasi pembacaan termokopel.

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







Gambar 3.37 Grafik kalibrasi termokopel

Keterangan :

Nama termokopel, misal Temp 3.0 berarti termokopel dipasang di data akuisisi 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 4.0 = 30 mm

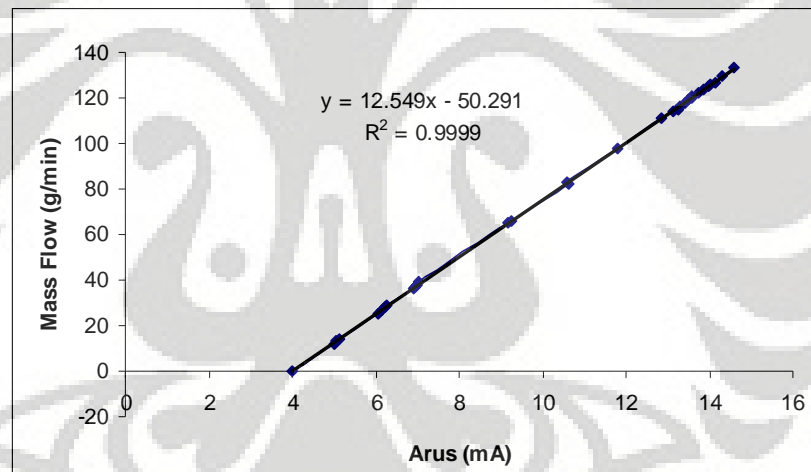
Temp 4.2 = 60 mm

Temp 4.3 = 90 mm

3.3.2.3 Verifikasi *Coriolis flow meter*

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 *coriolis flow meter*. Grafik yang terbentuk adalah garis linier yang didapatkan dari perbandingan *coriolis flow meter* dan arus yang terbaca. Gambar grafik verifikasi *coriolis flow meter*, sebagai berikut :



Gambar 3.38 Grafik kalibrasi *coriolis flow meter*

3.3.2.4 Pengukuran volume

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

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

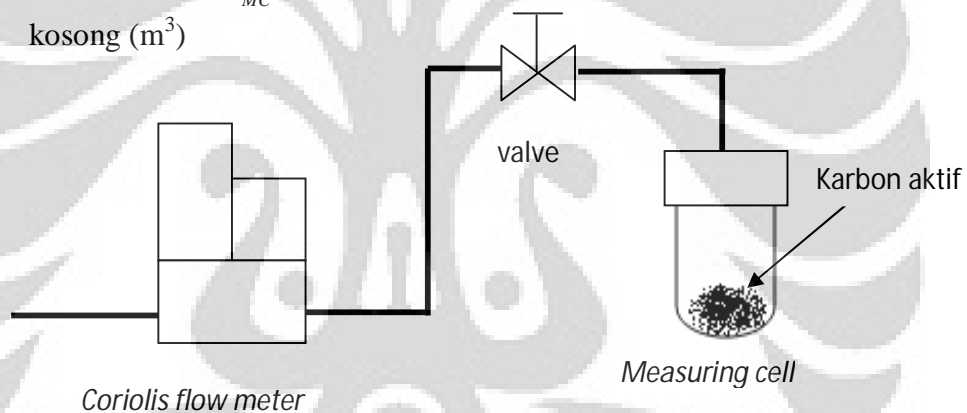
1. Pengukuran volume kosong *measuring cell* (bejana bertekanan)

Pada *measuring cell* (bejana bertekanan) terdapat karbon aktif sebagai adsorben. Volume kosong dari *measuring cell* (bejana bertekanan) adalah volume total dari ruang kosong yang terdapat pada *measuring cell* (bejana bertekanan).

$$V_{kosong} = V_{MC} - V_{ruang\ yang\ terisi\ adsorben} + V_{pori-pori\ adsorben}$$

Keterangan: V_{kosong} : volume *measuring cell* (bejana bertekanan) yang berisi adsorben (m^3)

V_{MC} : volume *measuring cell* (bejana bertekanan) kosong (m^3)



Gambar 3.39 Skema proses pengukuran volume *measuring cell* (bejana bertekanan)

Prosedur pencarian volume kosong *measuring cell* (bejana bertekanan), yaitu:

- a. Mengatur temperatur yang diinginkan, yaitu $31-32^{\circ}C$ dan tekanan yang akan diisi di *measuring cell* (bejana bertekanan), yaitu 4 bar dan 5 bar.
- b. Mengisi *measuring cell* (bejana bertekanan) dengan gas He dengan cara membuka valve *solenoid valve* dan mengalirkan gas He ke dalam alat tersebut yang sebelumnya melewati *coriolis flow meter* hingga

pressure yang diinginkan hingga mass flow. Setelah itu, mencatat atau disimpan mass flow di *coriolis flow meter* dan tekanan di *measuring cell* (bejana bertekanan) di komputer.

$$m_{mc} = \dot{m}_{CFM} \times t \quad (3.1)$$

Keterangan: m_{mc} : massa gas He didalam *measuring cell* (bejana bertekanan) (gram)

\dot{m}_{CFM} : laju aliran massa gas He di CFM (gram/detik)

t : waktu (detik)

- c. Tunggu hingga mass flow yang mengalir di *coriolis flow meter* ke dalam tabung tidak mengalir lagi atau 0. Maka akan diketahui volume kosong *measuring cell* dengan persamaan:

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

Keterangan: $\rho_{(P,T)}$: density gas He pada tekanan dan tempertur yang diambil.

Tabel 3.2 Data pengukuran volume kosong *measuring cell* (bejana bertekanan)

Tekanan (bar)	Volume (mL)
4	4334.85
	4177.43
	4293.84
5	4971.15
	4641.86
	5413.74

Volum Rata-rata Tabung (mL)	4638.811667
-----------------------------	-------------

Jadi,

$$V_{void} = V_{adsorben} + V_{tabung} + V_{pipa}$$

$$V_{void} = 942.4293 + 4638.811667 + 2.00973$$

$$V_{void} = 5583.250697 \text{ mL}$$

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 3.40 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 akhirnya 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.



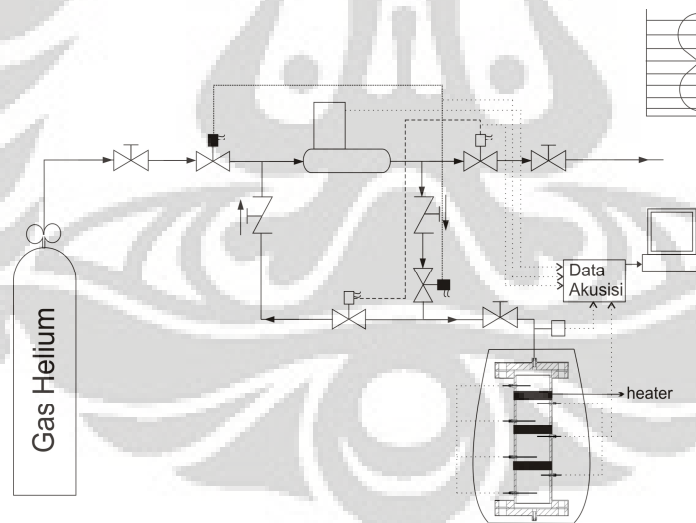
Gambar 3.41 Proses dry sorbent dan control panel untuk menjaga temperatur

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 3.42
Skematik Proses
Degassing

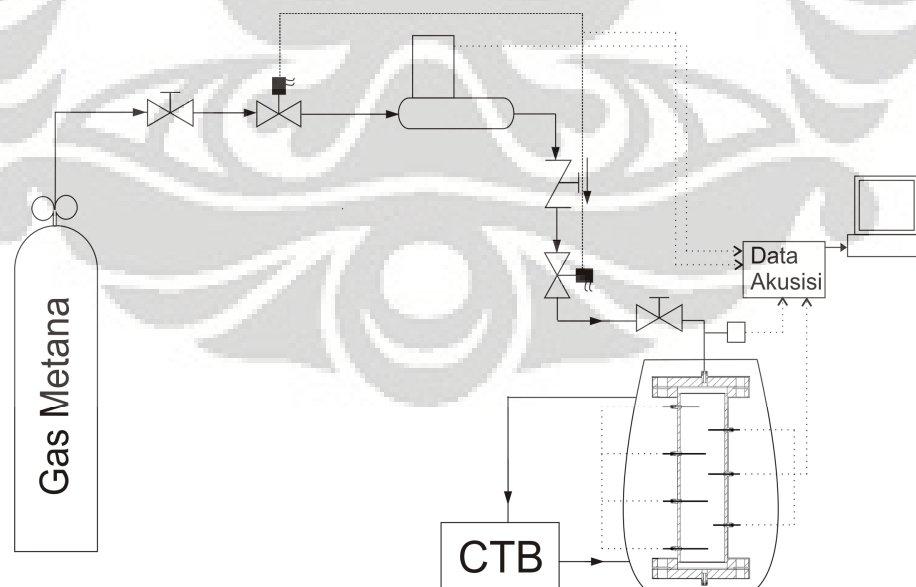
3.5 Proses Adsorpsi

Berikut ini adalah prosedur pengujian karakteristik adsorpsi isothermal:

1. Pengujian dimulai dengan melakukan proses degassing.

2. Circulating thermal bath (CTB) dioperasikan untuk menaikkan dan kemudian menjaga temperatur pada *measuring cell* (bejana bertekanan) konstan $30 \pm 0.1^\circ\text{C}$.
3. Setelah temperatur pada *measuring cell* (bejana bertekanan) mencapai 30°C dan konstan pada temperatur tersebut, *solenoid valve charge* dibuka dengan menggunakan kendali data akuisisi dari komputer sehingga adsorbat (CH_4) masuk menuju *measuring cell* (bejana bertekanan) sampai pada tekanan adsorpsi 3.5 MPa dan bila melebihi batas tersebut maka secara otomatis *solenoid valve* akan tertutup sendirinya.
4. 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 tekanan dan temperatur stabil berarti proses adsorpsi sudah berakhir.

Setelah proses selesai dilakukan, data tekanan, temperatur dan *flow rate* ketika pengujian akan tercatat pada komputer. Data tersebut dianalisis dengan menggunakan persamaan kesetimbangan massa yang telah dibahas pada BAB II. Dari hasil akan diperoleh data kapasitas dan penyerapan maksimum pada tekanan adsorpsi dan temperatur 30°C .



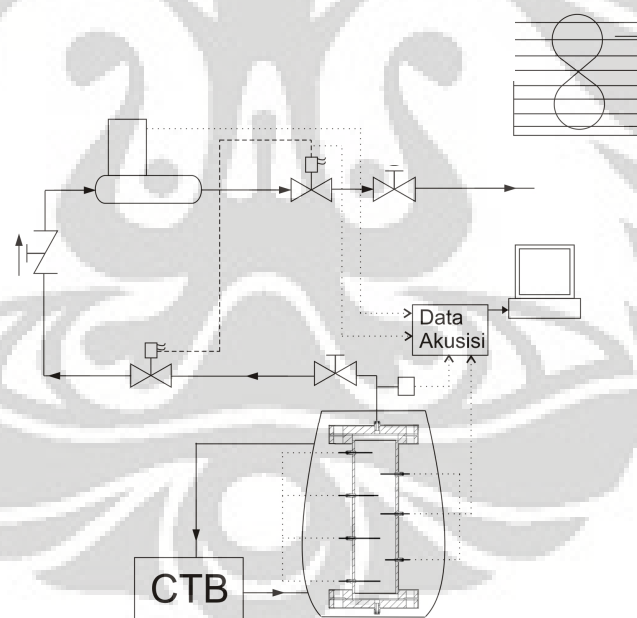
Gambar 3.43 Skematik Proses Adsorpsi

3.6 Proses Desorpsi

Berikut ini adalah prosedur pengujian karakteristik desorpsi isothermal:

1. Membuka katup *solenoid valve* discharging melalui data akusisi yang telah diprogram kerjanya dan akan mengalir melewati *coriolis flow meter* sehingga dapat diketahui aliran massanya.
2. Gas Metana (CH_4) yang tidak terserap oleh karbon aktif akan terbuang melalui jalur *outlet* pipa keluar ke lingkungan dan exhaust fan yang telah dinyalakan akan membantu proses keluaran gas Metana (CH_4) baik didalam ruangan penelitian atau jalur *outlet* pipa.
3. Tunggu hingga tekanan yang berada di *measuring cell* (bejana bertekanan) turun dan stabil.

Proses pembuangan disertai dengan penurunan temperatur yang berarti proses endoterm dan penurunan tekanan, hingga keadaan stabil, maka proses berakhir.



Gambar 3.44 Skematik Proses Desorpsi

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

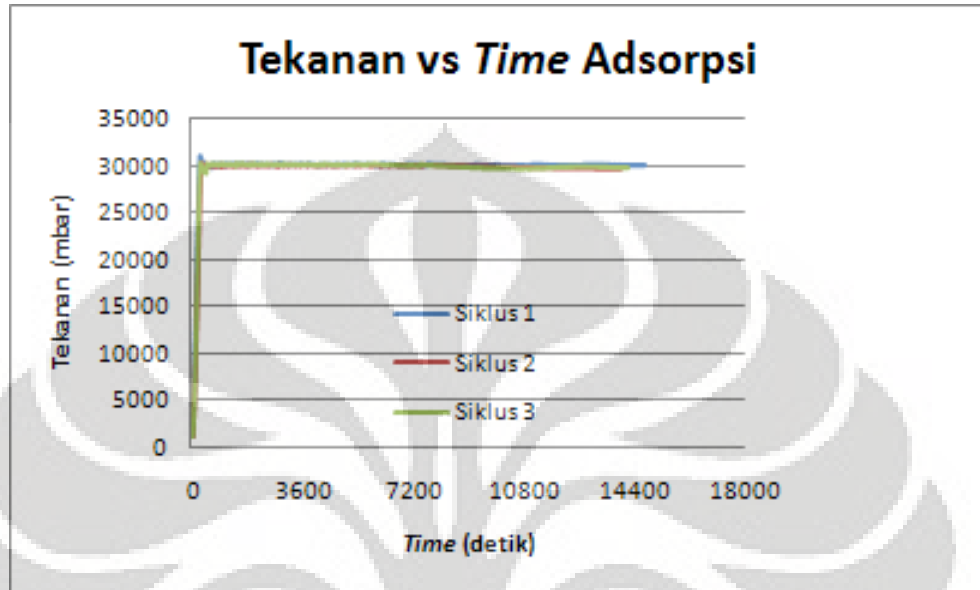
4.1 Pengulangan Data (*Repeatibility*)

Penelitian mengenai adsorpsi-desorpsi isothermal gas Metana pada adsorben merupakan penelitian yang bertujuan untuk mendapatkan suatu nilai kapasitas penyerapan yang dimiliki adsorben akibat efek proses *cycling* yang digunakan pada tekanan dan temperatur tertentu. Hal ini dapat ditunjukkan dengan melakukan pengulangan (*repeatibility*) pengambilan data untuk kondisi yang hampir sama. Namun untuk melakukan pengulangan tersebut cukup sulit dalam memberikan perlakuan yang benar-benar sama khususnya pada pengukuran tekanan dan kondisi isothermal pada air.

Proses pengambilan data diawali dengan mengkondisikan sistem berada keadaan isothermal pada *measuring cell* (bejana bertekanan) pada temperatur 30°C dengan nilai toleransi $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ dan juga pada tekanan pengukuran yang akan dilakukan yaitu 30 bar dengan nilai toleransi ± 100 mbar serta penentuan nilai *mass flow* berdasarkan bukaan *needle valve* dengan sudut bukaan 120° . Dengan melakukan perlakuan yang sama tersebut diharapkan dapat menghasilkan data yang dapat dipertanggungjawabkan sesuai dengan eksperimen. Berikut ini merupakan grafik pengulangan data dengan 3 siklus pada tekanan 30 bar setelah dilakukan eksekusi.

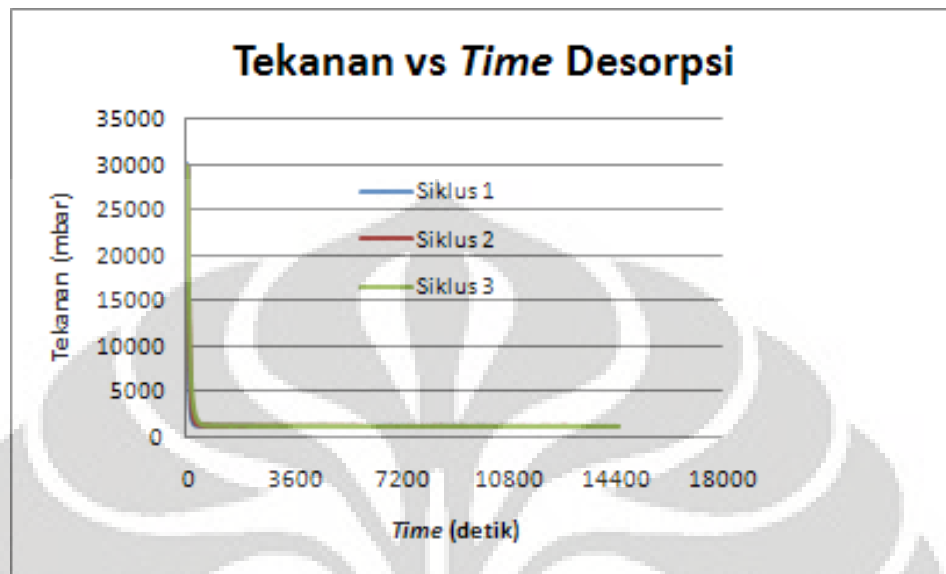
Berikut ini adalah grafik data adsorpsi-desorpsi gas Metana dengan melakukan percobaan sebanyak 3 siklus, sebagai berikut:

4.1.1 Hubungan Tekanan terhadap Waktu pada Proses Adsorpsi-Desorpsi gas Metana 3 Siklus



Gambar 4.1 Grafik Tekanan vs Time Proses Adsorpsi 3 Siklus

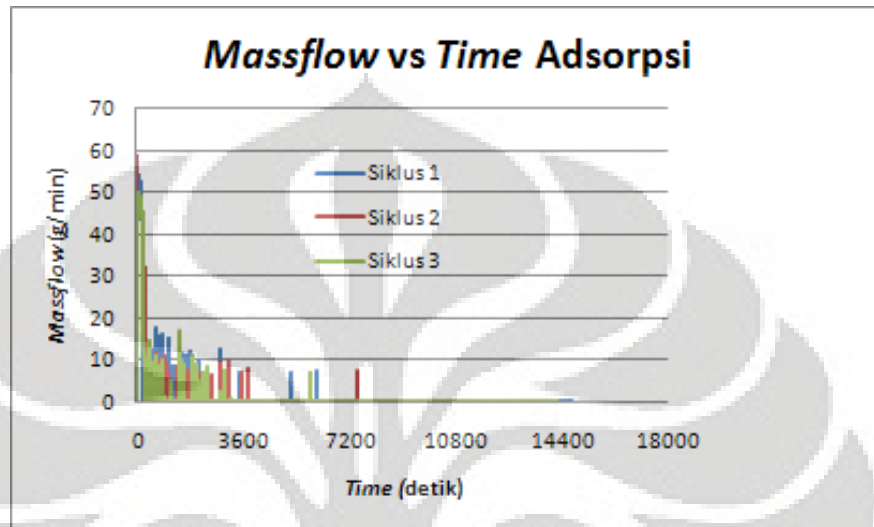
Dari grafik diatas terlihat bahwa tekanan yang diinginkan pada siklus pertama, siklus kedua dan siklus ketiga yaitu stabil/konstan sebesar 30 bar akan tetapi dari grafik diatas ada kecenderungan naik turun. Kecenderungan naik dikarenakan pada proses bukaan pada *needle valve* yang manual sehingga tidak sesuai yang tekanan 30 bar. Sedangkan kecenderungan turun dikarenakan terjadi proses adsorpsi pada adsorben. Bila tekanan konstan 30 bar menandakan proses adsorpsi berakhir.



Gambar 4.2 Grafik Tekanan vs Time Proses Desorpsi 3 Siklus

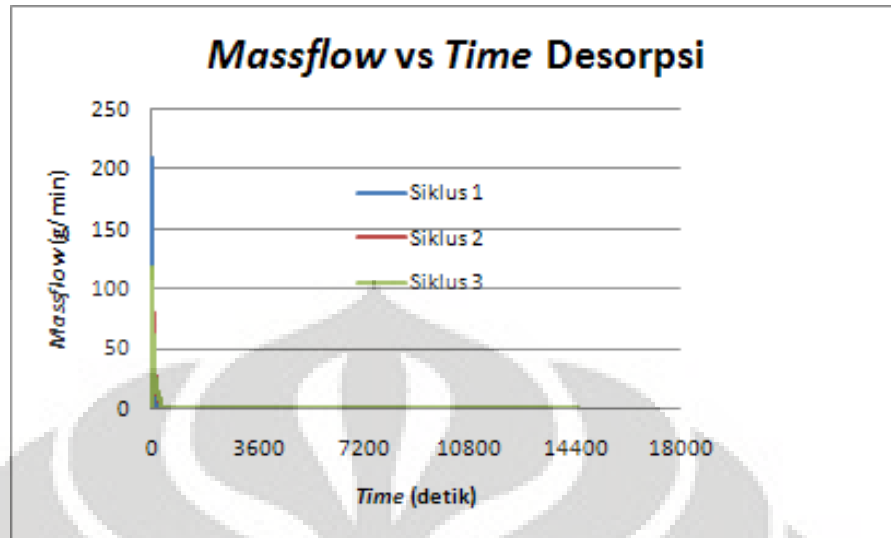
Dari grafik diatas terlihat bahwa pada proses desorpsi tekanan pada siklus pertama, siklus kedua dan siklus ketiga mengalami penurunan secara drastis dari tekanan konstan 30 bar dikarenakan tekanan yang berada didalam tabung dikeluarkan hingga tekanan didalam tabung sama dengan tekanan lingkungannya sehingga hal itu menandakan proses desorpsi berakhir.

4.1.2 Hubungan *Massflow* terhadap Waktu pada Proses Adsorpsi-Desorpsi gas Metana 3 Siklus



Gambar 4.3 Grafik *Massflow vs Time* Proses Adsorpsi 3 Siklus

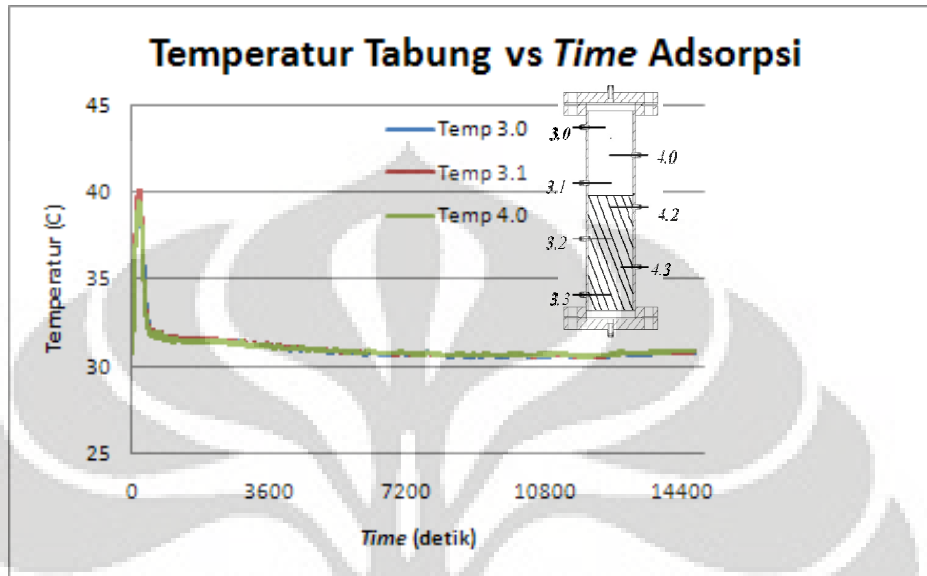
Dari grafik diatas terlihat bahwa terjadi banyak variasi *massflow* pada siklus pertama, siklus kedua dan siklus ketiga dengan kenaikan *massflow* sebesar ± 60 g/min. Hal itu dikarenakan terletak pada bukaan *needle valve* yang dibuka secara manual. Proses bukaan tersebut dilakukan bila tekanan didalam tabung yang konstan 30 bar mengalami pengurangan akibat proses adsorpsi di adsorben. Bila *massflow* sudah tidak mengalami perubahan maka menandakan bahwa proses adsorpsi berakhir.



Gambar 4.4 Grafik Massflow vs Time Proses Desorpsi 3 Siklus

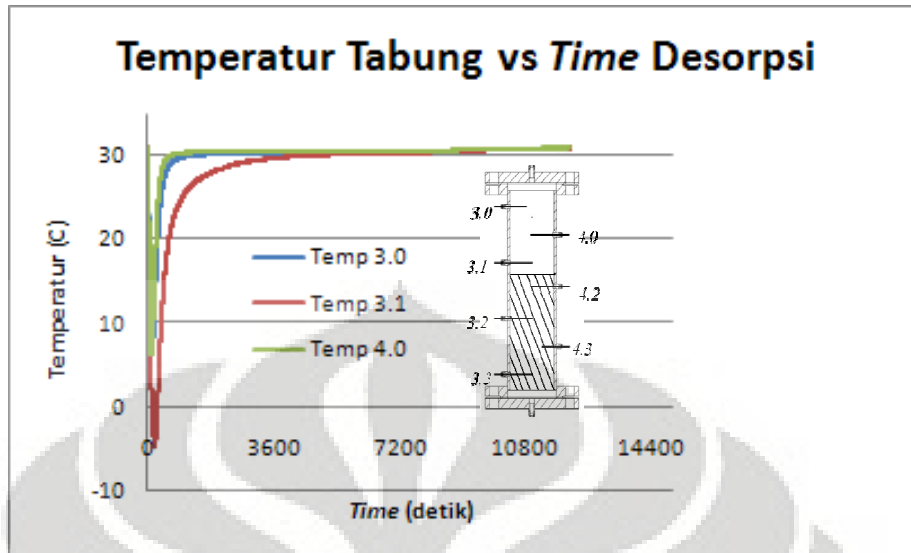
Dari grafik diatas terlihat bahwa *massaflow* pada siklus pertama, siklus kedua dan siklus ketiga mengalami kenaikan cukup tinggi sebesar ± 220 g/min dengan waktu yang cukup singkat dan terus mengalami penurunan hingga gas yang berada ditabung memiliki tekanan yang sama dengan tekanan yang berada dilingkungan sehingga hal itu menandakan bahwa proses desorpsi berakhir.

4.1.3 Hubungan Temperatur Tabung terhadap Waktu pada Proses Adsorpsi-Desorpsi gas Metana 3 Siklus



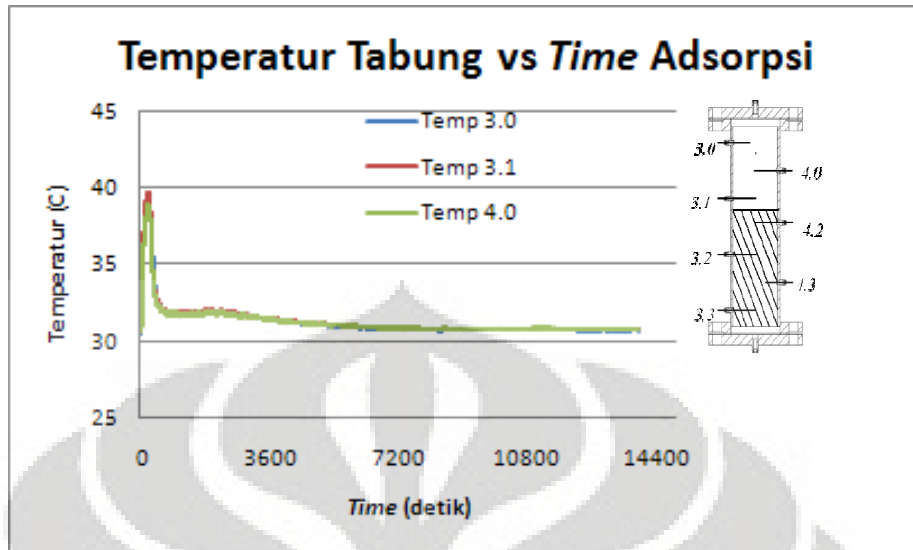
Gambar 4.5 Grafik Temperatur Tabung vs Time Proses Adsorpsi Siklus 1

Dari grafik diatas terlihat bahwa setiap titik termokopel terdapat perbedaan temperatur yang sedikit berbeda pada saat kenaikan mendekati temperatur 40°C . Hal itu dikarenakan adsorben sedang mengalami proses adsorpsi sehingga panas didalam adsorben akan keluar menjauhi adsorben sehingga termokopel yang berada dekat dengan adsorben akan mengalami kenaikan yang cukup tinggi sesuai dengan kedekatan termokopel terhadap adsorben. Selain itu kenaikan tekanan juga mengakibatkan temperatur menjadi naik sesuai hukum gas ideal. Akan tetapi, temperatur Ketiga termokopel akan sama dengan temperatur air sejalan dengan waktu bila tidak ada penambahan tekanan. Jadi dalam hal ini posisi termokopel sangat mempengaruhi, sehingga dapat diurutkan posisi termokopel dari terdekat dengan adsorben yaitu termokopel 3.1, termokopel 4.0 dan termokopel 3.0. Bila temperatur disetiap termokopel tidak mengalami perubahan/konstan maka menandakan bahwa proses adsorpsi berakhir.



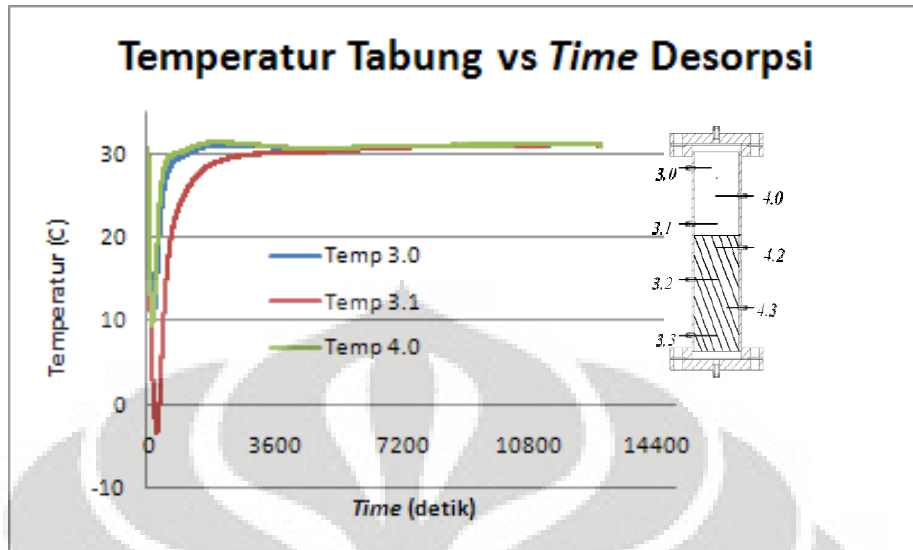
Gambar 4.6 Grafik Temperatur Tabung vs Time Proses Desorpsi Siklus 1

Dari grafik diatas terlihat bahwa pada proses desorpsi maka temperatur mengalami penurunan secara drastis dari temperatur 30°C menuju temperatur ± 8 °C untuk termokopel 3.0, temperatur 30 °C menuju temperatur ± 5 °C untuk termokopel 3.1 dan temperatur 30 °C menuju temperatur ± 5 °C untuk termokopel 4.0. Hal itu dikarenakan tekanan mengalami penurunan, selain itu juga posisi termokopel yang dekat dengan adsorben yaitu termokopel 3.1 juga sangat berpengaruh karena temperatur adsorben bila mengalami desorpsi maka temperatur dari adsorben akan turun sangat drastis dan akan kembali lagi sesuai dengan temperatur isothermalnya karena proses desorpsi berakhir.



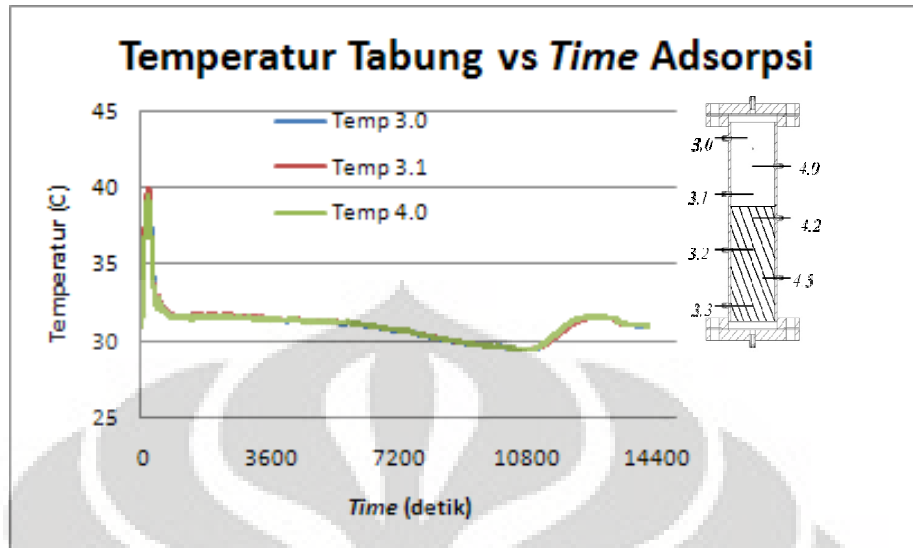
Gambar 4.7 Grafik Temperatur Tabung vs Time Proses Adsorpsi Siklus 2

Dari grafik diatas terlihat bahwa ketiga termokopel dengan posisi yang berbeda mempunyai kenaikan temperatur yang sama $\pm 40^{\circ}\text{C}$ karena tekanan pada ruang kosong pada tabung mencapai suatu titik temperatur yang sama pada waktu yang sama terus hingga temperatur sesuai dengan temperatur isotermalnya dan juga menandakan bahwa proses adsorpsi telah berakhir.



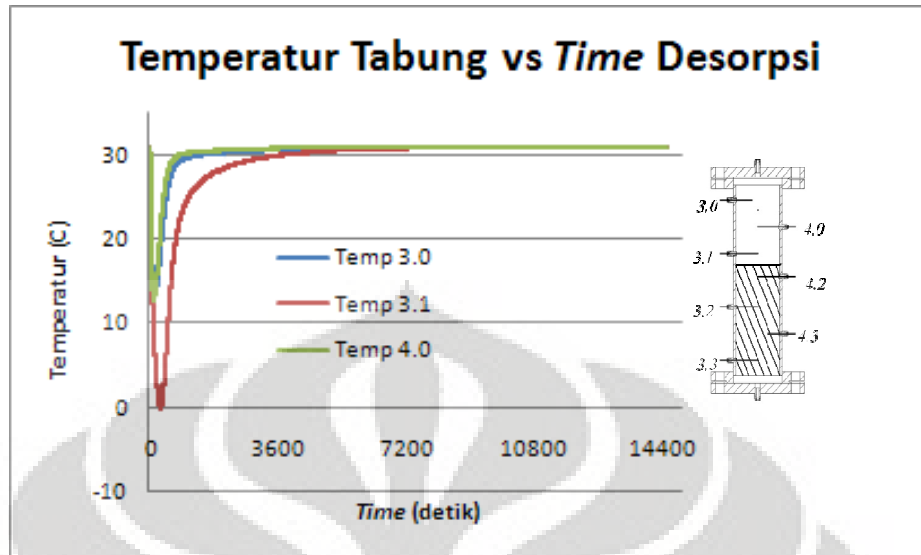
Gambar 4.8 Grafik Temperatur Tabung vs Time Proses Desorpsi Siklus 2

Dari grafik diatas terlihat bahwa pada proses desorpsi maka temperatur mengalami penurunan secara drastis dari temperatur 30°C menuju temperatur ± 11 °C untuk termokopel 3.0, temperatur 30 °C menuju temperatur ± 3 °C untuk termokopel 3.1 dan temperatur 30 °C menuju temperatur ± 10 °C untuk termokopel 4.0. Hal itu dikarenakan tekanan mengalami penurunan, selain itu juga posisi termokopel yang dekat dengan adsorben yaitu termokopel 3.1 juga sangat berpengaruh karena temperatur adsorben bila mengalami desorpsi maka temperatur dari adsorben akan turun sangat drastis dan akan kembali lagi sesuai dengan temperatur isothermalnya karena proses desorpsi berakhir.



Gambar 4.9 Grafik Temperatur Tabung vs Time Proses Adsorpsi Siklus 3

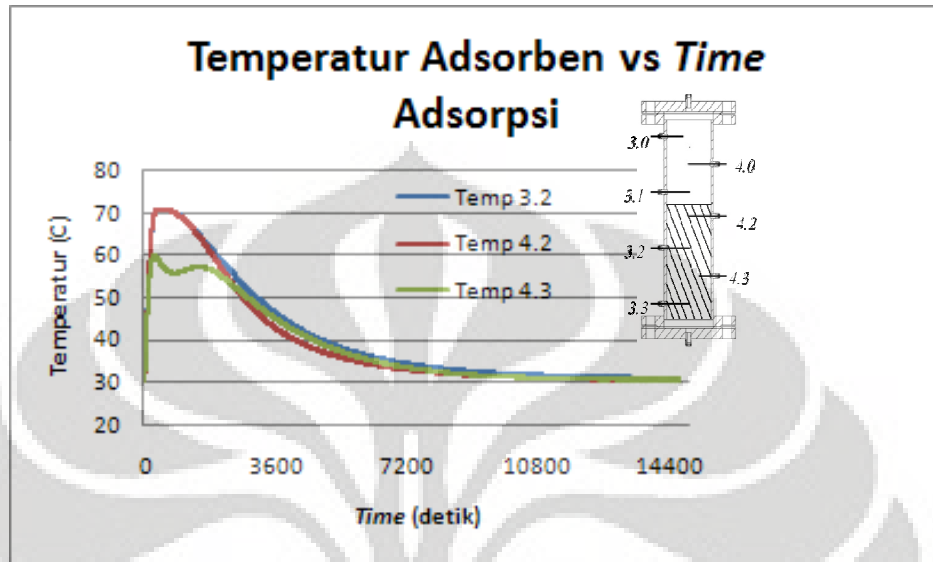
Dari grafik diatas terlihat bahwa pembacaan temperatur ketiga termokopel tersebut menunjukkan temperatur sama yaitu $\pm 40^{\circ}\text{C}$ dan sesuai dengan apa yang terjadi bila terjadi proses adsorpsi. Akan tetapi terlihat jelas ada perbedaan pada saat temperatur pada ketiga termokopel tersebut untuk menyesuaikan dengan temperatur isothermal. Perbedaan yang sangat ekstrim tersebut dikarenakan ketidaksengajaan peneliti pada mensetup temperatur pada CTB untuk mengisotermalkan temperatur air. Bila temperatur tidak mengalami perubahan/konstan menandakan bahwa proses adsorpsi telah berakhir.



Gambar 4.10 Grafik Temperatur Tabung vs Time Proses Desorpsi Siklus 3

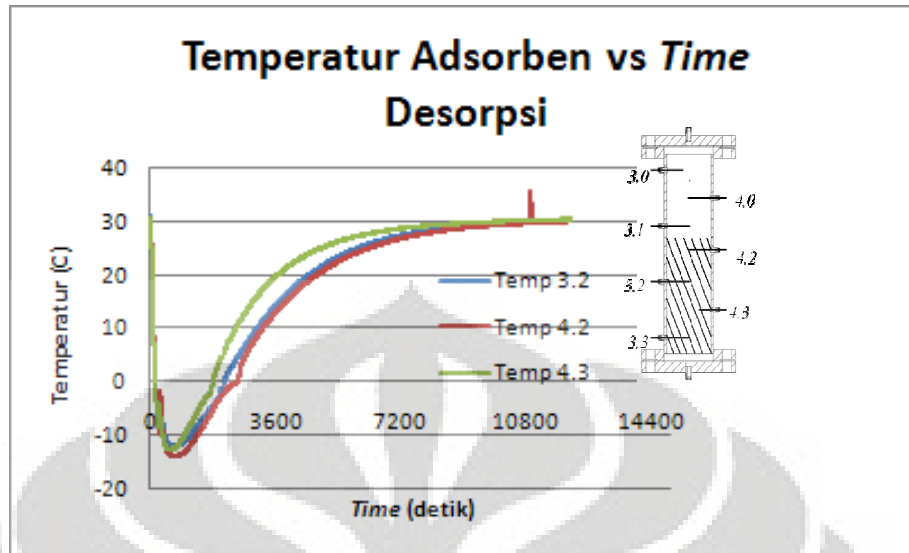
Dari grafik diatas terlihat bahwa pada proses desorpsi maka temperatur mengalami penurunan secara drastis dari temperatur 30°C menuju temperatur ± 12 °C untuk termokopel 3.0, temperatur 30 °C menuju temperatur ± 0 °C untuk termokopel 3.1 dan temperatur 30 °C menuju temperatur ± 12 °C untuk termokopel 4.0. Hal itu dikarenakan tekanan mengalami penurunan, selain itu juga posisi termokopel yang dekat dengan adsorben yaitu termokopel 3.1 juga sangat berpengaruh karena temperatur adsorben bila mengalami desorpsi maka temperatur dari adsorben akan turun sangat drastis dan akan kembali lagi sesuai dengan temperatur isothermalnya karena proses desorpsi berakhir.

4.1.4 Hubungan Temperatur Adsorben terhadap Waktu pada Proses Adsorpsi-Desorpsi gas Metana 3 Siklus



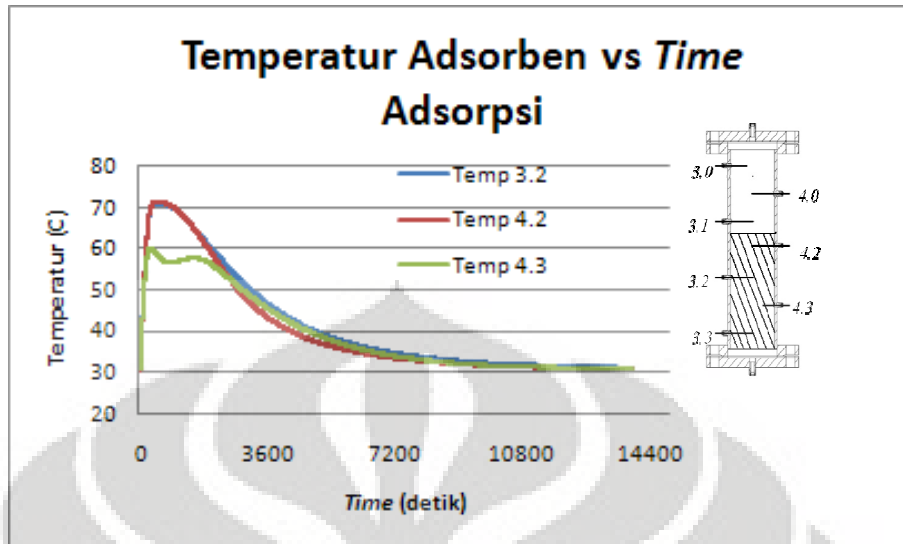
Gambar 4.11 Grafik Temperatur Adsorben vs Time Proses Adsorpsi Siklus 1

Dari grafik diatas terlihat bahwa termokopel 3.2 dan termokopel 4.2 menunjukkan kenaikan temperatur yang sama $\pm 70^{\circ}\text{C}$ akan tetapi pada penurunan temperatur terjadi perbedaan cukup sedikit karena dari dua kedua termokopel tersebut mendapat adsorbat hampir sama dalam waktu yang sama sehingga adsorben langsung melakukan proses adsorpsi sedangkan pada termokopel 4.3 mengalami proses adsorpsi yang cukup lama karena berada diposisi paling bawah. Selain itu di termokopel 4.3 ada perubahan temperatur yang cukup ekstrim dari $\pm 60^{\circ}\text{C}$ turun $\pm 58^{\circ}\text{C}$ terus naik kembali $\pm 57^{\circ}\text{C}$ dan turun kembali secara bertahap hingga pada suatu temperatur tertentu karena gas bertekanan lambat mengalir ke adsorben bagian paling bawah akibat dari adsorben yang menumpuk diatas sehingga pada saat proses adsorpsi ada proses berhenti sebentar lalu akan melakukan proses lagi hingga adsorben mendapat gas bertekanan dari atas hingga mencapai limit kemampuan adsorbennya. Bila temperatur pada setiap termokopel mencapai suatu titik temperatur yang sama/konstan maka menandakan proses adsorpsi berakhir.



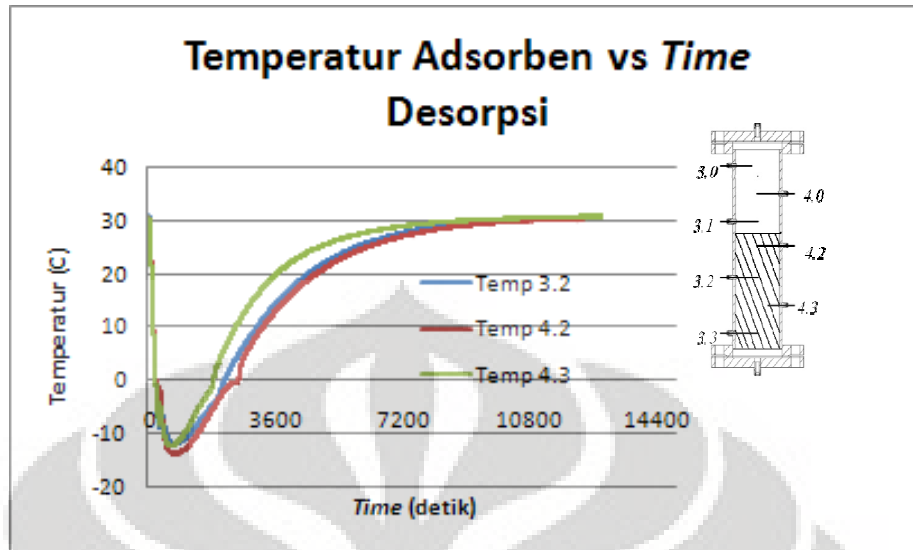
Gambar 4.12 Grafik Temperatur Adsorben vs Time Proses Desorpsi Siklus 1

Dari grafik diatas terlihat bahwa posisi ketiga termokopel memiliki grafik yang hampir sama dengan temperatur $\pm 13^{\circ}\text{C}$ tetapi berbeda jaraknya karena tergantung dari posisi adsorbennya tersebut. Selain itu ada fenomena garis turun lalu naik dengan ekstrim dalam waktu singkat lalu turun kembali. Hal itu dikarenakan, pada proses desorpsi ada sebagian adsorben mengalami peristiwa eksoterm lalu secara cepat endoterm lagi sebabnya adalah ada yang sebagian adsorben melakukan proses adsorpsi tetapi kembali lagi melakukan proses desorpsi. Sedangkan ada garis seperti patah karena proses desorpsi untuk mencapai kenaikan temperatur 0°C cukup lama bagi adsorben dan dengan seiring waktu akan mencapai temperatur isothermalnya sehingga menandakan bahwa proses desorpsi berakhir.



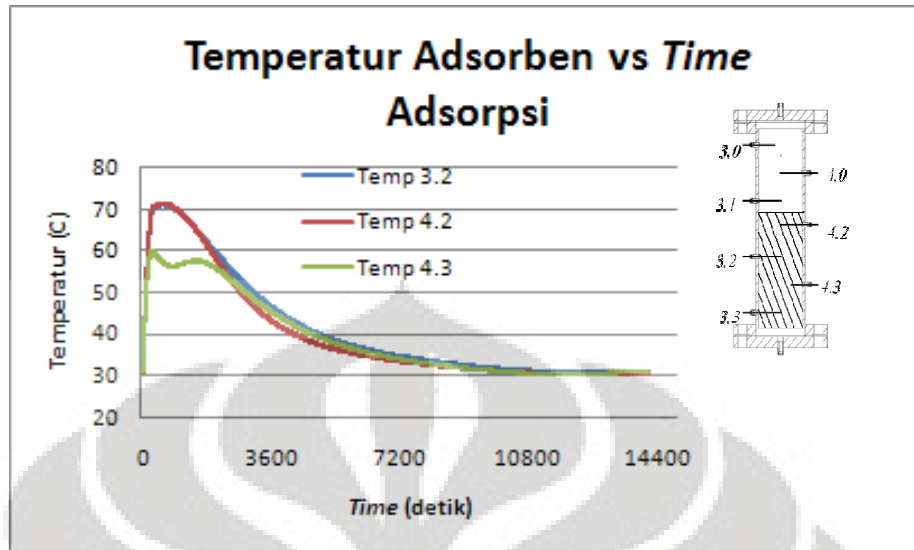
Gambar 4.13 Grafik Temperatur Adsorben vs Time Proses Adsorpsi Siklus 2

Dari grafik diatas terlihat bahwa termokopel 3.2 dan termokopel 4.2 menunjukkan kenaikan temperatur yang sama $\pm 70^{\circ}\text{C}$ akan tetapi pada penurunan temperatur terjadi perbedaan cukup sedikit karena dari dua kedua termokopel tersebut mendapat adsorbat hampir sama dalam waktu yang sama sehingga adsorben langsung melakukan proses adsorpsi sedangkan pada termokopel 4.3 mengalami proses adsorpsi yang cukup lama karena berada diposisi paling bawah. Selain itu di termokopel 4.3 ada perubahan temperatur yang cukup ekstrim dari $\pm 60^{\circ}\text{C}$ turun $\pm 58^{\circ}\text{C}$ terus naik kembali $\pm 57^{\circ}\text{C}$ dan turun kembali secara bertahap hingga pada suatu temperatur tertentu karena gas bertekanan lambat mengalir ke adsorben bagian paling bawah akibat dari adsorben yang menumpuk diatas sehingga pada saat proses adsorpsi ada proses berhenti sebentar lalu akan melakukan proses lagi hingga adsorben mendapat gas bertekanan dari atas hingga mencapai limit kemampuan adsorbennya. Bila temperatur pada setiap termokopel mencapai suatu titik temperatur yang sama/konstan maka menandakan proses adsorpsi berakhir.



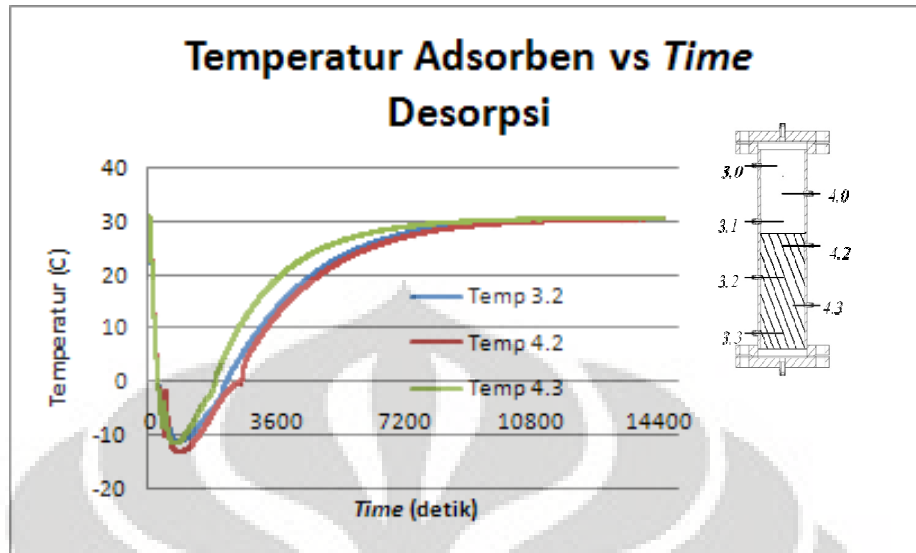
Gambar 4.14 Grafik Temperatur Adsorben vs Time Proses Desorpsi Siklus 2

Dari grafik diatas terlihat bahwa posisi ketiga termokopel memiliki grafik yang hampir sama dengan temperatur $\pm 12^{\circ}\text{C}$ tetapi berbeda jaraknya karena tergantung dari posisi adsorbennya tersebut. Selain itu ada fenomena garis turun lalu naik dengan ekstrim dalam waktu singkat lalu turun kembali. Hal itu dikarenakan, pada proses desorpsi ada sebagian adsorben mengalami peristiwa eksoterm lalu secara cepat endoterm lagi sebabnya adalah ada yang sebagian adsorben melakukan proses adsorpsi tetapi kembali lagi melakukan proses desorpsi. Sedangkan ada garis seperti patah karena proses desorpsi untuk mencapai kenaikan temperatur 0°C cukup lama bagi adsorben dan dengan seiring waktu akan mencapai temperatur isothermalnya sehingga menandakan bahwa proses desorpsi berakhir.



Gambar 4.15 Grafik Temperatur Adsorben vs Time Proses Adsorpsi Siklus 3

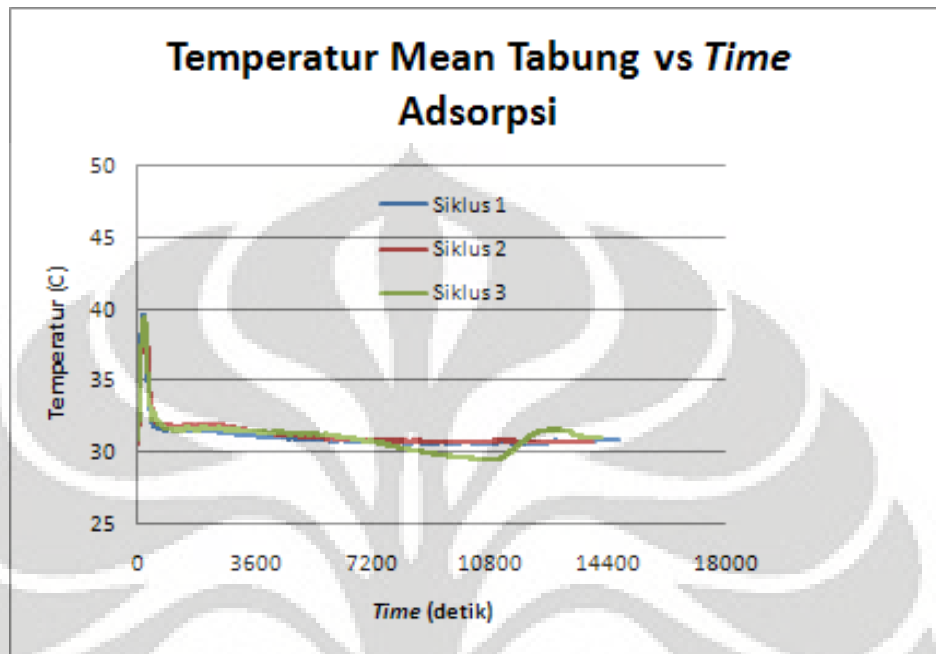
Dari grafik diatas terlihat bahwa termokopel 3.2 dan termokopel 4.2 menunjukkan kenaikan temperatur yang sama $\pm 71^{\circ}\text{C}$ akan tetapi pada penurunan temperatur terjadi perbedaan cukup sedikit karena dari dua kedua termokopel tersebut mendapat adsorbat hampir sama dalam waktu yang sama sehingga adsorben langsung melakukan proses adsorpsi sedangkan pada termokopel 4.3 mengalami proses adsorpsi yang cukup lama karena berada diposisi paling bawah. Selain itu di termokopel 4.3 ada perubahan temperatur yang cukup ekstrim dari $\pm 60^{\circ}\text{C}$ turun $\pm 58^{\circ}\text{C}$ terus naik kembali $\pm 57^{\circ}\text{C}$ dan turun kembali secara bertahap hingga pada suatu temperatur tertentu karena gas bertekanan lambat mengalir ke adsorben bagian paling bawah akibat dari adsorben yang menumpuk diatas sehingga pada saat proses adsorpsi ada proses berhenti sebentar lalu akan melakukan proses lagi hingga adsorben mendapat gas bertekanan dari atas hingga mencapai limit kemampuan adsorbennya. Bila temperatur pada setiap termokopel mencapai suatu titik temperatur yang sama/konstan maka menandakan proses adsorpsi berakhir.



Gambar 4.16 Grafik Temperatur Adsorben vs Time Proses Desorpsi Siklus 3

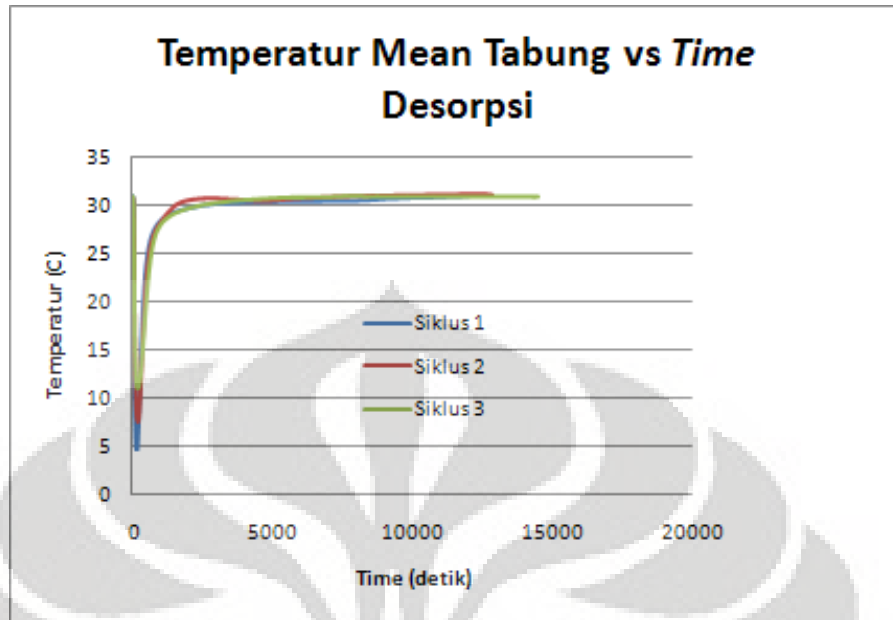
Dari grafik diatas terlihat bahwa posisi ketiga termokopel memiliki grafik yang hampir sama dengan temperatur $\pm 11^{\circ}\text{C}$ tetapi berbeda jaraknya karena tergantung dari posisi adsorbennya tersebut. Selain itu ada fenomena garis turun lalu naik dengan ekstrim dalam waktu singkat lalu turun kembali. Hal itu dikarenakan, pada proses desorpsi ada sebagian adsorben mengalami peristiwa eksoterm lalu secara cepat endoterm lagi sebabnya adalah ada yang sebagian adsorben melakukan proses adsorpsi tetapi kembali lagi melakukan proses desorpsi. Sedangkan ada garis seperti patah karena proses desorpsi untuk mencapai kenaikan temperatur 0°C cukup lama bagi adsorben dan dengan seiring waktu akan mencapai temperatur isothermalnya sehingga menandakan bahwa proses desorpsi berakhir.

4.1.5 Hubungan Temperatur Mean Tabung terhadap Waktu pada Proses Adsorpsi-Desorpsi gas Metana 3 Siklus



Gambar 4.17 Grafik Temperatur Mean Tabung vs Time Proses Adsorpsi 3 Siklus

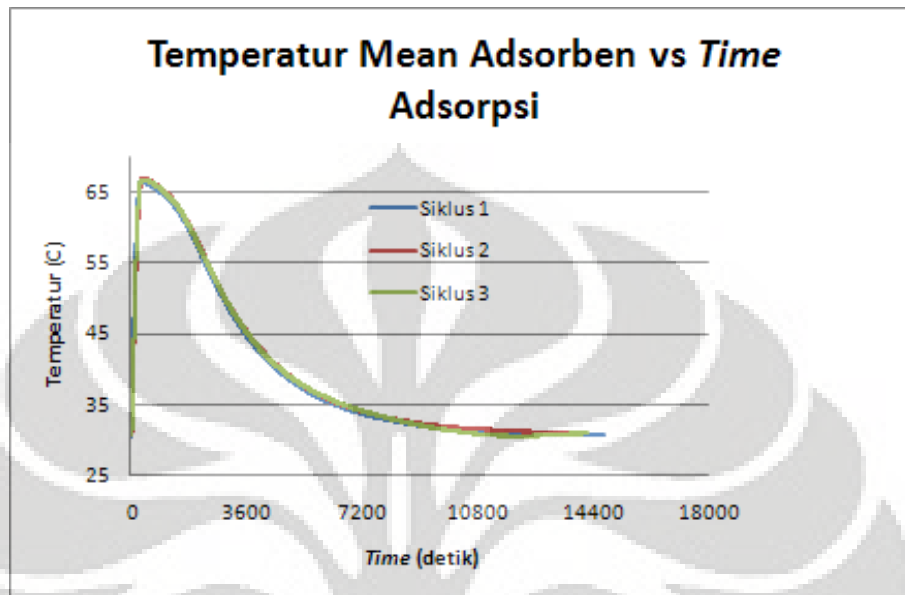
Dari grafik diatas terlihat bahwa temperatur cenderung naik turun seiring dengan perubahan waktu pada siklus pertama, siklus kedua dan siklus ketiga dengan temperatur kenaikan yang sama $\pm 40^{\circ}\text{C}$. Hal itu dikarenakan, pada saat tekanan yang dimasukkan tinggi maka temperatur akan tinggi didalam tabung dan juga sebaliknya sesuai dengan hukum gas ideal. Kenaikan tekanan yang tidak stabil dikarenakan dalam proses bukaan *needle valve* yang tidak sesuai karena manual dan kenaikan tekanan yang ingin dicapai konstan 30 bar jadi bila ada pengurangan maka ditambah tekanannya tersebut. Lalu akan turun hingga pada temperatur menunjukkan temperatur tertentu dan tidak mengalami perubahan sehingga hal itu menandakan bahwa proses adsorpsi berakhir. Akan tetapi, pada siklus ketiga mengalami ketidakstabilan temperatur pada saat ingin mencapai berakhirnya proses adsorpsi dikarenakan peneliti melakukan kesalahan mensetup *Circulating Thermal Bath* untuk keadaan isothermalnya.



Gambar 4.18 Grafik Temperatur Mean Tabung vs Time Proses Desorpsi 3 Siklus

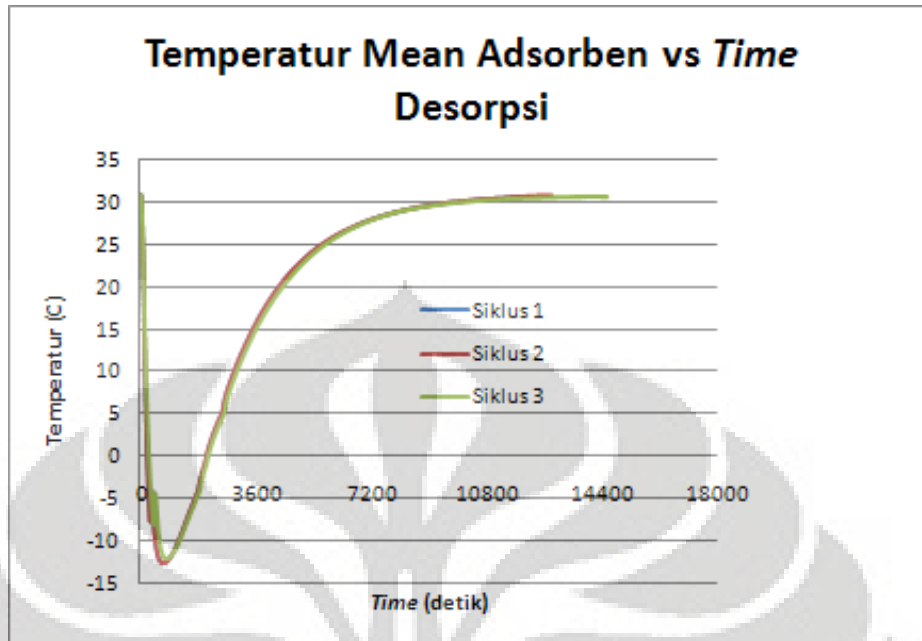
Dari grafik diatas terlihat bahwa temperatur rata-rata pada tabung pada siklus pertama, siklus kedua dan siklus ketiga mengalami penurunan dari temperatur 30°C menuju 5°C karena adanya proses desorpsi dengan penurunan tekanan sehingga mengakibatkan temperatur menjadi turun hingga temperatur stabil sesuai dengan kondisi isothermalnya dan menandakan bahwa proses desorpsi telah berakhir.

4.1.6 Hubungan Temperatur Mean Adsorben terhadap Waktu pada Proses Adsorpsi-Desorpsi gas Metana 3 Siklus



Gambar 4.19 Grafik Temperatur Mean Adsorben vs Time Proses Adsorpsi 3 Siklus

Dari grafik diatas terlihat bahwa terjadi kenaikan temperatur $\pm 67^{\circ}\text{C}$ pada siklus pertama, siklus kedua dan siklus ketiga akibat heat adsorption dari adsorbennya. Selain itu juga ada kenaikan tekanan yang dimana kenaikan tekanan mengakibatkan kenaikan temperatur. Dan temperatur akan turun mengikuti temperatur isothermal air dan akan stabil pada temperatur tertentu sehingga menandakan bahwa proses adsorpsi berakhir.



Gambar 4.20 Grafik Temperatur Mean Adsorben vs Time Proses Desorpsi 3 Siklus

Dari grafik diatas terlihat bahwa pada proses desorpsi pada adsorben selain turunnya tekanan akibat dikeluarkannya gas ternyata memiliki efek yang lain yaitu temperatur menjadi turun. Hal ini sesuai dengan hukum gas ideal. Penurunan temperatur yang terjadi pada siklus pertama, siklus kedua dan siklus ketiga yaitu dari temperatur $\pm 30^{\circ}\text{C}$ menuju temperatur $\pm -13^{\circ}\text{C}$. lalu akan naik kembali pada suatu nilai temperatur tertentu dan akan stabil. Dari hal itu menandakan bahwa proses desorpsi berakhir.

4.2 Perhitungan Kapasitas Penyerapan Tiga Siklus

Untuk menghitung kapasitas dan laju penyerapan dengan metode isothermal memerlukan data tekanan dan temperatur per satuan waktu serta volume. Dari data tekanan dan temperatur yang telah diperoleh diatas dan volume serta waktu dan *massflow*.

Tabel 4.1 Data Hasil Eksperimen Tabung Berisi Karbon Aktif

Siklus	P(mbar)	T(°C)	M _{TOTA} ds(g)	M _{TOTD} es(g)	M _{tersa} ngkut(g)	Mads(g)	Mads(kg/kg)
1	29742.08	31.03	206.87	171.43	89.44	96.33	0.052
2	29564.68	31.21	206.50	183.32	166.62	96.73	0.053
3	29552.11	31.01	187.03	172.29	181.36	77.26	0.042

Tabel 4.2 Data Hasil Eksperimen Tabung Kosong

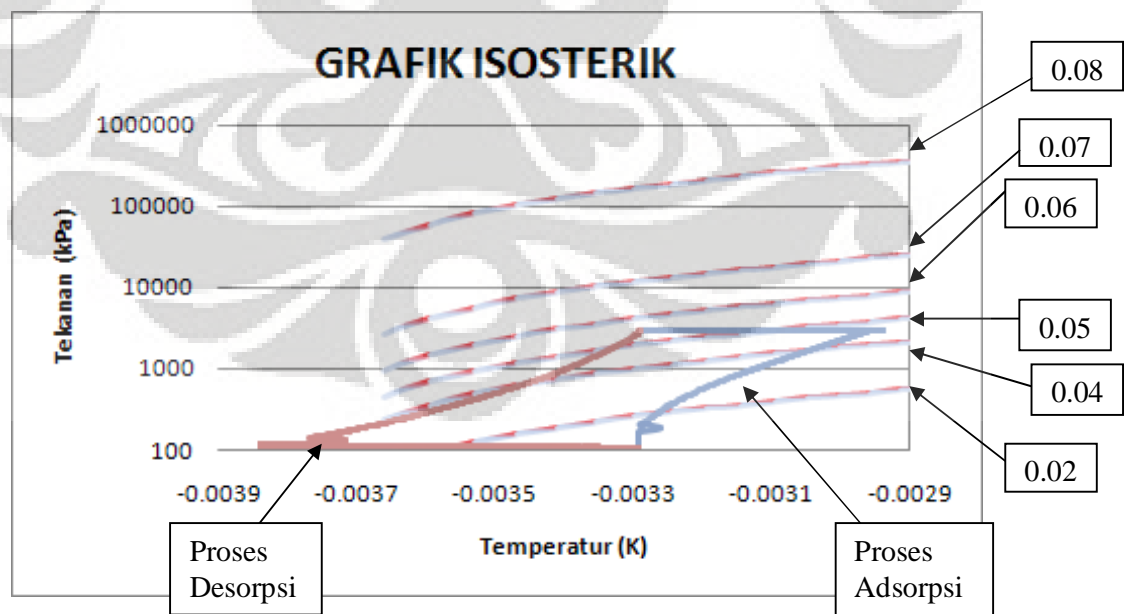
P(mbar)	T(°C)	Massa Metana(g)	Volume(L)
1	30	4.099254	6.4
30	30	128.9022	6.4
120	30	580.9248	6.4
200	30	979.1604	6.4

Dari kedua tabel diatas terlihat bahwa tabung berisi karbon aktif dapat menyimpan gas metana lebih banyak sebesar ± 206 gram daripada tabung kosong sebesar ± 129 gram dengan volume, tekanan dan temperatur sama. Hal itu dikarenakan, tabung berisi karbon aktif dimana volume karbon aktif (tidak termasuk volume poronya) yang dimasukkan menempati sebagian dari ruang kosong tabung sehingga volume total tabung berisi karbon aktif yaitu volume

karbon aktif ditambah ruang kosongnya dan akan sama dengan volume tabung kosong akan tetapi jumlah massa gas metana bertambah disebabkan dari adanya penambahan volume pore karbon aktif. Sehingga dapat dinyatakan bahwa pada tabung berisi karbon aktif terjadi proses adsorpsi dimana gas metana terserap pada volume pore karbon aktif dan menyebabkan jumlah massa gas metana ditabung lebih banyak daripada jumlah gas metana pada tabung kosong. Dari tabel 4.1 terlihat bahwa penyimpanan gas untuk beberapa siklus mengalami penurunan dalam penyimpanannya, hal itu dikarenakan adsorben memiliki batas penyimpanan akibat dari ada massa gas metana yang tersangkut di adsorben dan tidak bisa dilepas dengan kondisi temperatur rendah kecuali dilakukan proses degassing untuk mengeluarkan gas yang tersangkut di adsorben.

4.2 Hubungan Tekanan terhadap Temperatur pada Grafik Isosterik

Grafik isosterik merupakan grafik yang dibuat untuk mengetahui presentase kapasitas penyerapan adsorbat terhadap banyaknya adsorben yang digunakan. Di bawah ini merupakan grafik isosterik dengan hubungan tekanan terhadap temperature pada siklus kedua.



Gambar 4.21 Grafik Isosterik Proses Adsorpsi-Desorpsi Siklus 2

Dari grafik diatas terlihat bahwa kapasitas penyerapan terbesar terjadi pada proses adsorpsi dan akan mengalami penurunan pada proses desorpsi. Hal itu, dikarenakan pada proses adsorpsi adsorbat ditekan di tabung sehingga ada sebagian adsorbat yang diserap oleh adsorben sedangkan pada proses desorpsi, adsorbat dilepas dari tabung sebesar-besarnya. Pada siklus kedua ini kapasitas penyerapan terbesar mendekati angka 0.06 atau 6% berarti penyerapan adsorbat pada adsorben didalam tabung untuk jenis adsorben Carbotech cukup bagus untuk digunakan untuk *Adsorbed Natural Gas*.



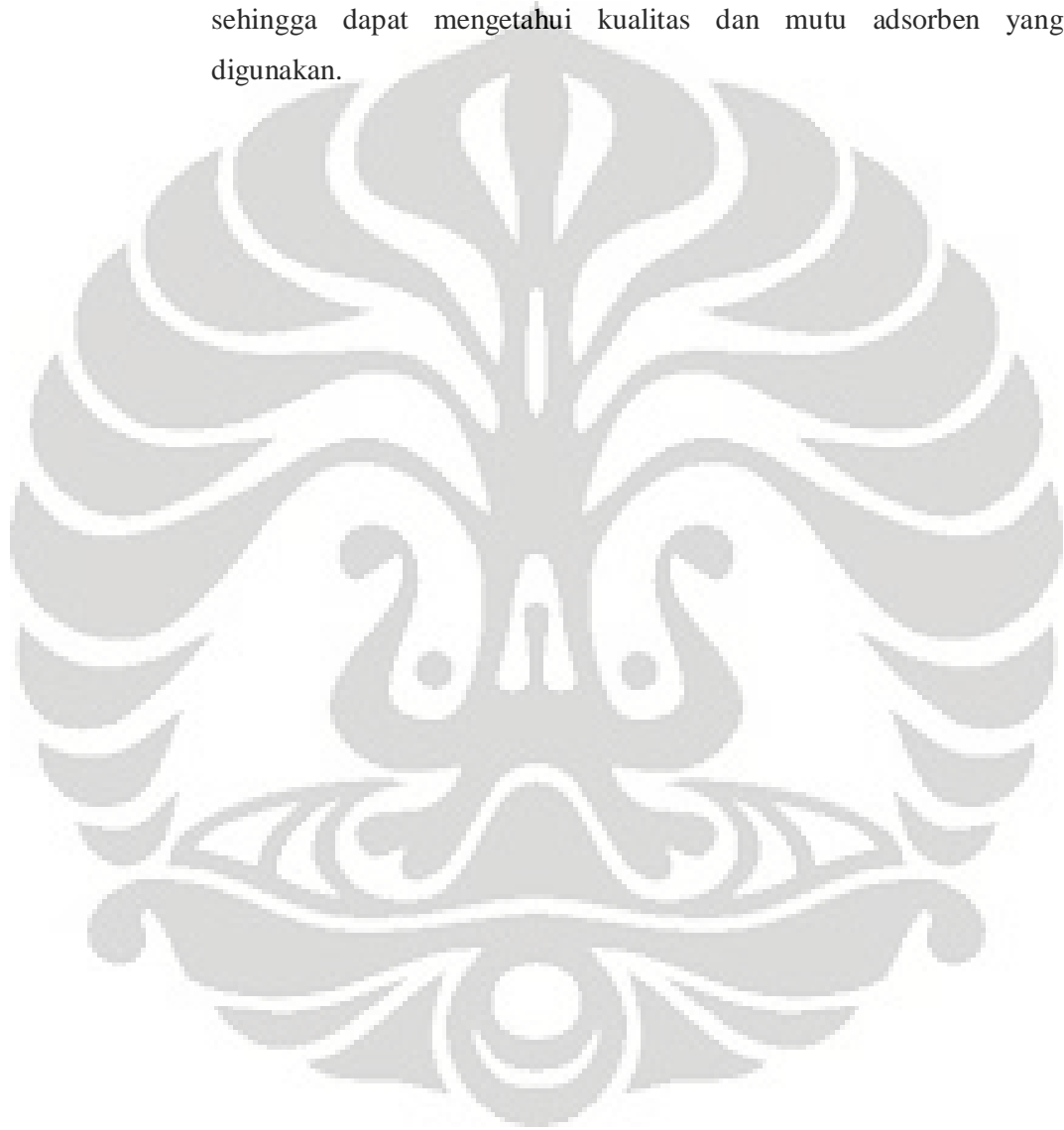
BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

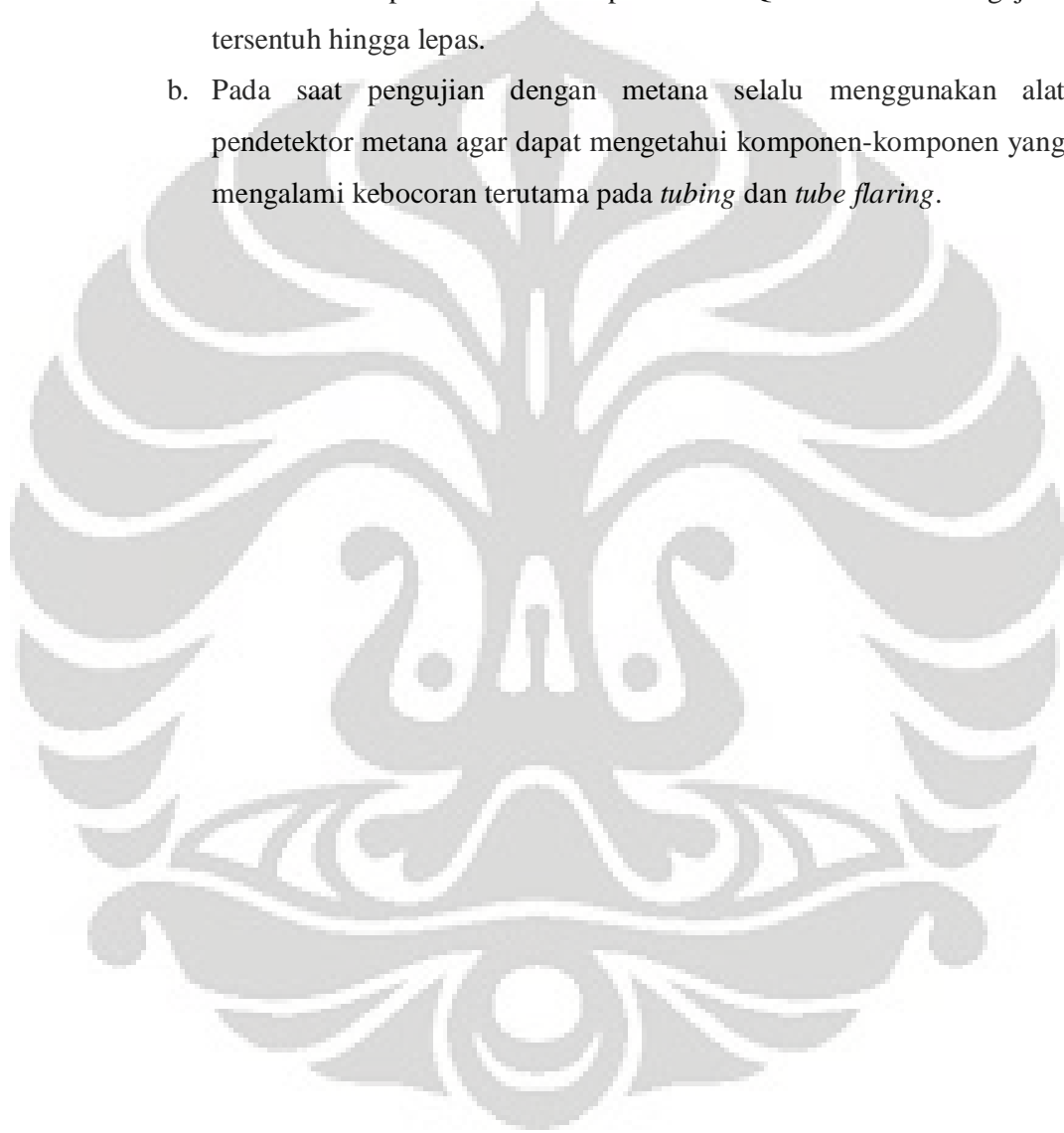
- a. Volume tabung yang berisi karbon aktif komersial yang diukur dengan metode gas helium sebesar ± 4.64 L.
- b. Kapasitas penyerapan CH_4 pada karbon aktif komersial memiliki nilai yang berbeda terhadap tekanan tertentu dan dengan temperatur yang sama yaitu 30°C .
 - Pada siklus pertama kapasitas penyerapan sebesar 96.33 gram.
 - Pada siklus kedua kapasitas penyerapan sebesar 96.73 gram.
 - Pada siklus ketiga kapasitas penyerapan sebesar 77.26 gram.
- c. Bahwa pada setiap siklus terdapat massa CH_4 yang tersangkut sehingga mempengaruhi kapasitas penyerapan CH_4 pada karbon aktif komersial.
 - Pada siklus pertama massa CH_4 yang tersangkut pada karbon aktif sebesar 89.44 gram.
 - Pada siklus kedua massa CH_4 yang tersangkut pada karbon aktif sebesar 166.62 gram.
 - Pada siklus ketiga massa CH_4 yang tersangkut pada karbon aktif sebesar 181.36 gram.
- d. Pada temperatur yang sama, semakin besar tekanan maka kapasitas dan laju penyerapan akan meningkat juga.
- e. Cycling operation pada ANG akan berpengaruh sekali pada kapasitas dan laju penyerapan karena adsorben lama kelamaan akan mencapai titik jenuh.

- f. Kesetimbangan adsorpsi akan berubah jika temperatur naik maka sebagian adsorbat yang menempel pada permukaan adsorben akan terlepas (desorpsi) dan akan membentuk kesetimbangan baru.
- g. Grafik isosterik dapat digunakan untuk mengetahui kapasitas penyerapan suatu jenis adsorben terhadap suatu jenis adsorbat sehingga dapat mengetahui kualitas dan mutu adsorben yang digunakan.



5.2 Saran

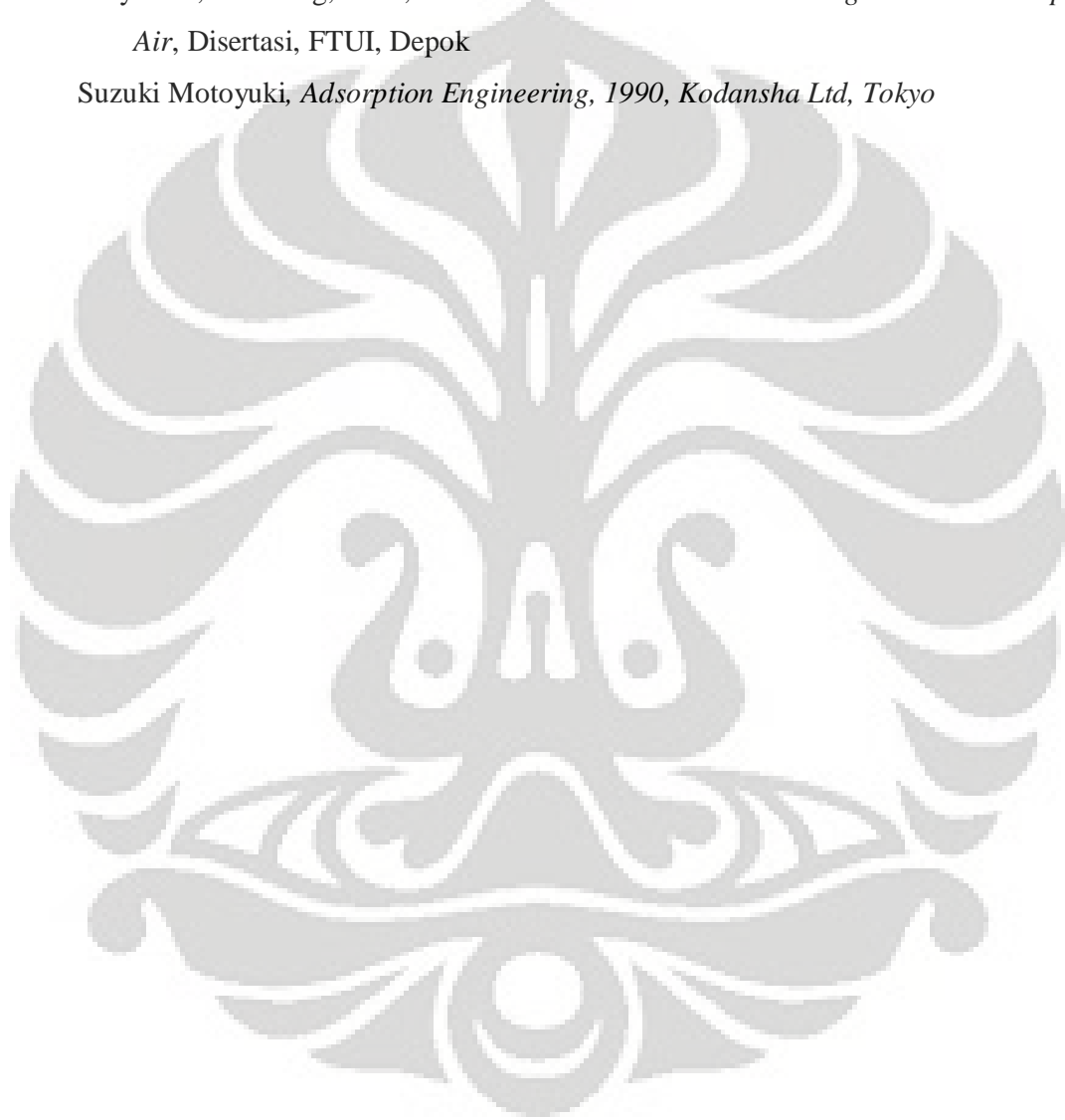
- a. Instrumentasi pada alat ukur yaitu termokopel harus selalu diperhatikan kabel yang disambungkan dengan DAQ karena biasanya terjadi error yang disebabkan tidak tersambung pada DAQ dengan benar dan terlepas kabel termokopel dari DAQ akibat ketidaksengajaan tersentuh hingga lepas.
- b. Pada saat pengujian dengan metana selalu menggunakan alat pendetektor metana agar dapat mengetahui komponen-komponen yang mengalami kebocoran terutama pada *tubing* dan *tube flaring*.



DAFTAR REFERENSI

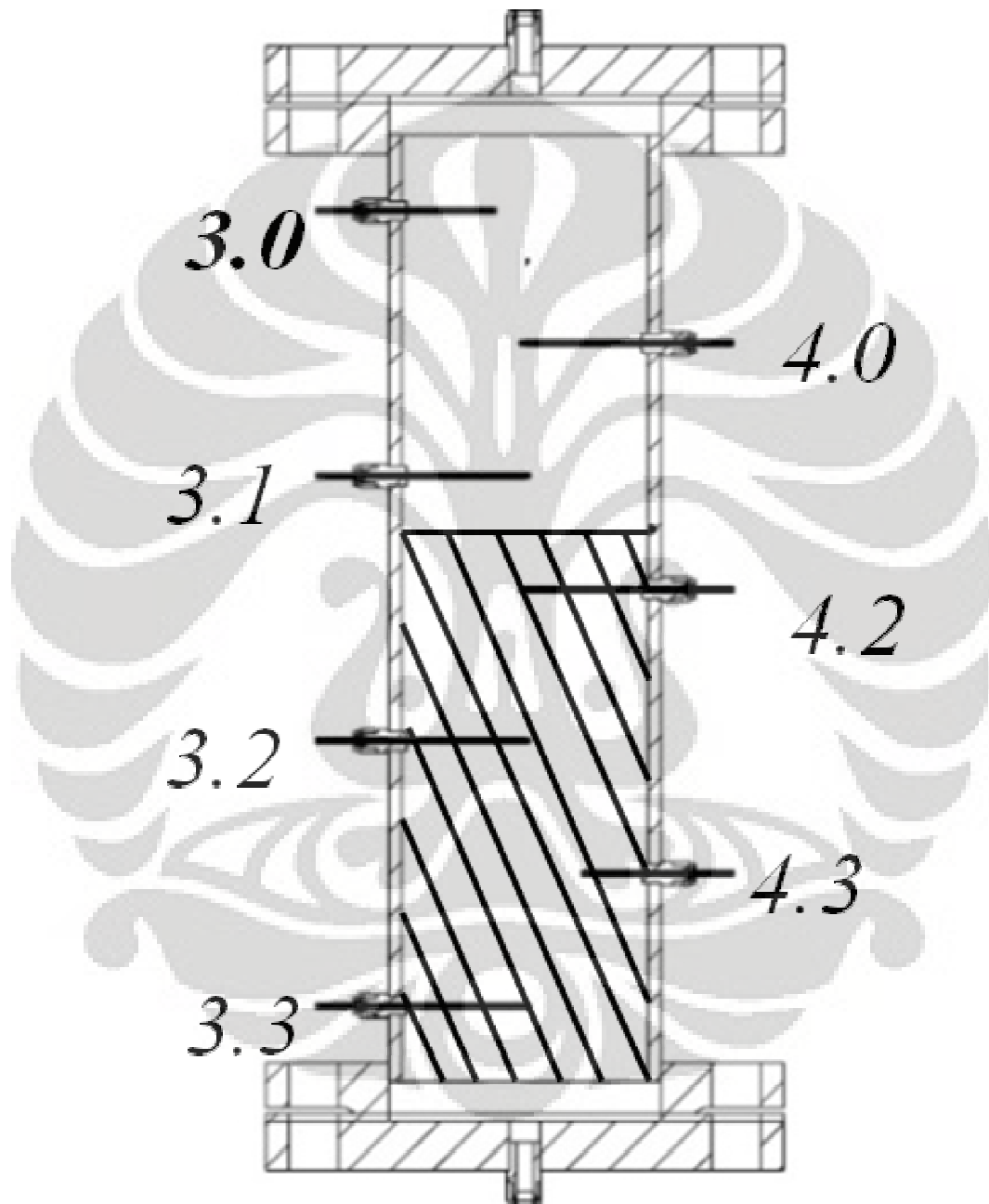
- Bahl, B.S, G.D Tuli, and A. Bahl, 1997, *Essential of Physical Chemistry*, S. Chand and Company, Ltd, New Delhi
- Belmabkhout, Y, G. D Weireld, and M. Frere, 2004, *High Pressure Adsorption Isotherms Of N₂, CH₄, O₂, and Ar On Different Carbonaceous Adsorbent*, Journal of Chemical and Engineering Data, Vol. 49, No. 5, 2004
- Dawoud, Belal, Yuri Aristov, 2008, *A new methodology of studying the dynamics of water sorption/desorption under real operating conditions of adsorption heat pumps: Experiment*, International Journal of Heat and Mass Transfer 51 (2008) 4966-4972
- Hardy, J.T. 2003. *Climate Change: Causes, Effects, and Solutions*. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England
- Hamamoto, Y., K.C.A. Alam, B.B. Saha, S. Koyama, A. Akisawa, T. Kashiwagi, 2006, *Study on Adsorption Refrigeration Cycle Utilizing Activated Carbon Fiber. Part 1., Adsorption Characteristics*, International Journal of Refrigeration, 29(2006)305-314
- Hines, A. L and R. Madrox, 1985, *Mass Transfer Fundamental and Applications*, Prentice-Hall, New Jersey
- Keller, Jürgen U, Erich Robens, Cedric du Fresne von Hohenesche, 2002 *Thermo gravimetric and Sorption Measurement Techniques/Instruments*, Journal of Universität Siegen GH, D - 57068 Siegen, Germany
- Marsh, Harry and Francisco Rodriguez-Reinoso, 2006, *Activated Carbon*, Elsevier Ltd, Oxford UK
- Nasruddin, 2005, *Dynamic Modeling and Simulation of a two Bed Silica gel-Water Adsorption Chille*, Disertasi, Rheinisch - Westfälische Technische Hochschule, Aachen
- O. Pupier, V.Goetz, R. Fiscal, 2004, *Effect of Cycling Operations on an Adsorbed Natural Gas*, journal
- Rouquerol, Jean, François Rouquerol and Kenneth Sing, 1998, *Adsorption By Powders And Porous Solids*, Academic Press, UK

- S. Biloe, V. Goetz, A. Guillot, 2001, *Optimal Design of an Activated Carbon for an Adsorbed Natural Gas Storage System*, journal
- Saha, Bidyut Baran, Ibrahim I. El-Sharkawy, Anutosh Chakraborty, Shigeru Koyama, Seong-Ho Yoon, and Kim Choon Ng, Adsorption Rate of Ethanol on Activated Carbon Fiber *J. Chem. Eng. Data* 2006, 51, 1587-1592
- Suryawan, Bambang, 2004, *Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air*, Disertasi, FTUI, Depok
- Suzuki Motoyuki, *Adsorption Engineering*, 1990, Kodansha Ltd, Tokyo



Lampiran 1

POSISI TERMOKOPEL PADA BEJANA BERTEKANAN



Lampiran 2

SERTIFIKAT PENGUJIAN CARBOTECH

