

(2.4)

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

$$x = x_0 + \sum_{t=0}^t \frac{\Delta m_{ads}}{m_{s,dry}}$$

(2.5)



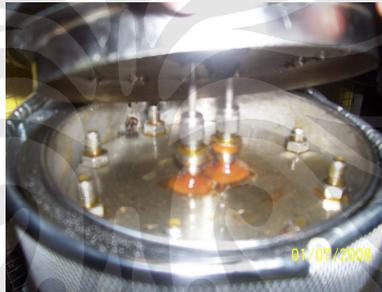
### **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

### 3.1 PERSIAPAN ALAT UJI ADSORPSI KINETIK

#### 3.1.1 Pressure Vessel

*Pressure vessel* dirancang sebagai alat tempat untuk merubah fasa adsorbat menjadi *vapour*. Namun pada penelitian ini digunakan untuk menyimpan CO<sub>2</sub> bertekanan. Pada perancangan *pressure vessel* parameternya adalah tekanan maksimum adsorbat, karena akan berpengaruh pada ketebalan *vessel*. *Pressure vessel* dibuat dari bahan *stainless steel 304*, *pressure vessel* dirancang dapat digunakan sampai dengan tekanan maksimum 10 Mpa. Ukuran diameter dalam ( $\varnothing_d$ ) 100 mm dan diameter luar ( $\varnothing_l$ ) 140 mm. Ketebalan *pressure vessel* 6 mm dan panjang 220 mm. Volume dari *pressure vessel* dirancang dapat memuat 1000 cm<sup>3</sup> adsorbat. Gambar sketsa *pressure vessel*, sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Pressure Vessel*

#### 3.1.2 Measuring cell

*Measuring cell* dirancang sebagai tempat pengukuran dan tempat meletakkan adsorben. Pada perancangan *measuring cell* parameternya adalah tekanan maksimum dan volume *measuring cell*. *Measuring cell* dibuat dari bahan *stainless steel 304*, *measuring cell* dirancang dapat digunakan sampai tekanan maksimum 10 Mpa. Ukuran diameter dalam ( $\varnothing_d$ ) 40 mm dan diameter luar ( $\varnothing_l$ ) 46 mm. Ketebalan *measuring cell* 3 mm, panjang 80 mm dan volume *measuring cell* 100 cm<sup>3</sup> adsorbat. Gambar sketsa dari *measuring cell*, sebagai berikut:



Gambar 3.2 Measuring Cells

### 3.1.3 Fluids jacket

#### 3.1.3.1 Fluids jacket 1

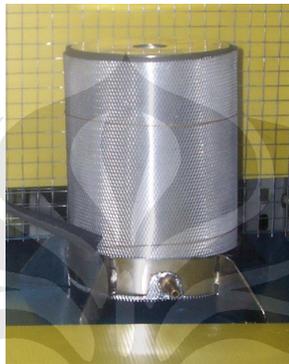
Pada penelitian ini diperlukan menjaga temperatur agar tetap konstan. Oleh karena itu perlu dirancang *Fluids jacket 1* untuk membungkus *pressure vessel*. *Fluids jacket* dirancang dari bahan besi karbon (AISI 1010) ukuran diameter ( $\varnothing$ ) 160 mm tebal plat *fluids jacket 1* 1 mm dan panjang 260 mm, dimana terdapat saluran masuk dan keluar. *Fluids jacket 1* diinsulasi agar dapat menjaga temperatur fluida yang mengalir di dalamnya. Insulasi menggunakan superlon terbuat dari Asbestos, Chlorine dan Fiber dengan tebal insulasi 9 mm, *thermal Conductivity* adalah 0.04 W/m°C. Selain menggunakan insulasi superlon *Fluids jacket 1*, juga diinsulasi plat aluminium dengan tebal 1 mm dan *thermal Conductivity* adalah 177 W/m.°C. Gambar sketsa *Fluids jacket 1* pada *pressure vessel*, sebagai berikut:

Gambar 3.3 Sketsa *Fluids jacket 1*

#### 3.1.3.2 Fluids jacket 2

Seperti layaknya *Fluids jacket* pada *pressure vessel*, *Fluids jacket 2* digunakan juga sebagai pembungkus *measuring cell*. *Fluids jacket* di *measuring cell* dirancang dari

bahan besi karbon (AISI 1010) ukuran diameter ( $\varnothing$ ) 102 mm, tebal plat *fluids jacket* 2 1 mm dan panjang 170 mm. *Fluids jacket* 2 diinsulasi agar dapat menjaga temperatur fluida yang mengalir di dalamnya. Insulasi menggunakan superlon terbuat dari Asbestos, Chlorine dan Fiber dengan tebal insulasi 9 mm, *thermal Conductivity* adalah 0.04 W/m°C. Selain menggunakan insulasi superlon *Fluids jacket* 2, juga diinsulasi plat aluminium dengan tebal 1 mm dan *thermal Conductivity* adalah 177 W/m.°C. Gambar sketsa *Fluids jacket* 2 pada *pressure vessel*, sebagai berikut :



Gambar 3.4 *Fluids jacket* 2

### 3.1.4 Pipa dan insulasi

Pada alat uji adsorpsi kinetik, *pressure vessel* dan *measuring cell* dihubungkan dengan pipa stainless steel dengan ukuran 1/8 inci. Pipa ini memiliki diameter luar ( $\varnothing_1$ ) 3.175 mm dan diameter dalam ( $\varnothing_d$ ) 2.275 mm. Panjang keseluruhan pipa yang digunakan pada alat uji adsorpsi kinetik 1550 mm. Distribusi ukuran pipa terpasang, sebagai berikut :

Pipa terpasang	Panjang total (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )
Pressure Vessel	850	6.91x10 <sup>-6</sup>
Measuring cell	700	5.69x10 <sup>-6</sup>

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

### 3.1.5 Pressure transmitter

Alat uji adsorpsi kinetik menggunakan metode volumetrik membutuhkan alat ukur tekanan. Data perubahan tekanan per satuan waktu dibutuhkan untuk mendapatkan nilai kapasitas dan laju penyerapan adsorpsi (Dawoud dan Aristov, 2003)

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

Pabrikan : General electric

Tipe : Druck PTK 1400

*Pressure range* : 0 – 40 bar absolute

Analog Output : 4 – 20 mA

*Accuracy* : 0.15 %

Gambar *pressure transmitter* pada alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut :



Gambar 3.5 *Pressure transmitter* PTK 1400

### 3.1.6 Termokopel

Pengukuran nilai kapasitas dan laju penyerapan adsorpsi dengan metode volumetrik dilakukan pada temperatur konstan (isothermal) (Dawoud dan Aristov, 2003).

Oleh karena itu pada Alat uji adsorpsi kinetik membutuhkan alat ukur temperatur yang mengukur temperatur per satuan waktu.

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

Jenis : Kabel

Tipe *thermocouples* : K

*Temperature range* : - 200 -1250°C

*Accuracy* : Class I → 0.95 %

Gambar *thermocouples* pada alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut :



Gambar 3.6 *Thermocouples* jenis kabel

### 3.1.7 Circulating Thermal Bath (CTB)

CTB pada alat uji adsorpsi kinetik berfungsi sebagai alat penjaga temperatur pengukuran agar tetap konstan. Pada alat uji terdapat dua buah yaitu CTB 1 untuk menjaga temperatur di *pressure vessel* dan CTB 2 untuk menjaga temperatur di *measuring cell*.

CTB yang digunakan pada alat uji, memiliki spesifikasi sebagai berikut :

	CTB 1	CTB 2
Pabrikan	Huber	Huber
Jenis	CC1-E	CC1-E
Mesin Pendingin	Tidak ada	Refrigeration chiller
<i>Temperature range</i>	25-200 <sup>o</sup> C	-30 – 200 <sup>o</sup> C
<i>Accuracy</i> pada 70 <sup>o</sup> C pada 15 l (bath)	± 0.02 K	± 0.02 K



Gambar 3.7 *Circulating thermal bath* CC1-E

### 3.1.8 Pompa vakum

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

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

:

Pabrikan : Ogawa seiki co, ltd

Tipe	: DRP-1400
Jenis	: Rotary vacuum pump
Vakum maksimal	: $6.7 \times 10^{-2}$ pa
Laju pemvakuman	: 1200 l/ min. (50 Hz)
	: 1440 l/ min (60 Hz)
Konsumsi energi	: 2.2 kW

Gambar pompa vakum yang digunakan dalam pengujian alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut :



Gambar 3.8 Pompa vakum DRP-1400

### 3.1.9 Needle valve

Aliran keluar dan masuk adsorbat di alat uji adsorpsi kinetik diatur menggunakan katup jenis needle. Pada alat uji terdapat empat buah katup yang memiliki fungsi antara lain : *needle valve* 1 (V1) digunakan untuk mengatur aliran masuk adsorbat dari tempat penyimpanan (adsorbate storage) ke dalam sistem, V2 digunakan untuk pengatur aliran adsorbat dari *pressure vessel* ke *measuring cell*, V3 digunakan sebagai pengatur aliran adsorbat pada proses pemvakuman dan V4 digunakan sebagai pengatur aliran adsorbat untuk proses penyerapan.

*Needle valve* yang digunakan pada alat uji memiliki spesifikasi, sebagai berikut :

Pabrikan	: Swagelok (Whitey)
Tipe	: SS-ORS2
Jenis	: Integral –Bonnet needle valve
Diameter dalam / luar	: 1/8 inci
Diameter orifice	: 0.080 inci / 2 mm
Temperatur operasi maksimal	: 450°F atau 232°C
Tekanan operasi maksimal	: 4295 psig atau 281 bar gauge
Pada (-20 – 200°C)	

Gambar needle valve yang digunakan dalam pengujian alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut :



Gambar 3.9 Needle valve SS-ORS2

### 3.1.10 Tube flaring

*Tube flaring* atau sambungan pipa pada alat uji adsorpsi kinetik digunakan untuk memisahkan *measuring cell* dari sistem. *Measuring cell* dipisahkan atau dilepaskan dari sistem dimaksudkan untuk memudahkan proses *degassing* dan verifikasi perubahan berat adsorben sebelum dan sesudah proses *degassing*.

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

Pabrikan : Swagelok

Diameter luar ( $\varnothing_1$ ) : 1/8 inci

Gambar *tube flaring* yang digunakan dalam pengujian alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut :



Gambar 3.10 Tube flaring

### 3.1.11 Data Akusisi (DA&C)

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

Data akusisi terdiri dari dua bagian yaitu *analog input module* dan *converter*. *Analog input module* merupakan alat yang menangkap sinyal dari alat ukur, sedangkan *converter* merupakan alat yang merima, mengubah sinyal dan menguatkan keluaran *Analog input module* agar dapat diterima komputer melalui *communication port*. Pada alat uji adsorpsi kinetik terdapat dua data akusisi, yaitu data akusisi untuk menerima keluaran *thermocouples* berupa mV dan *pressure transmitter* berupa mA. Perbedaan keluaran sinyal alat ukur tersebut mengakibatkan harus digunakan dua data akusisi.

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

	DA&C
Pabrikan	Advantech

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

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



Gambar 3.11 Input analog module dan Converter

### 3.1.12 Power supply

Power supply digunakan untuk memberikan *supply* tegangan pada instrumen dan alat ukur. Pada alat uji adsorpsi kinetik *supply* tegangan diperlukan untuk memberikan tegangan untuk data akusisi dan *pressure transmitter*. Besar tegangan *supply* untuk kedua komponen tersebut tidak boleh melebihi tegangan maksimal komponen.

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

:

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

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



Gambar 3.12 Power supply

### 3.1.13 Komputer

Komputer pada alat uji adsorpsi kinetik digunakan sebagai alat penerima sinyal dari data akusisi dan penyimpanan data pengujian. Komputer yang digunakan memiliki port RS232 dan terinstal perangkat lunak konversi tegangan (visidaq).

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

Processor	: Intel Pentium III 498 MHz
Memory	: 384 MB of RAM
OS	: Microsoft XP service pack 2
Port	: 2 x RS232
Perangkat lunak	: Notepad, ADAM device manager dan Visidaq versi 3.11

### 3.1.14 Water valve (Keran)

Aliran keluar dan masuk fluida kerja di CTB2 diatur menggunakan katup atau keran. Di saluran CTB 2 terdapat tiga buah keran yang memiliki fungsi antara lain : *water valve* 1 (WV1) digunakan untuk membuka aliran masuk fluida kerja dari bak CTB2 menuju fluids jacket 2 atau sebaliknya, WV2 digunakan untuk mengalirkan aliran fluida kerja dari bak CTB 2 kembali ke bak CTB 2 . WV3 digunakan untuk membuka aliran masuk fluida kerja ke bak CTB2 dari fluids jacket 2 atau sebaliknya. Pada saluran CTB 1 terdapat satu buah keran yaitu WV4, berfungsi untuk mengatur debit aliran fluida kerja yang keluar dari *pressure vessel*. Keran ini menjaga agar tidak terjadi *overload* fluida kerja pada *pressure vessel*. Gambar *water valve* yang digunakan dalam pengujian alat uji adsorpsi :



Gambar 3.13 Water valve

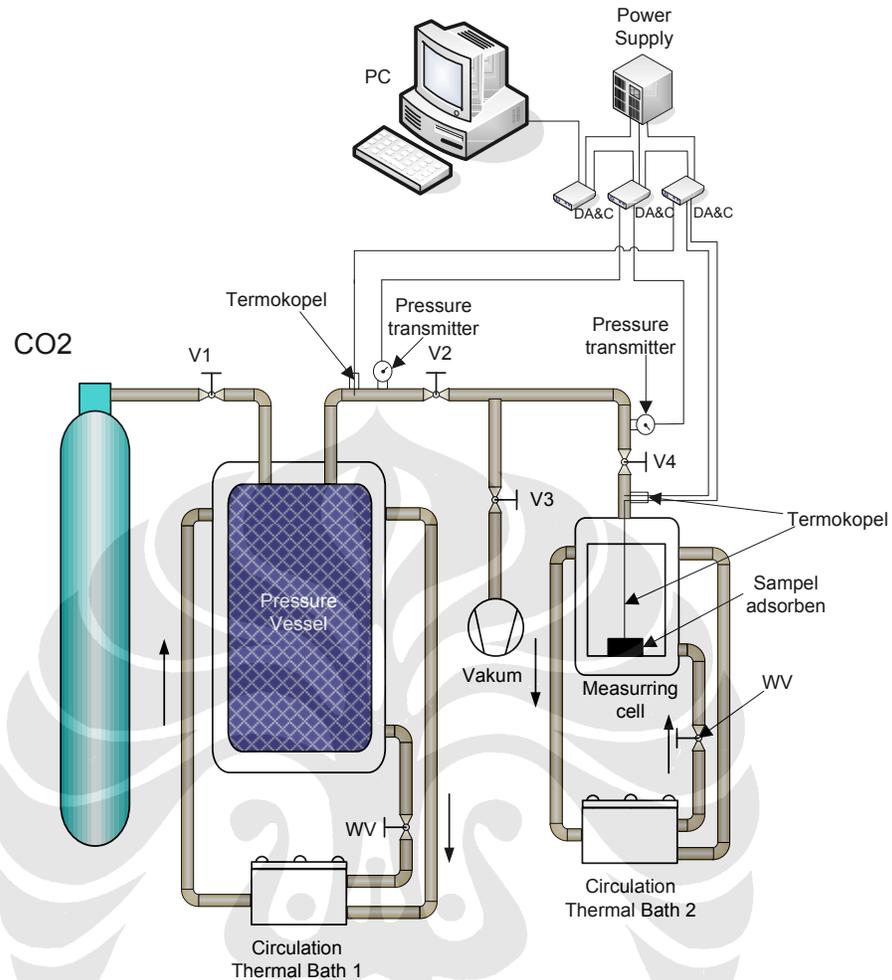
### 3.2 INSTALASI ALAT UJI ADSORPSI KINETIK

Dari bagian-bagian alat uji di atas dirakit menjadi satu, bagian-bagian alat uji yang telah ada dimodifikasi di beberapa tempat diantaranya mengganti posisi antara temperatur dan pressure transmitter, pemberian lubang pada tabung pembungkus pressure vessel dan measuring cells, penggantian o-ring plastik pada bagian measuring cells dengan o-ring karet. Proses pemodifikasian tersebut dilakukan di bengkel politeknik. Kemudian bagian tersebut dirakit di Laboratorium Teknik Pendingin Universitas Indonesia menjadi alat uji adsorpsi kinetik. Gambar alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut:



Gambar 3.14 Alat uji adsorpsi kinetik

Gambar alat uji adsorpsi kinetik dalam skematik, sebagai berikut :



Gambar 3.15 Skematik alat uji adsorpsi kinetik

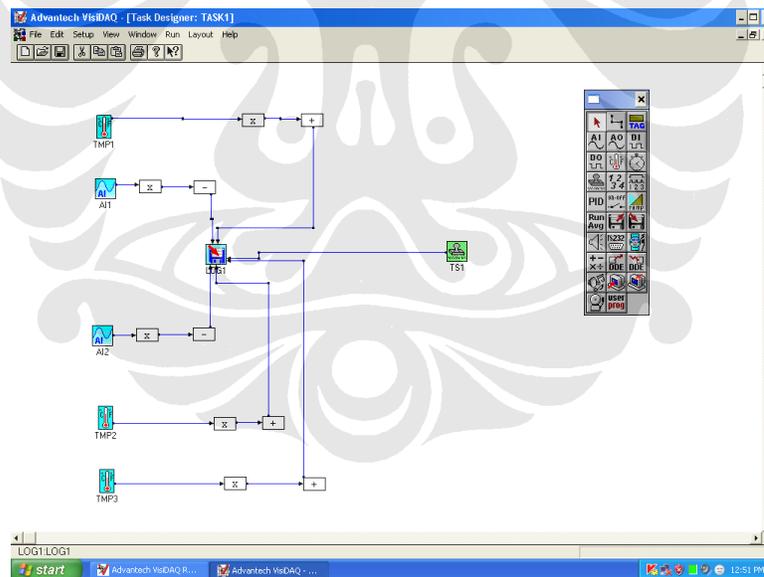
### 3.2.1 Instrumentasi

Pada alat uji adsorpsi kinetik digunakan teknik instrumentasi di alat ukur yang dilakukan untuk mengukur tekanan dan temperatur. Instrumentasi dapat diartikan sebagai alat-alat dan piranti (device) yang dipakai untuk pengukuran dan pengendalian dalam suatu sistem (wikipedia). Secara umum instrumentasi mempunyai 3 fungsi utama:

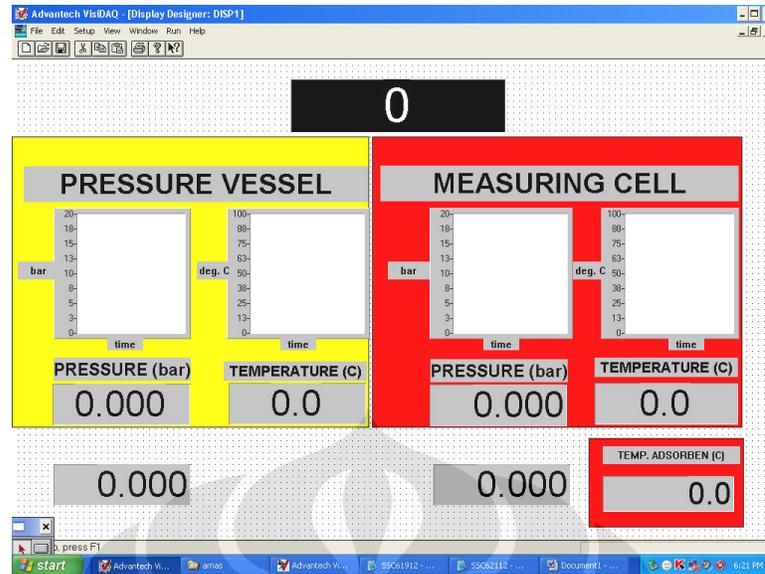
- a. sebagai alat pengukuran
- b. sebagai alat analisa
- c. alat kendali.

Pada perancangan alat uji adsorpsi kinetik, teknik instrumentasi digunakan sebagai alat pengukuran dan sebagai alat analisis. Hal ini dilakukan karena pengambilan data tekanan dan temperatur dilakukan per detik yang hampir tidak mungkin dilakukan secara manual, dan analisis yang dilakukan berdasarkan perubahan tekanan dan temperatur tiap detik.

Pengukuran menggunakan *pressure transmitter* dan *thermocouples* memerlukan perangkat lunak (software) untuk membaca dan menyimpan hasil pengukuran. Perangkat lunak untuk membaca dan menyimpan merupakan perangkat lunak yang mudah dibuat dan dioperasikan (user friendly), hal ini memungkinkan semua orang dapat menggunakannya. Pada alat uji adsorpsi kinetik digunakan perangkat lunak *visidaq* 3.11 sebagai pembaca dan penyimpanan data hasil pengujian. Program pembacaan dan penyimpanan menggunakan Perangkat lunak *visidaq* 3.11 mudah dibuat dan dioperasikan. Adapun program pembacaan dan penyimpanan data hasil pengujian alat uji adsorpsi kinetik menggunakan *visidaq* 3.11, sebagai berikut :



Gambar 3.16 Program visidaq Builder 3.11



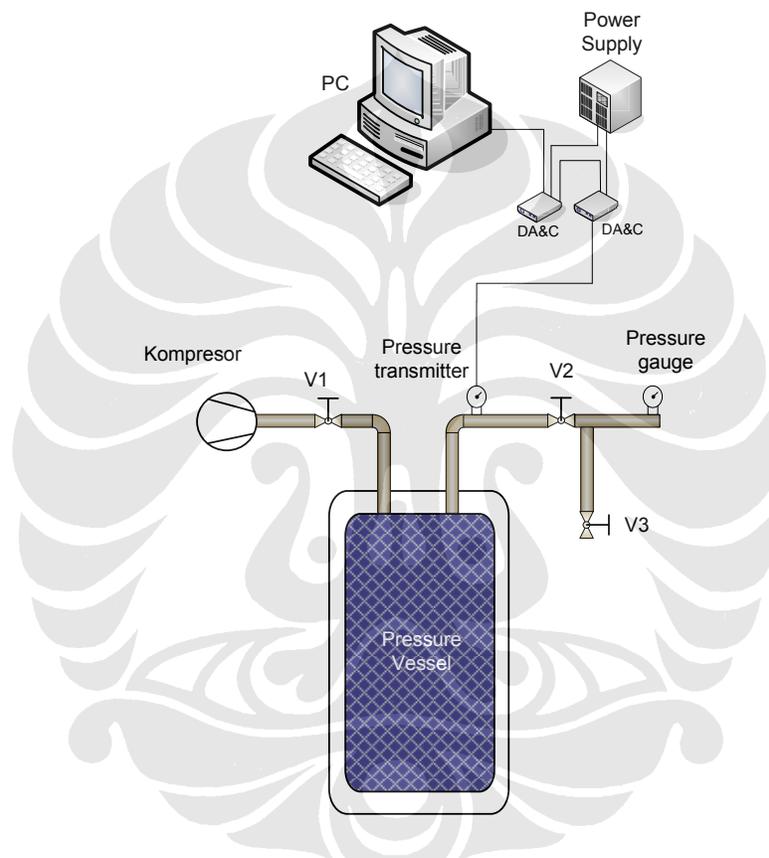
Gambar 3.17 Program visidaq Runtime 3.11

### 3.2.2 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 kinetik dengan alat ukur standar. Hal dilakukan dengan tujuan mendapatkan hasil pengukuran yang valid, alat ukur yang diverifikasi adalah *pressure transmitter* dan *thermocouples*.

#### 3.2.2.1 Verifikasi *pressure transmitter*

Pada verifikasi alat ukur tekanan dengan menggunakan *pressure transmitter* dilakukan konversi arus menjadi skala tekanan. Gambar skematik verifikasi *pressure transmitter*, sebagai berikut :

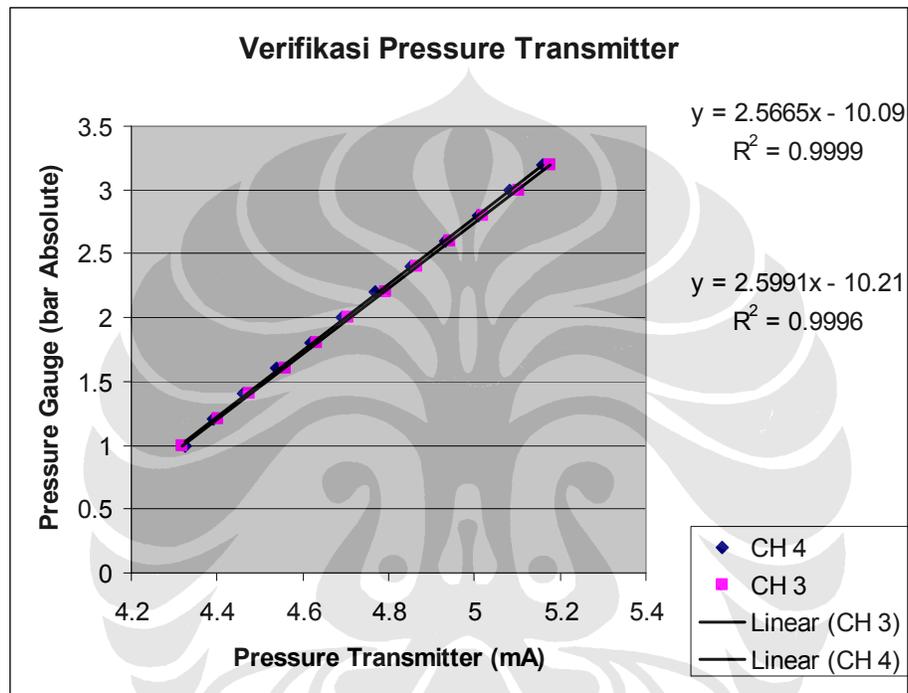


Gambar 3.18 Skematik verifikasi pressure transmitter

Verifikasi untuk tekanan diatas atmosfer dilakukan dengan bantuan kompresor. Berikan tekanan pada vessel sesuai dengan pengambilan beberapa titik tekanan yang dibutuhkan. Tekanan akan terbaca bar gauge pada pressure gauge kemudian dirubah menjadi bar absolut dengan menambah kan 1 bar gauge. Tekanan yang terbaca pada pressure gauge pada tekanan tertentu banding kan dengan pressure transmitter yang terbaca dengan mA. Dari beberapa titik tekanan dapat dibuat persamaan garis melalui

microsoft excel. Dari persamaan garis tadi didapatkan rumus verifikasi untuk merubah mA menjadi satuan bar absolut.

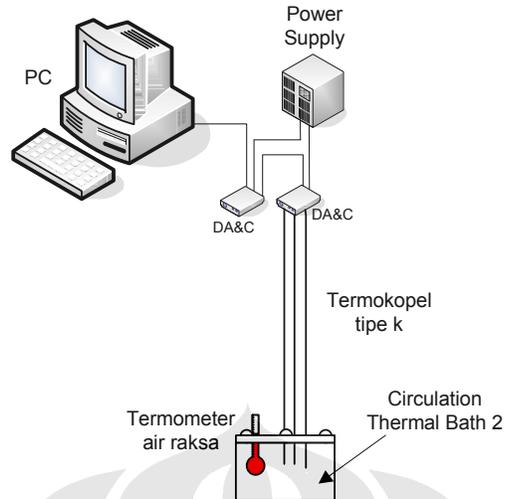
Data perbedaan tekanan pressure gauge dan *pressure transmitter* digambar dalam grafik. Grafik yang terbentuk adalah garis linier yang didapatkan dari perbandingan tekanan dan arus *pressure transmitter*. gambar grafik verifikasi *pressure transmitter* channel 03 dan 04, sebagai berikut :



Gambar 3.19 Grafik verifikasi pressure transmitter

### 3.2.2.2 Verifikasi termokopel

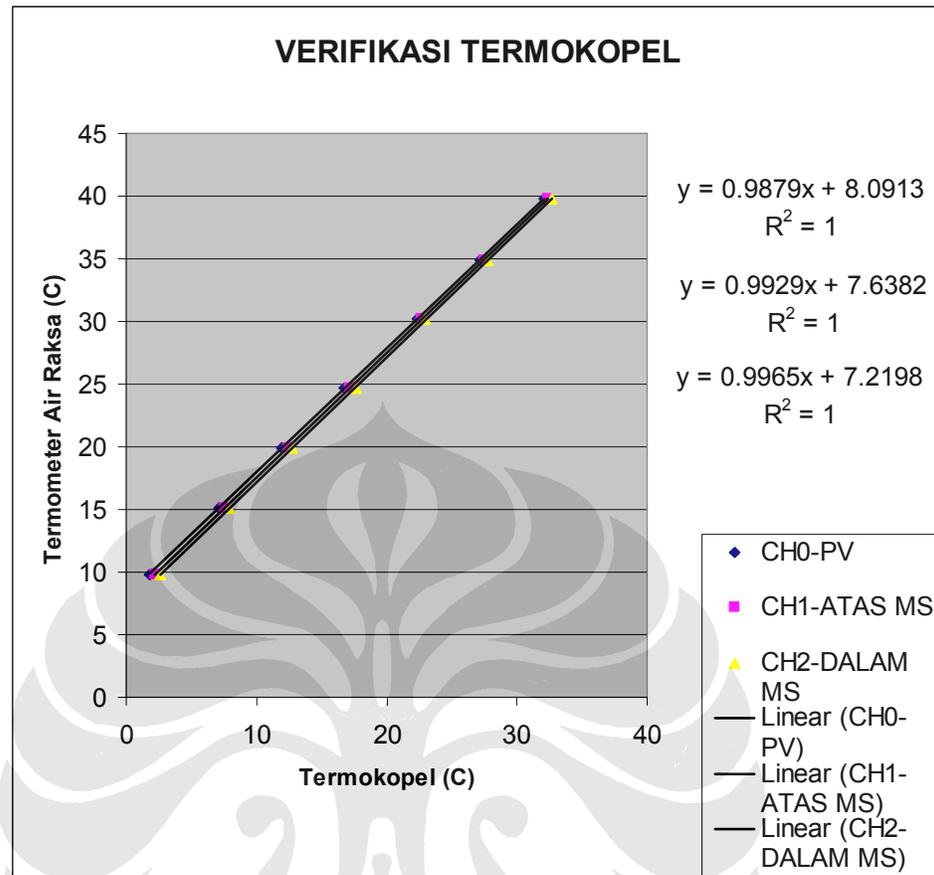
Pada verifikasi alat ukur temperatur dengan menggunakan *termocouples* dilakukan verifikasi temperatur pembacaan *termocouples* dengan skala temperatur standar. Gambar skematik verifikasi *thermocouples*, sebagai berikut :



Gambar 3.20 Skematik verifikasi thermocouples

Kalibrasi dilakukan dengan mengambil data pembacaan temperatur *thermocouples* terhadap pembacaan skala temperatur air raksa. Proses verifikasi dilakukan dengan mengatur temperatur *circulating thermal bath* (CTB) pada temperatur tertentu dimana termometer air raksa terbaca. Kemudian data temperatur dari pembacaan *thermocouple 1* dan *thermocouple 2* yang terbaca komputer dicatat.

Data perbedaan termometer air raksa dan *thermocouple* digambar dalam grafik. Grafik yang terbentuk adalah garis linier yang didapatkan dari perbandingan pembacaan *thermocouples* dan pembacaan termometer air raksa, maka didapatkan persamaan matematis garis linier. Persamaan matematis tersebut yang digunakan untuk verifikasi pembacaan *thermocouples*. Gambar grafik hasil verifikasi *thermocouples* channel 00, 01 dan 02, sebagai berikut



Gambar 3.21 Grafik verifikasi termokopel

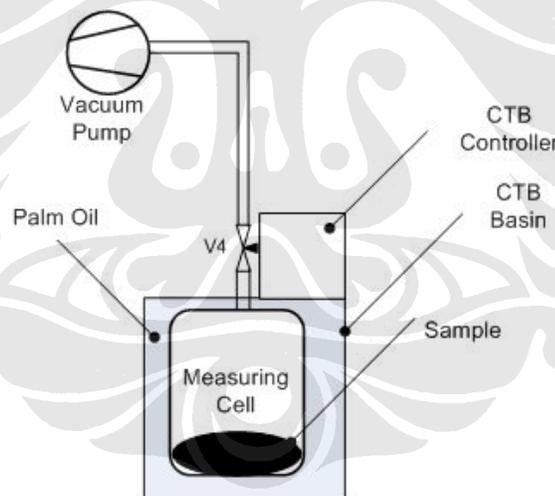
### 3.3 PERSIAPAN PENGUJIAN

Adsorben yang digunakan sebagai sampel adalah karbon aktif yang terbuat dari batu bara sumatera selatan *granule* ukuran DWF 10x20 AW. Pengujian ini bertujuan untuk menemukan nilai kapasitas dan laju penyerapan. Tahap persiapan alat uji kinetik adsorpsi, yaitu : menyiapkan sampel seberat 2 gram dengan ukuran, kemudian sampel tersebut dimasukkan ke dalam *measuring cell*. Sampel dan *measuring cell* tersebut kemudian ditimbang menggunakan timbangan dengan presisi tinggi untuk mendapatkan berat awal sampel. Timbangan yang digunakan adalah timbangan dengan Merek AND tipe FX 4000 kepresisian 0.01 gram dan maksimum beban 4100 gram Gambar timbangan, sebagai berikut



Gambar 3.22 Timbangan AND FX 4000

Proses selanjutnya adalah proses *degassing*. Proses *degassing* dilakukan untuk regenerasi atau mengeluarkan zat terserap sebelum proses pengujian dilakukan, proses ini dilakukan beberapa jam pada keadaan vakum (Saha, Bidyut Baran et al, 2006). Proses *degassing* dilakukan pada temperatur 150°C selama satu jam (Dawoud dan Aristov, 2003). Skematik proses *degassing*, sebagai berikut:



Gambar 3.21 Skematik proses *degassing*

Proses *degassing* pada pengujian unjuk kerja alat uji kinetik adsorpsi dilakukan dengan memanaskan *measuring cell* dengan cara merendam ke dalam bak CTB yang telah berisi minyak goreng (palm oil) sebagai fluida kerjanya. *Degassing* dilakukan dengan memvakum *measuring cell* dengan membuka katup 4, proses ini berlangsung selama satu jam pada temperatur 150°C.

Setelah proses *degassing* selesai jangan lupa menutup katup 4, kemudian *measuring cell* kembali ditimbang. Proses ini selain untuk memvalidasi proses *degassing* juga dapat digunakan untuk mendapatkan nilai berat kering sampel (dry sorbent). Persamaan untuk menghitung berat kering sampel, sebagai berikut :

$$W_{\text{sampel Kering}} = W_{\text{sampel}} - (W_{\text{awal measuring cell+sampel}} - W_{\text{measuring cell+sampel setelah deg a sin g}})$$

(4.2)

### 3.4 PENGUJIAN

Berikut adalah prosedur pengujian alat uji adsorpsi kinetik:

1. Pengujian di mulai dengan memasukkan sampel karbon aktif kedalam *measuring cell* untuk dilakukan degasing dengan memvakumnya selama 60 menit pada temperatur 150°C, sebelum dan sesudah proses degasing sampel ditimbang untuk mendapatkan berat kering sampel (dry sorbent).
2. Setelah proses degasing, *measuring cell* dihubungkan dengan tube yang menghubungkan antara pressure vessel dan *measuring cell*.
3. Setelah terhubung seluruhnya, katup 2, 3 dan 4 dibuka dan pompa vakum diaktifkan. Pompa vakum dinon aktifkan setelah tercapai tekanan  $\pm 10$  mbar dengan terlebih dahulu menutup seluruh katup tersebut diatas.
4. *Circulating thermal bath* 1 dan 2 dioperasikan untuk menaikkan dan kemudian menjaga temperatur pada pressure vessel dan *measuring* pada temperatur 30°C  $\pm 0,5$ °C.
5. Setelah temperatur pada prssure vessel dan *measuring cell* mencapai 30°C dan terjaga pada temperatur tersebut, katup 1 dibuka sehingga adsorbat (CO<sub>2</sub>) masuk menuju pressure vessel sampai pada tekanan adsorpsi yang diinginkan ( 1,8 dan 2,3 bar), selanjutnya katup 2 dan 4 juga dibuka.
6. Temperatur pada *measuring cell* dijaga konstan pada 30°C selama  $\pm 30$  menit, kondisi ini akan menghasilkan penyerapan pertama (first loading).
7. Selanjutnya *circulating thermal bath* 2 dioperasikan pada temperatur 10°C, sementara aliran air menuju *measuring cell* ditutup. Temperaur air pada *circulating thermal bath* 2 sebesar 10°C harus dicapai selama 40 menit.

8. Setelah temperatur air pada circulating thermal bath 2 sebesar  $10^{\circ}\text{C}$ , selanjutnya air dialirkan kedalam measuring cell. Pada proses inilah penyerapan terjadi.
9. Proses adsorpsi isothermal berlangsung selama 1 jam atau 60 menit.

Setelah proses selesai dan data pengujian tercatat pada komputer, hitunglah nilai kapasitas dan laju penyerapan penyerapan pertama dan penyerapan isothermal menggunakan persamaan laju aliran massa adsorbat yang diserap oleh adsorben.

