

## BAB IV

### METODE DAN ANALISIS

### PENGUJIAN UNJUK KERJA ALAT

Metode dan analisis data pengujian unjuk kerja alat uji adsorpsi kinetik terdiri dari beberapa tahap hingga mendapatkan kapasitas dan laju penyerapan adsorpsi. Metode pengujian menggunakan alat uji adsorpsi kinetik, meliputi : Persiapan alat alat ukur, persiapan pengujian dan pengujian alat uji adsorpsi kinetik. Pengambilan data tekanan dan temperatur per satuan detik serta pengolahan dan analisis data unjuk kerja alat.

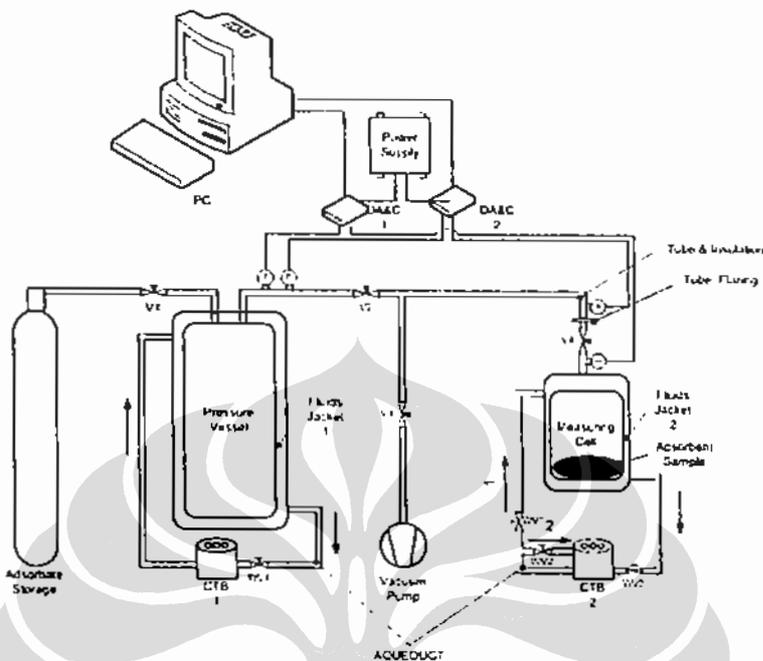
#### 4.1 PEMBUATAN ALAT UJI DAN PERSIAPAN ALAT UKUR

Setelah alat uji dirancang seperti yang telah di informasikan pada Bab III, maka alat uji dibuat dan dirakit. Bagian alat uji yang dibuat sesuai dengan perhitungan adalah *measuring cells*, *pressure vessel*, dan *fluids jacket*. Proses pembuatan ketiga bagian alat uji tersebut dilakukan di bengkel teknik. Kemudian ketiga bagian tersebut dirakit di Laboraturium Teknik Pendingin Univesitas Indonesia menjadi alat uji adsorpsi kinetik. Gambar alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut:



Gambar 4.1 : Alat uji adsorpsi kinetik

Gambar alat uji adsorpsi kinetik dalam skematik, sebagai berikut :



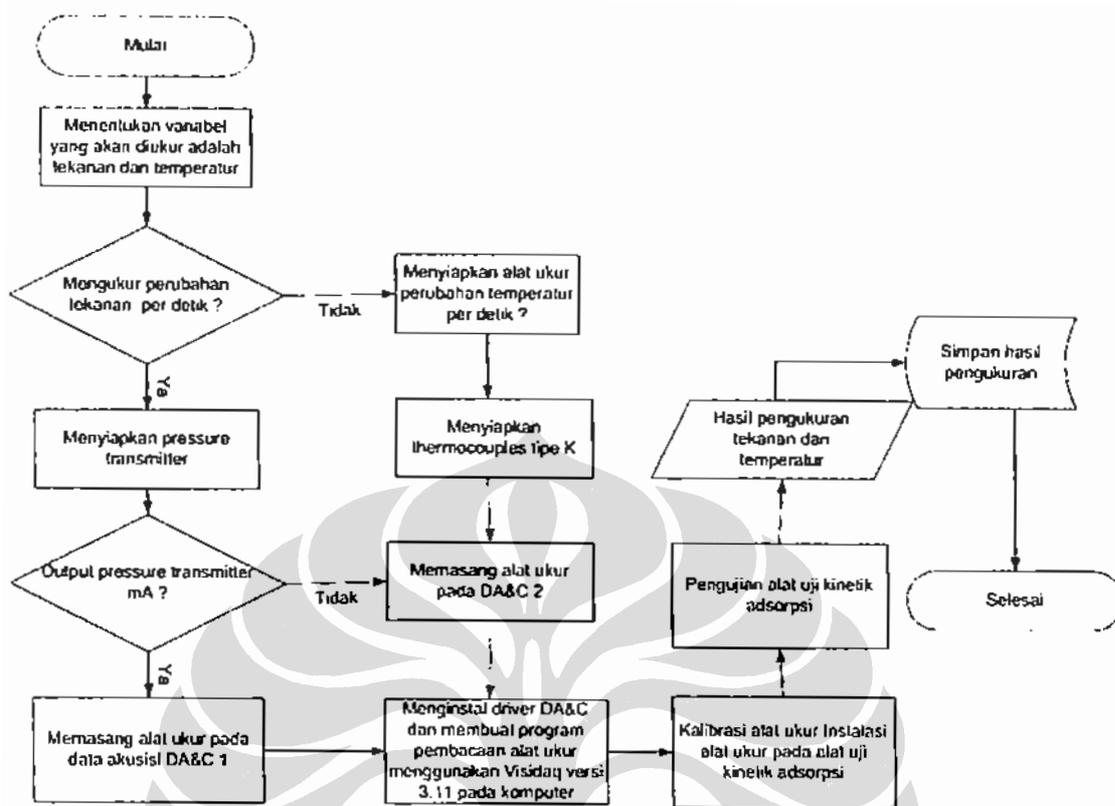
Gambar 4.2 : Skematik alat uji adsorpsi kinetik

#### 4.1.1 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:

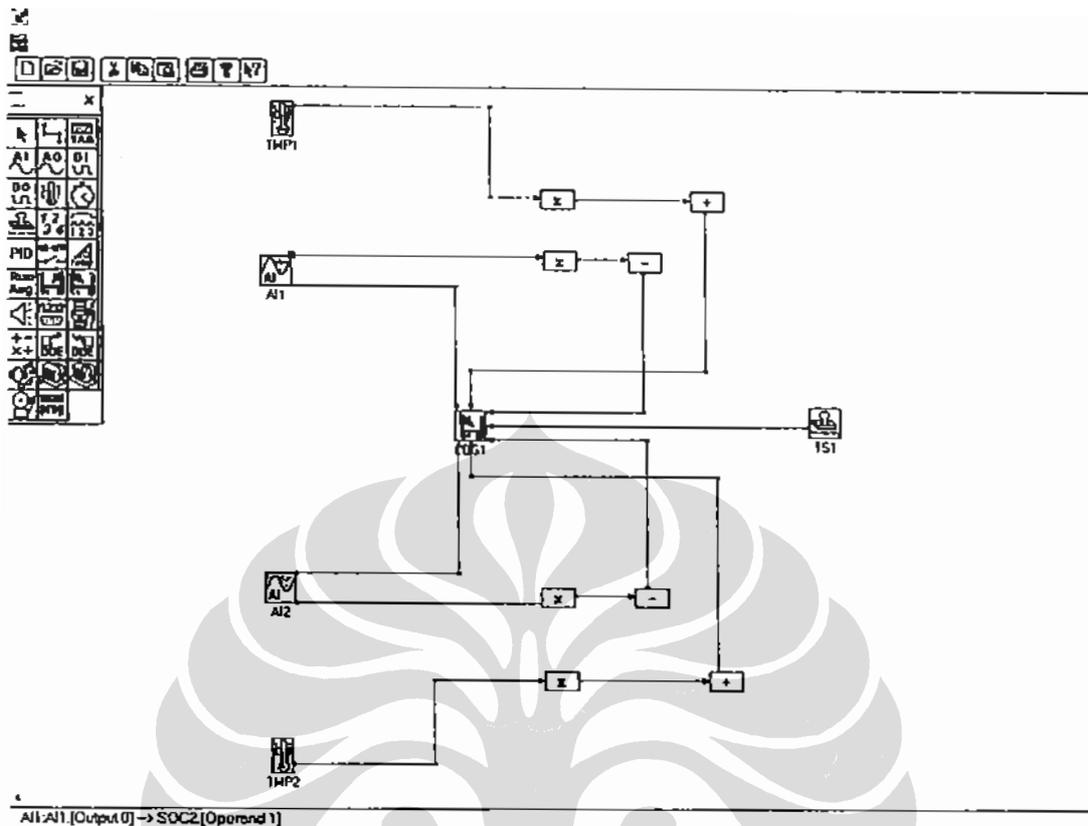
- a. sebagai alat pengukuran
- b. sebagai alat analisa
- c. alat kendali.

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. Diagram alir instrumentasi alat ukur pada alat uji adsorpsi kinetik, sebagai berikut :



4.3 : Diagram alir instrumentasi alat ukur

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 visidag 3.11 sebagai pembaca dan penyimpanan data hasil pengujian. Program pembacaan dan penyimpanan menggunakan Perangkat lunak visidag 3.11 mudah dibuat dan dioperasikan. Adapun program pembacaan dan penyimpanan data hasil pengujian alat uji adsorpsi kinetik menggunakan visidag 3.11, sebagai berikut :



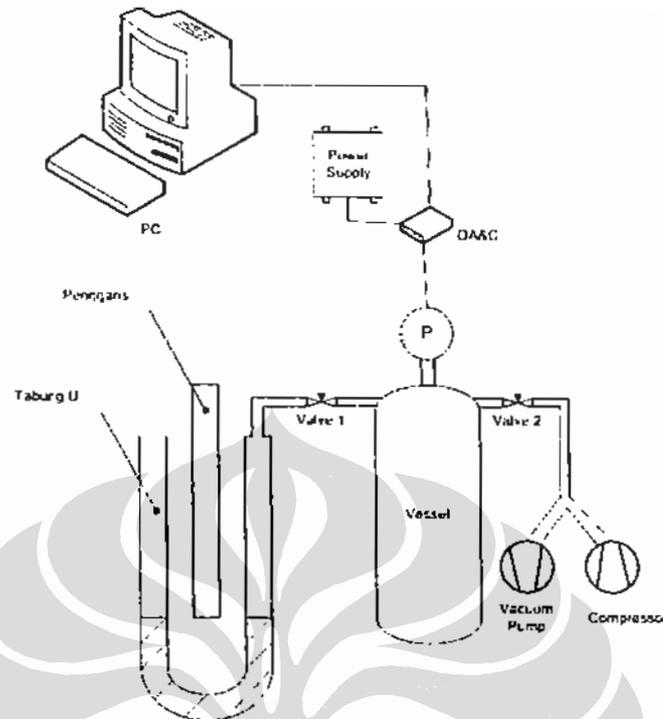
4.4 : Program visidaq 3.11

#### 4.1.2 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*.

##### 4.1.2.1 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 4.5 : Skematik verifikasi pressure transmitter

Verifikasi dilakukan terhadap perubahan ketinggian air raksa (Hg) di tabung U. Hubungan antara beda ketinggian dan tekanan, (Holman, J.P, 2001), sebagai berikut :

$$P = \gamma \cdot \Delta h \tag{4.1}$$

dimana :

$P$  = Tekanan (Pa)

$\gamma$  = Berat jenis ( $N/m^3$ )

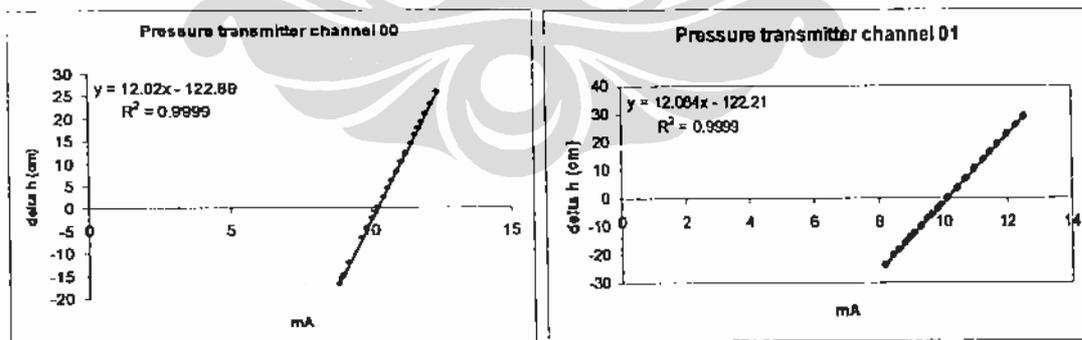
$\Delta h$  = Beda ketinggian (m)

Proses verifikasi untuk tekanan dibawah atmosfer dilakukan dengan memvakum vessel dengan membuka katup 2. Setelah vessel dalam keadaan vakum tutup katup 2 dan lepaskan pompa vakum dari sistem, setelah itu buka katup 1. Maka akan terjadi perbedaan ketinggian pada permukaan air raksa pada tabung U. Catat data perubahan ketinggian air raksa dan arus *pressure transmitter* yang terbaca di komputer, kemudian tutup katup 1. verifikasi pada tekanan

dibawah atmosfer tidak hanya pada satu keadaan, oleh karena itu perlu ditambahkan tekanan. Merubah tekanan di vessel bisa dilakukan dengan membuka-tutup katup 2. Hal ini menyiasati agar didapatkan titik-titik verifikasi dibawah tekanan atmosfer sampai tekanan atmosfer.

Verifikasi untuk tekanan diatas atmosfer dilakukan dengan bantuan kompresor. Langkah dan tata cara sama dengan verifikasi dibawah tekanan atmosfer. Pertama buka katup 2 berikan tekanan pada vessel dengan kompresor, Setelah vessel bertekanan tutup katup 2 dan lepaskan kompresor dari sistem. Maka akan terjadi perbedaan ketinggian pada permukaan air raksa pada tabung U. Catat data perubahan ketinggian air raksa dan arus *pressure transmitter* yang terbaca komputer, kemudian itu tutup katup 1. Verifikasi pada tekanan diatas atmosfer tidak hanya pada satu keadaan, oleh karena itu perlu diturunkan tekanan. Merubah tekanan di vessel bisa dilakukan dengan membuka-tutup katup 2. Hal ini menyiasati agar didapatkan titik-titik verifikasi di atas tekanan atmosfer sampai tekanan atmosfer.

Data perbedaan tekanan tabung U dan *pressure transmitter* digambar dalam grafik. Grafik yang terbentuk adalah garis linier yang didapatkan dari perbandingan ketinggian tabung U dan arus *pressure transmitter*. gambar grafik verifikasi *pressure transmitter* channel 00 dan 01, sebagai berikut :



(a)

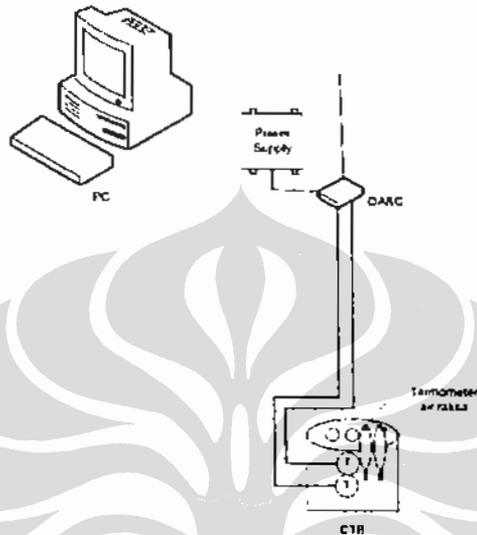
(b)

Gambar 4.6 : a). hasil verifikasi *pressure transmitter* channel 00

b). Hasil verifikasi *pressure transmitter* channel 01

#### 4.1.2.2 Verifikasi thermocouples

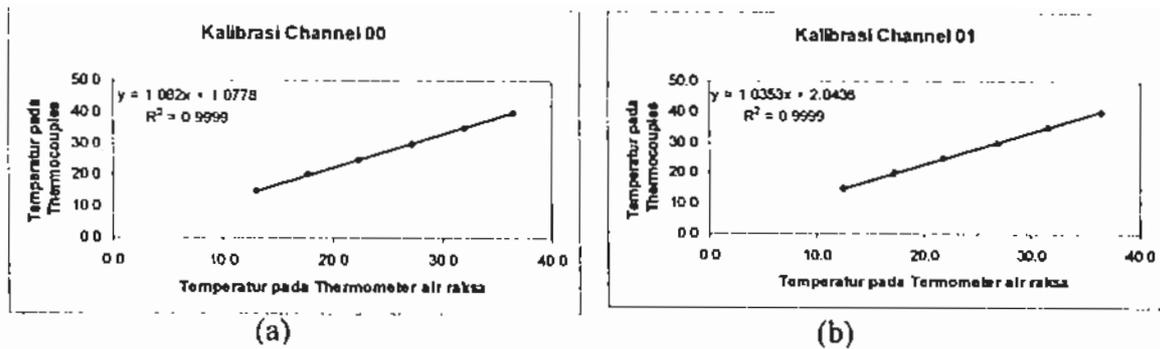
Pada verifikasi alat ukur temperatur dengan menggunakan *termocouples* dilakukan verifikasi temperatur pembacaan *termocouples* dengan skala temperatur standar. Gambar skematik verifikasi *termocouples*, sebagai berikut :



Gambar 4.7 : Skematik verifikasi thermocouples

Verifikasi 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 15.3°C, 20.3 °C, 25.3 °C, 30.3 °C, 35.3 °C dan 40.3 °C, dimana termometer air raksa terbaca 15°C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C dan 40 °C. 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 dan 01, sebagai berikut :



Gambar 4.8 : a). Hasil verifikasi *thermocouples* channel 00

b). Hasil verifikasi *thermocouples* channel 01

## 4.2 PERSIAPAN PENGUJIAN UNJUK KERJA ALAT UJI ADSORPSI KINETIK

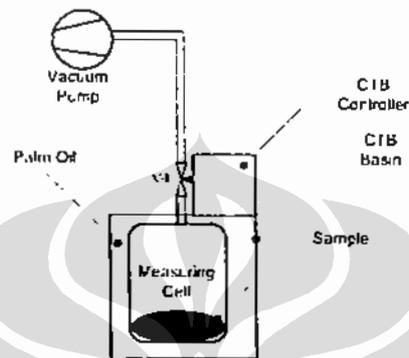
### 4.2.1 Degassing

Adsorben yang digunakan sebagai sampel untuk menguji unjuk kerja alat uji kinetik adsorpsi adalah karbon aktif terbuat dari batu bara merk Rutgers carbotech tipe *granule* ukuran DWF 10x20 AW. Pengujian ini bertujuan untuk menemukan nilai kapasitas dan laju penyerapan. Tahap persiapan uji unjuk kerja alat uji kinetik adsorpsi, yaitu : menyiapkan sampel seberat 3 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 4.9 : Timbangan AND FX 4000

Proses selanjutnya adalah proses *degassing*. Proses *degassing* dilakukan untuk regerasi 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 4.10 : 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 :

$$W_{\text{sampel Kering}} = W_{\text{sampel}} - (W_{\text{awal measuring cell + sampel}} - W_{\text{measuring cell + sampel setelah deg. u.s in g}}) \quad (4.2)$$

#### 4.2.2 Perhitungan volume alat uji adsorpsi kinetik

Perhitungan volume alat uji adsorpsi kinetik dilakukan untuk mendapatkan volume efektif dari alat uji yang menggunakan metode volumetrik. Volume ini dipergunakan dalam perhitungan kapasitas dan laju penyerapan adsorpsi. Prosedur perhitungan volume alat uji adsorpsi, sebagai berikut : (Perwitasari, Ayu, 2008, Dawoud dan Aristov, 2003, Sudibandriyo, et al 2003) :

1. Perhitungan volume kosong alat uji adsorpsi kinetik
  - a. Menghitung volume dari dimensi alat uji adsorpsi kinetik yang telah dibuat, yaitu pressure vessel, measuring cell, katup dan pipa-pipa.
  - b. Volume ini adalah volume kosong dari alat uji adsorpsi kinetik.
2. Perhitungan volume alat uji adsorpsi dengan sampel.

Pada perhitungan ini diletakkan sampel karbon aktif merek carbotech pada measuring cell seberat 3 gram. Persamaan untuk menghitung volume alat uji dan sampel sebagai berikut :

$$V_{\text{void}} = V_{\text{measuring cell}} - V_{\text{ruang yang terisi sampel}} + V_{\text{pori-pori sampel}} \quad (4.3)$$

Prosedur perhitungan volume total adalah sebagai berikut :

- a. Mengatur temperatur perhitungan yaitu 30°C, dengan mengaktifkan CTB 1 pada 60°C dan CTB 2 37°C.
- b. Penvakuman alat uji sampai dengan ± 10 mbar dengan membuka semua katup menaktifkan pompa vakum. Setelah alat uji dalam keadaan vakum tutup katup 3 dan non aktifkan pompa vakum. Kemudian alirkan gas helium (He) kedalam sistem dengan membuka katup 1 sampai dengan tekanan pengujian. Kemudian buka katup 2 proses berjalan selama 900 detik, tunggu sampai tekanan gas setimbang maka didapatkan aliran massa dengan menggunakan persamaan :

$$\dot{m}_{\text{ads}} = \frac{\Delta m_{\text{ads}}(t)}{\Delta t} = \frac{(p_{\text{vv}}(t) - p_{\text{vv}}(t + \Delta t)) \cdot V_{\text{vv}}}{R_{\text{vv}} \cdot T_{\text{vv}} \cdot \Delta t} - \frac{(p_{\text{ms}}(t + \Delta t) - p_{\text{ms}}(t)) \cdot V_{\text{ms}}}{R_{\text{d}} \cdot T_{\text{ms}} \cdot \Delta t} \quad (4.4)$$

- c. Setelah 15 menit, tutup katup 2 maka perhitungan volume dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_{\text{void}} = \frac{m_{t=900} \cdot R \cdot T}{P_{t=900}} \quad (4.5)$$

- d. Mengeluarkan gas He dari alat uji dengan membuka katup 3.

Contoh perhitungan volume alat uji adsorpsi kinetik (Perwitasari, Ayu, 2008) :

Jika diketahui  $P_0 = 3863133 \text{ pa}$ ,  $R = 8134 \text{ J/kg.K}$ ,  $P_{t=900} = 3372502 \text{ pa}$  dan  $T = 303 \text{ K}$ , maka :

$$\dot{m}_{\text{ads}} = \frac{\Delta m_{\text{ads}}(t)}{\Delta t}$$

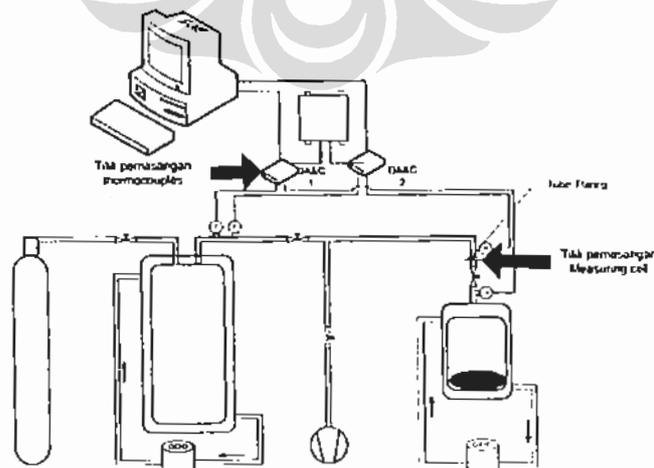
$$= 1.60\text{E-}06 \text{ mg/gr}$$

$$V_{\text{void}} = \frac{m_{t=900} \cdot R \cdot T}{P_{t=900}}$$

$$= 119.51 \text{ ml}$$

### 4.3 PENGUJIAN UNJUK KERJA ALAT UJI ADSORPSI KINETIK

Proses pengujian alat uji adsorpsi kinetik dilakukan dengan beberapa langkah. Langkah pertama yaitu *measuring cell* dan *thermocouples* dihubungkan kembali ke alat uji kinetik adsorpsi setelah proses *degassing* dan validasi perubahan berat selesai. Pemasangan *measuring cell* pada alat uji dilakukan dengan memasang dan mengencangkan *tube flaring* pada titik yang telah disediakan, sedangkan *thermocouples* dipasang kembali ke DA&C 1 pada *channel 01*. Titik pemasangan *measuring cell* dan *thermocouples* dapat dilihat pada titik pemasangan *measuring cell* dan *thermocouples*, sebagai berikut :



Gambar 4.11 : Titik pemasangan *measuring cell* dan *thermocouples*

Proses berikut adalah mengaktifkan DA&C1 dan DA&2 dengan menghidupkan *power supply*. Kemudian aktifkan program pembacaan alat ukur, dengan meng"click" visidag 3.11 *builder* pada start menu windows, buka recent file dengan nama STRTGY1. Setelah program terbuka *setting* tempat penyimpanan (file) dengan meng "click" icon LOG 1  pada task designer. Pada kolom file name, beri nama data yang akan diuji, kemudian save. Run program dengan memilih run tab dan "click" start .

Proses selanjutnya adalah pemvakuman sistem, dengan langkah katup 2, 3 dan 4 serta aktifkan pompa vakum. Proses pemvakuman dilakukan sampai dengan  $\pm 10$  mbar. Setelah tekanan sudah tercapai, kemudian tutup katup 2 dan 3 serta non aktifkan pompa vakum.

Setelah alat uji dalam keadaan vakum, maka sirkulasikan fluida kerja di di CTB 1 dan 2. Sirkulasi fluida kerja pada measuring cell posisi 1 yaitu menutup keran 2 dan membuka keran 1. Hal ini dimaksudkan untuk menaikkan temperatur *pressure vessel* dan *measuring*. Temperatur dinaikkan sampai dengan temperatur pengujian, untuk pengujian unjuk kerja alat uji adsorpsi kinetik  $30^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .

Langkah berikut adalah menstabilkan temperatur pengujian, temperatur pengujian untuk pengujian unjuk kerja adalah  $30^{\circ}\text{C}$ . Cara menstabilkan temperatur yaitu dengan menjaga konsistensi temperatur fluida kerja pada CTB 1 dan CTB 2. Selain menjaga konsistensi temperatur, debit air fluida kerja di CTB 1 dan CTB 2 juga distabilkan dengan mengatur keran 3 dan 4.

Setelah temperatur stabil masukkan adsorbat dengan membuka katup 1, untuk pengujian unjuk kerja digunakan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ). Pembukaan katup 1 dilakukan sampai dengan tekanan di *pressure vessel* pengujian, kemudian katup 1 ditutup kembali.

Adsorbat telah berada di *pressure vessel*, maka pengambilan data siap dilakukan. Buka katup 2 untuk mengalirkan adsorbat dari *pressure vessel* ke *measuring cell*. Pada waktu  $\pm 10$  menit setelah katup 2 dibuka posisikan aliran fluida kerja pada CTB 2 di posisi 2, yaitu menutup keran 1 dan keran 3.

Kemudian kondisikan temperatur fluida kerja pada CTB 2 di 10°C. Komputer akan mencatat data yang didapatkan yaitu perubahan tekanan pada temperatur *pressure vessel* dan *measuring cell* konstan pada 30°C selama ± 30 menit.

Setelah tempertur CTB 2 menunjukkan 10°C, sirkulasikan kembali fluida kerja pada CTB 2 yang telah dikondisikan 10°C dengan membuka keran 1 dan 3 serta menutup keran 2 agar fluida kerja dapat menuju *measuring cell*. Pada proses inilah penyerapan secara isothermal terjadi (Elyas, Anas,2006).

Proses adsorpsi isothermal untuk pengujian unjuk kerja alat uji kinetik adsorpsi 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 sebagai berikut :

laju aliran massa adsorbat yang diserap oleh adsorben

$$\begin{aligned} \dot{m}_{ads} &= \frac{\Delta m_{ads}(t)}{\Delta t} \\ &= \left( \frac{(p_{vw}(t) - p_{vw}(t + \Delta t)) \cdot V_{vw}}{R_{vw} \cdot T_{vw} \cdot \Delta t} - \frac{(p_{ms}(t + \Delta t) - p_{ms}(t)) \cdot V_{ms}}{R_d \cdot T_{ms} \cdot \Delta t} \right) \end{aligned} \quad (4.6)$$

kapasitas adsorpsi

$$x = x_0 + \sum_{i=0}^i \frac{\Delta m_{ads}}{m_{s,dry}} \quad (4.7)$$

$X_0$  = kapasitas adsorpsi pada penyerapan pertama (first loading)

#### 4.4 METODE PENGUJIAN REPEATIBILITY DATA

Pengujian *repeatability* dilakukan untuk mendapatkan keakuratan pengukuran kapasitas dan laju penyerapan menggunakan alat uji adsorpsi adsorpsi kinetik. Uji ini dilakukan dengan cara mengambil dua kali data pengujian sesuai dengan metode, kondisi, sampel pengujian yang sama. Uji statistika dilakukan untuk menguji kesamaan hasil pengujian. Pengujian industrial untuk membandingkan dua buah pengukuran dapat di uji dengan uji T berpasangan. Persamaan yang digunakan uji t berpasangan, sebagai berikut (Wahana, 2003) :

$$D_j = X_{1j} - X_{2j}$$

$$D = \frac{\sum_{j=1}^n D_j}{n} \quad (4.8)$$

$$S^2_D = \frac{\sum_j D_j^2 - \left[ \left( \sum_{j=1}^n D_j \right)^2 / n \right]}{n-1} \quad (4.9)$$

$$t_0 = \frac{D}{S_D / \sqrt{n}} \quad (4.10)$$

Dimana :  $D_j$  = rata-rata perbedaan

$S_d$  = Standar deviasi

$n$  = Jumlah sampel

$X_{1j}$  = Sampel 1

$X_{2j}$  = Sampel 2

Hipotesis pengujian pada uji *repeatability*, sebagai berikut :

$H_0 : \mu \neq 0$  : terdapat kesamaan data antara pengukuran 1 dan 2

$H_a : \mu = 0$  : tidak terdapat kesamaan data pengukuran 1 dan 2

Kriteria penerimaan hipotesis penelitian pada  $\alpha=0.05$  adalah  $t < t_{w/2, n-1}$

#### 4.4 ANALISIS PENGUJIAN UNJUK KERJA ALAT UJI ADSORPSI KINETIK

Analisis pengujian alat uji adsorpsi kinetik dimaksudkan untuk menganalisis unjuk kerja alat uji adsorpsi kinetik dan keakuratan data yang dihasilkan alat uji. Pengujian pertama yang dilakukan adalah menguji alat uji adsorpsi kinetik dalam keadaan kosong atau tanpa sampel. Pengujian ini dimaksudkan mendapat informasi, bahwa penurunan tekanan saat adsorpsi terjadi tidak semata-mata karena penurunan temperatur, tetapi karena terjadi penyerapan. Merujuk pada persamaan gas ideal bahwa terdapat hubungan antara tekanan dan temperatur (Wark, R dan D. F. Richard, 1999) , maka perlu dilakukan uji tanpa

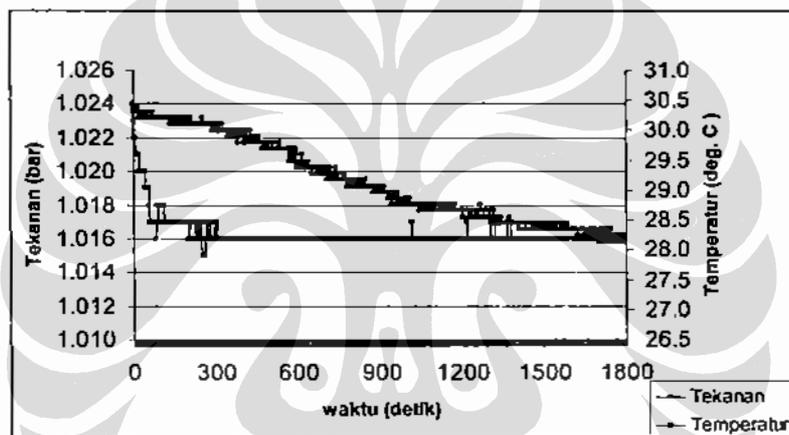
sampel untuk melihat seberapa jauh pengaruh hubungan tersebut. Kondisi pengujian tanpa sampel, sebagai berikut :

Tabel 4.1 : Kondisi pengujian tanpa sampel

Adsorbat	Temperatur uji (°C)	Tekanan awal (bar)	t <sub>pengujian</sub> (detik)
CO <sub>2</sub>	30	1.06	1800

Metode pengujian tanpa sampel dilakukan sama seperti prosedur pengujian yang telah di informasikan sebelumnya. Perbandingan tekanan dan temperatur, sebagai berikut :

Gambar 4.12 : Perbandingan tekanan dan temperatur pada uji tanpa sampel



Gambar 4.12 menggambarkan fenomena tekanan dan temperatur di *measuring cell* alat uji kinetik adsorpsi. Berdasarkan gambar 4.11 penurunan tekanan tidak hanya terjadi karena penurunan temperatur. Hal ini dapat dilihat penurunan tekanan ekstrim terjadi di 300 detik pertama, tetapi penurunan temperatur terjadi tetapi tidak ekstrim. Penurunan temperatur ekstrim pada >300 detik, tetapi tekanan berkecenderungan konstan. Fenomena ini dikarenakan tekanan adsorbat dibawah *critical pressure* CO<sub>2</sub> (adsorbat) (lampiran 3), dimana penurunan temperatur diikuti penurunan spesifik volume dari adsorbat pada tekanan konstan. (Wark, R dan D. E Richard, 1999). Dari fenomena tersebut dapat disimpulkan bahwa penurunan tekanan tidak terjadi karena penurunan temperatur selama tekanan masih dibawah *critical pressure*.

Persiapan sampel pengujian unjuk kerja alat uji adsorpsi kinetik merupakan hal yang pertama dilakukan pada pengujian. Sampel pengujian unjuk kerja adalah karbon aktif terbuat dari batu bara, spesifikasi sampel sebagai berikut (Saragih, Sehat, 2008) :

Tabel 4.2 : Spesifikasi sampel

Sampel	Ukuran (mesh)	Luas permukaan BET (m <sup>2</sup> /g)	Iodine number (mg/g)
Carbotech	10x20	875.5	665

Proses *degassing* dilakukan pada temperatur 150°C selama satu jam (Dawoud dan Aristov, 2003). Hasil dari proses *degassing* pada sampel untuk pengujian unjuk kerja 1.5 bar, sebagai berikut :

Tabel 4.3 : Hasil proses *degassing* sampel pengujian unjuk kerja

Sampel	No Uji	Temperatur <i>degassing</i> (°C)	Waktu <i>degassing</i> (menit)	Berat sampel sebelum <i>degassing</i> (gram)	Berat sampel setelah <i>degassing</i> (gram)
Carbotech	1	150	60	3	2.34
	2	150	60	3	2.18

Berdasarkan tabel 4.3 dapat dilihat berat sampel sesudah dan sebelum proses *degassing*, dimana penurunan berat terjadi pada dari berat awal seberat 3 gram untuk masing-masing sampel. Perbedaan berat setelah *degassing* Hal ini diakibatkan karena berbeda kandungan zat yang tidak sengaja terserap sampel pada proses perjalanan dari produsen ke konsumen maupun penyimpanan sampel. Sampel pengujian di *degassing* dilakukan untuk regerasi atau mengeluarkan zat terserap sebelum proses pengujian dilakukan, proses ini dilakukan beberapa jam pada keadaan vakum (Saha, Bidyut Baran et al, 2006). Preparasi sampel adsorpsi isothermal dilakukan dengan *degassing* sampel untuk mendapatkan massa kering sampel data pengujian yang valid ( Keller, J.U et al, 2002). Proses *degassing* didapatkan adsorben kering sebelum dilakukan pengujian unjuk kerja alat uji

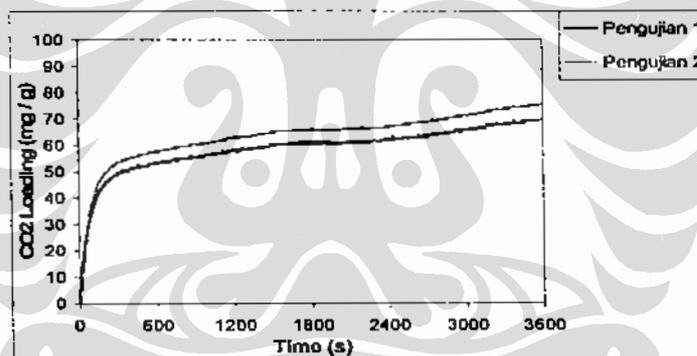
adsorpsi kinetik, sehingga data yang didapatkan adalah data penyerapan adsorben terhadap adsorbat yang valid.

Kondisi pengujian unjuk kerja alat uji adsorpsi kinetik dilakukan dengan kondisi pengujian, sebagai berikut :

Tabel 4.4 : Kondisi pengujian unjuk kerja alat uji adsorpsi kinetik

No. Pengujian	Temperatur uji (°C)	Tekanan awal (bar)	t <sub>pengujian</sub> (detik)
1.	30	1.5	3600
2.	30	1.5	3600

Pengujian dilakukan bertujuan untuk melihat *repeatability* alat uji adsorpsi kinetik. Pengujian dilakukan pada alat uji adsorpsi kinetik yang telah dirancang dan dibuat sesuai spesifikasi seperti diinformasikan pada bab III. Langkah pengujian sesuai dengan metode pengujian pada sub bab 4.3. Hasil pengujian pertama dapat dilihat pada tabel 4.5 dan gambar 4.13, sebagai berikut :



Gambar 4.13 : Grafik pengujian unjuk kerja alat uji adsorpsi kinetik

Pada gambar 4.12 dapat dilihat kurva unjuk kerja alat uji adsorpsi mengukur laju penyerapan adsorben menyerap adsorbat. Laju penyerapan adalah parameter untuk mengukur banyaknya adsorbat yang terserap adsorben per satuan waktu (Saha, Bidyut Baran et al, 2006). Pada pengujian pertama terlihat laju penyerapan tertinggi adsorben menyerap adsorbat pada t = 0 detik sampai t = 600 dengan nilai, sebesar 52.840 [mg/g] dibandingkan t = 601 detik sampai t = 3600 detik.. Sedangkan Pada pengujian kedua terlihat laju penyerapan tertinggi adsorben menyerap adsorbat pada t = 0 detik sampai t = 600 detik. dengan nilai sebesar 57.244 [g/ 100g] dibandingkan t = 601 detik sampai t = 3600 detik. Hal

ini dikarenakan fisik dari adsorben yaitu pada permukaan dan pori adsorben belum terisi oleh adsorbat, sehingga jumlah massa adsorbat yang diserap lebih banyak. Nilai laju penyerapan adsorpsi tidak efisien apabila dibatasi hambatan permukaan, perpindahan kalor dan massa (Suryawan, Bambang 2004).

Tabel 4.5 : Hasil pengujian pertama dan kedua unjuk kerja alat uji adsorpsi kinetik pada perhitungan kapasitas adsorpsi

No. Pengujian	Adsorbat	Adsorben	Massa kering adsorben (gram)	$X_{\infty}$ (mg / g)
1.	CO <sub>2</sub>	carbotech	2.34	69.659
2.	CO <sub>2</sub>	carbotech	2.18	75.550

Kapasitas adsorpsi adalah jumlah adsorbat yang diserap (adsorp) oleh adsorben per unit massa atau volume adsorben (Suryawan, Bambang 2004). Pada tabel 4.5, terlihat hasil pengujian pertama dan kedua unjuk kerja sistem adsorpsi kapasitas adsorpsi ( $X_{\infty}$ ) sebesar 69.659 dan 75.550 [mg/g], dengan asumsi tidak ada adsorbat yang terserap pada  $t = 0$  detik. Perhitungan kapasitas adsorpsi digunakan persamaan gas ideal (STP) (Dawoud dan Aristov, 2003). Kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> pada aktif karbon pada  $P = 1.5$  bar pada temperatur uji 45°C adalah 54.30 mg/gr (Sudibandriyo, Mahmud et al, 2003). Hasil pengujian unjuk kerja menunjukkan perbedaan 15 %, hal ini dikarenakan terdapat perbedaan temperatur pengujian sebesar 15° C, maka kapasitas yang dihasilkan pada unjuk kerja lebih besar 15 % dari literatur.

Tabel 4.6 : Uji T berpasangan menggunakan Spss 12.0

Pair 1	Pengujian_1 - Pengujian_2	Paired Differences					t	df
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference			
					Lower	Upper		
		-4.877	.772	.0128	-4.902	-4.852	379.177	3599

Uji statistik pada tabel 4.5 dilakukan untuk menguji kesamaan data antara pengujian 1 dan 2. Pengujian industrial untuk membandingkan dua buah

pengukuran dapat di uji dengan uji T berpasangan (Bowker, A.H dan Lieberman, G.J, 1972). Pengujian statistik menggunakan uji T berpasangan. Pengujian ini bertujuan untuk menguji kesamaan distribusi data pengujian dibandingkan tabel distribusi t. Pengujian hipotesis penelitian dibantu dengan perangkat lunak Spss 12.0.

Berdasarkan tabel 4.5 rata-rata perbedaan antara pengujian 1 dan 2 sebesar -4.877 (persamaan 4.8). Nilai kepercayaan pengamatan rata-rata perbedaan data pengujian pada tingkat signifikansi data 95 %, didapat nilai terendah -4.902 dan tertinggi -4.852, dimana rata-rata kesalahan (error) pengambilan rata-rata 0.128. Nilai variasi distribusi data dari pengujian 1 dan 2 adalah 0.772 (persamaan 4.9).

Dari analisis statistika uji T berpasangan didapatkan  $t_{hitung} = -379.177$  (persamaan 4.10) pada derajat kebebasan data (df) 3599, dan  $t_{tabel}$  pada  $\alpha=0.05$  sebesar 1.645 (lampiran 4). Kriteria penerimaan hipotesis alternatif dengan penolakan  $t < t_{\alpha/2, n-1}$ , maka hipotesis pengujian alternatif ditolak artinya terdapat kesamaan data antara pengujian 1 dan 2 pada taraf signifikan 95%.