

M8-023 Adsorpsi Isothermal CO₂ pada Karbon Aktif

dari Batubara Riau dengan Metode Volumetrik

Awaludin Martin, Bambang Suryawan, M. Idrus Alhamid, Nasruddin

Laboratorium Teknik Pendingin dan Pengkondisian Udara

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknik-Universitas Indonesia

awaludin_martin@yahoo.com

Abstrak

Sistem penyerapan atau sistem adsorpsi banyak sekali digunakan baik dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam dunia industri, seperti pada sistem penyerapan limbah, sebagai katalis reaksi, gas storage (penyimpan gas), sistem pendingin, pemurnian gas alam dan lain-lain. Pada sistem penyerapan media penyerapnya biasa disebut sebagai adsorben dan zat yang terserap disebut sebagai adsorbat. Pada rancangan untuk aplikasi tersebut diatas disamping data properti material berporinya (adsorben,) data penyerapan (kinetik dan thermodinamika) juga dibutuhkan. Paling tidak terdapat dua metode untuk mendapatkan data penyerapan (adsorption equilibrium), pertama adalah metode langsung (metode gravimetrik/gravimetric method) dan yang kedua metode tak langsung (metode volumetric/volumetric method). Pada penelitian ini media penyerap yang digunakan adalah karbon aktif yang berasal dari batubara Riau dan zat yang terserapnya (adsorbat) adalah gas CO₂. Penelitian ini menghasilkan data kapasitas penyerapan CO₂ pada karbon aktif pada tekanan sampai dengan 10 bar dengan menggunakan metode tak langsung (metode volumetric) pada temperatur isothermal 30°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas penyerapan CO₂ pada karbon aktif sangat dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur ruang pengukuran. Semakin besar tekanan maka kapasitas penyerapan semakin besar.

Kata kunci : adsorpsi isothermal, kapasitas penyerapan, metode volumetrik

Pendahuluan

Sistem penyerapan atau sistem adsorpsi banyak sekali digunakan baik dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam dunia industri. Salah satu contoh dalam kehidupan sehari-hari sistem adsorpsi biasa digunakan pada sistem penjernihan air, dan dalam dunia industri sistem adsorpsi biasa digunakan pada sistem penyerapan limbah, sebagai katalis reaksi, gas storage (penyimpan gas), sistem pendingin, pemurnian gas alam dan lain-lain.

Salah satu aplikasi sistem penyerapan adalah pada sistem penyerapan CO₂. Emisi gas CO₂ dari hasil pembakaran bahan bakar fosil pada kendaraan, industri, pembangkit listrik dan lain-lain yang terakumulasi di atmosfer akan mengakibatkan terjadinya pemanasan global. Sistem adsorpsi adalah salah satu cara atau metode yang paling efektif untuk memisahkan CO₂ dengan zat lainnya yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil (Lee, Jong-Seok, et.al, 2002).

Pada rancangan untuk aplikasi tersebut diatas disamping data properti material berporinya (adsorben,) data laju dan kapasitas penyerapan (kinetik dan thermodinamika) juga dibutuhkan. Paling

tidak terdapat dua metode untuk mendapatkan data penyerapan (adsorption equilibrium), pertama adalah metode langsung (metode gravimetrik/gravimetric method) dan yang kedua metode tak langsung (metode volumetric/volumetric method).

Penelitian ini akan mengkaji penyerapan pada kondisi isothermal (adsorption isothermal) karbon dioksida CO₂ sebagai adsorbat pada karbon aktif sebagai adsorben pada tekanan sampai dengan 10 bar pada temperatur 30°C dengan menggunakan metode volumetrik. Data yang diperoleh adalah data kapsitas penyerapan dan laju penyerapan CO₂ pada karbon aktif.

Analisis Keseimbangan Massa

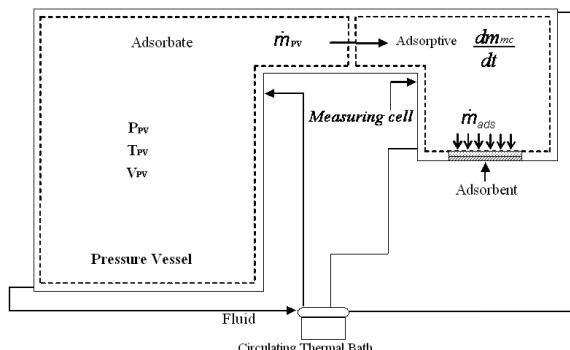
Kesetimbangan massa uap adsorbat dalam *measuring cell* menurut Dawoud dan Aristov, 2003, dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$\frac{dm_{d,ms}}{dt} = |\dot{m}_{vv}| - \dot{m}_{ads} \quad (1)$$

Dimana:

$\frac{dm_{d,ms}}{dt}$: laju aliran massa adsorbat di *measuring cell* $|\dot{m}_{vv}|$: laju aliran massa adsorbat di *pressure vessel*

\dot{m}_{ads} : laju aliran massa adsorbat yang diserap oleh adsorben (kg/s)



Gambar 1. Skema Keseimbangan Massa pada Proses Penyerapan

Selama proses dari mulai *Pressure vessel* sampai pada *measuring cell* diasumsikan bahwa uap adsorbat mempunyai sifat gas ideal dimana Z adalah faktor kompresibilitas, sehingga:

$$|\dot{m}_{vv}| = \left| \frac{\Delta m_{vv}}{\Delta t} \right| = \frac{m_{vv}(t) - m_{vv}(t + \Delta t)}{\Delta t} = \frac{(p_{vv}(t) - p_{vv}(t + \Delta t)) \cdot V_{vv}}{Z \cdot R_{vv} \cdot T_{vv} \cdot \Delta t} \quad (2)$$

$$\frac{dm_{d,ms}}{dt} = \frac{(m_{d,ms}(t + \Delta t) - m_{d,ms}(t))}{\Delta t} = \frac{(p_{ms}(t + \Delta t) - p_{ms}(t)) \cdot V_{ms}}{Z \cdot R_d \cdot T_{ms} \cdot \Delta t} \quad (3)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2) dan (3) ke dalam pers (1), maka didapat:

$$\dot{m}_{ads} = \frac{\Delta m_{ads}(t)}{\Delta t} = \frac{(p_{vv}(t) - p_{vv}(t + \Delta t)) \cdot V_{vv}}{Z \cdot R_{vv} \cdot T_{vv} \cdot \Delta t} - \frac{(p_{ms}(t + \Delta t) - p_{ms}(t)) \cdot V_{ms}}{Z \cdot R_d \cdot T_{ms} \cdot \Delta t} \quad (4)$$

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

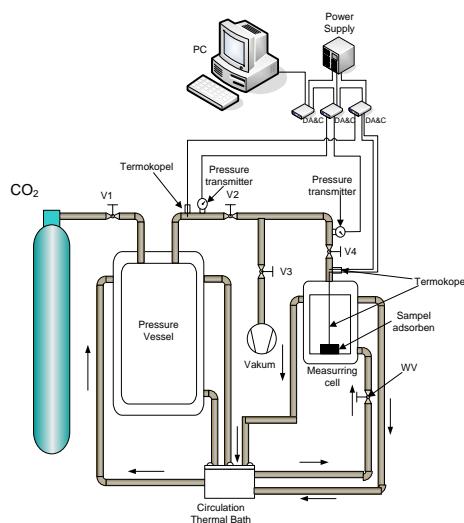
$$x = \sum_{t=0}^t \frac{\Delta m_{ads}}{m_{s,dry}} \quad (5)$$

Metode Penelitian

Karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben pada penelitian ini adalah karbon aktif yang berbahan dasar batubara Riau dengan angka iodine 589,1 gr/kg dan karbon dioksida yang digunakan adalah karbon dioksida dengan kadar kemurnian 99,9 % - 99,99%.

Alat uji adsorpsi kinetik

Untuk mengkaji karakteristik Adsorpsi Isothermal digunakan alat uji adsorpsi kinetik, alat uji ini menggunakan metode volumetrik yang dapat mengukur perubahan temperatur dan tekanan persatuannya waktu. Data perubahan temperatur dan tekanan tersebut selanjutnya akan diolah dengan menggunakan persamaan gas ideal, sehingga akan diperoleh data kapasitas dan laju penyerapan karbon aktif terhadap CO_2 sebagai adsorbat.



Gambar 2. Skema alat Uji Adsorpsi Kinetik

Prosedur Penelitian

Berikut adalah prosedur pengujian karakteristik adsorpsi isotermal:

1. Pengujian dimulai dengan memasukkan sampel karbon aktif sebanyak 2 gram ke dalam *measuring cell* untuk dilakukan *degassing* dengan memvakumnya selama 60 menit pada temperatur 150°C ,

dengan waktu dan temperatur proses tersebut dapat mengeluarkan zat *impurity* pada karbon aktif. Sebelum dan sesudah proses *degassing* sampel ditimbang untuk mendapatkan berat kering sampel (*dry sorbent*). Setelah proses degassing *measuring cell* dihubungkan dengan *tube* yang terhubung dengan *pressure vessel*.

2. Setelah terhubung seluruhnya, katup 2, 3 dan 4 dibuka dan pompa vakum diaktifkan. Pompa vakum dinon-aktifkan setelah tercapai tekanan ± 10 mbar dengan terlebih dahulu menutup seluruh katup tersebut diatas.
3. *Circulating thermal bath* dan sistem pemanas udara terkontrol dioperasikan untuk menaikkan dan kemudian menjaga temperatur pada *pressure vessel* dan *measuring cell* serta peralatan lainnya yang berada dalam ruang pengujian konstan pada temperatur $30 \pm 0,2^\circ\text{C}$.
4. Setelah temperatur pada *pressure vessel* dan *measuring cell* mencapai 30°C dan konstan pada temperatur tersebut, katup 1 dibuka sehingga adsorbat (CO_2) masuk menuju *measuring cell* sampai pada tekanan adsorpsi yang diinginkan, selanjutnya katup 2 dan 4 juga dibuka.
5. Pengambilan data penyerapan dimulai ketika tekanan pada *pressure vessel* dan *measuring cell* homogen.
6. Proses adsorpsi isothermal berlangsung selama 60 menit atau sampai karbon aktif tidak lagi mampu menyerap adsorbat. Hal tersebut dapat diketahui dengan tidak adanya penurunan tekanan.

Setelah proses selesai data tekanan dan temperatur ketika pengujian tercatat pada komputer. Data tersebut dianalisis dengan menggunakan persamaan gas ideal.

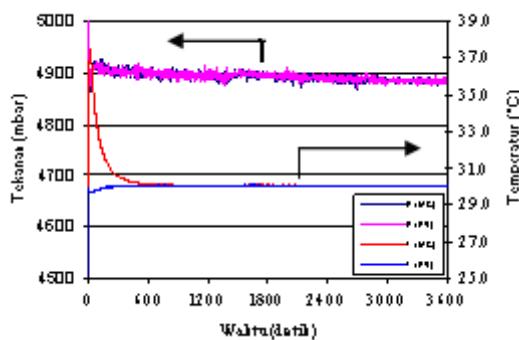
Hasil dan Pembahasan

Adsorpsi isothermal Karbon dioksida (CO_2) pada karbon aktif dilakukan dengan menggunakan metode volumetrik pada temperatur konstan $30^\circ\text{C} \pm 0,2$ dengan tekanan sampai dengan 10 bar.

Adsorpsi Isothermal CO_2 pada tekanan 5 bar

Awal proses adsorpsi adalah ketika katup penghubung antara *pressure vessel* dan *measuring cell* dibuka, maka secara langsung adsorbat yang berada di *pressure vessel* mengalir kedalam *measuring cell*. Hal ini menyebabkan tekanan pada *pressure vessel* turun dan tekanan pada *measuring cell* naik secara drastis. Penurunan dan kenaikan tekanan tersebut menyebabkan turun dan naiknya temperatur pada *pressure vessel* dan *measuring cell* namun kemudian temperatur keduanya cenderung stabil pada kisaran 30°C seperti terlihat pada gambar 3.

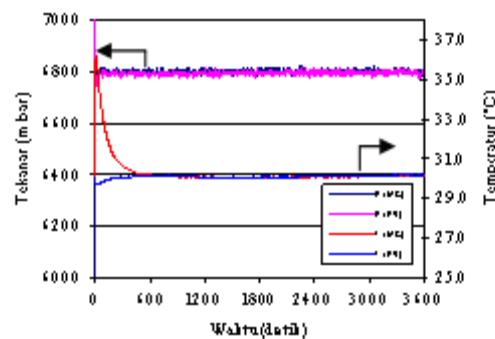
Pada gambar 3 terlihat bahwa tekanan pada *pressure vessel* dan *measuring cell* cenderung turun, hal tersebut terjadi karena adsorbat atau CO_2 terserap oleh karbon aktif.



Gambar 3. Proses adsorpsi isothermal pada tek. 5 bar

Adsorpsi Isothermal CO₂ pada tekanan 7 bar

Kondisi yang sama juga terjadi pada adsorpsi isothermal dengan tekanan 7 bar.

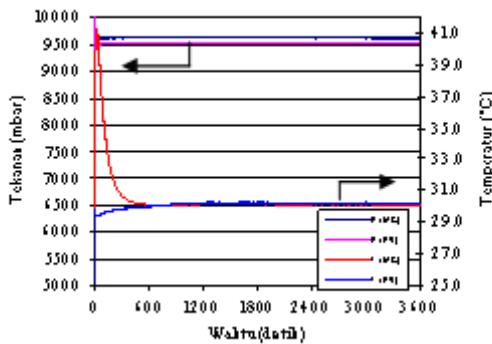


Gambar 4. Proses adsorpsi isothermal pada tek. 7 bar

Pada gambar 4 terlihat bahwa tekanan pada pressure vessel dan measuring cell juga cenderung mengalami penurunan namun kemudian cenderung stabil, sehingga dengan demikian CO₂ terserap oleh karbon aktif. Setelah dilakukan pengolahan data didapat kapasitas penyerapan CO₂ pada karbon aktif setelah 3600 detik sebesar 43,46 mg/gr karbon aktif.

Adsorpsi Isothermal CO₂ pada tekanan 10 bar

Gambar 5 memperlihatkan proses adsorpsi isothermal pada tekanan 10 bar. Kondisi yang sama juga terjadi pada adsorpsi isothermal pada tekanan 10 bar bahwa tekanan pada pressure vessel dan measuring cell cenderung turun kemudian stabil. Setelah dilakukan pengolahan data didapat bahwa kapasitas penyerapan CO₂ pada karbon aktif setelah 3600 detik hanya sebesar 24,07 mg/gr karbon aktif.

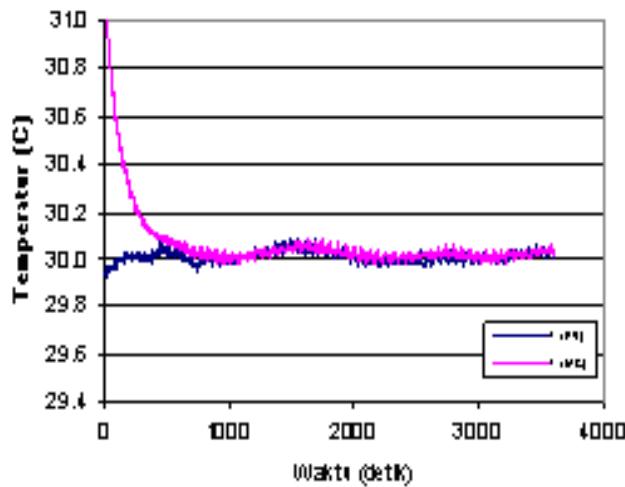


Gambar 5. Proses adsorpsi isothermal pada tek. 10 bar

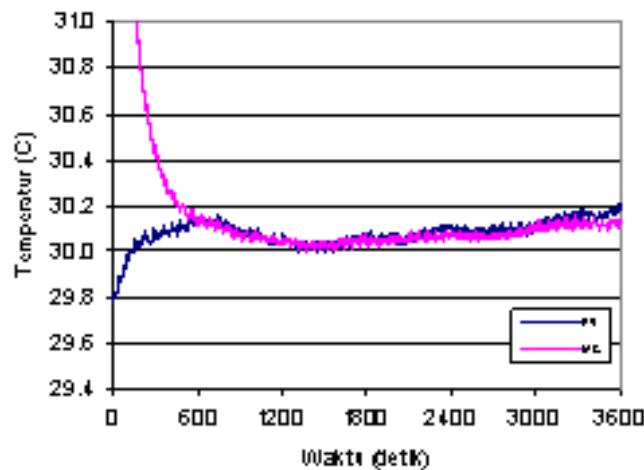
Kapasitas Penyerapan

Kapasitas penyerapan CO_2 pada karbon aktif dipengaruhi oleh karakteristik karbon aktif sebagai adsoben (luas permukaan, volume total pori dll) dan besarnya tekanan penyerapan. Semakin besar tekanan penyerapan maka jumlah adsorbat yang terserap juga semakin besar dengan asumsi temperatur penyerapan pada kondisi isothermal. Kondisi isothermal perlu dikondisikan, karena adsorbat yang menempel pada adsorben mudah sekali untuk diregenerasi.

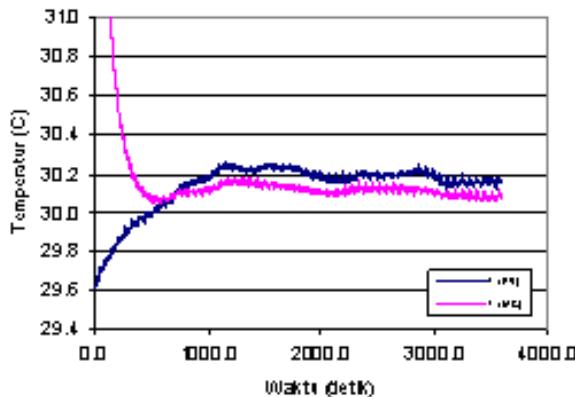
Dengan menggunakan persamaan diatas didapat bahwa kapasitas penyerapan CO_2 pada karbon aktif setelah 3600 detik pada tekanan 5, 7, dan 10 bar adalah 37,3 dan 43,46 serta 24,07 mg/gr karbon aktif. Terjadi penurunan kapasitas penyerapan pada tekanan 10 bar, hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan temperatur antara pressure vessel dan measuring cell. Perbedaan temperatur tersebut menyebabkan lepasnya molekul adsorbat yang telah menempel pada permukaan adsorben.



Gambar 6. Garfik hubungan temperatur dengan waktu pada tekanan 5 bar



Gambar 7. Garfik hubungan temperatur dengan waktu pada tekanan 7 bar



Gambar 8. Garfik hubungan temperatur dengan waktu pada tekanan 10 bar

Pada gambar 6, 7, dan 8 terlihat hubungan temperatur dengan waktu proses penyerapan. Pada Tekanan 5 dan 7 bar terlihat bahwa temperatur pada pressure vessel dan measuring cell cenderung berhimpit, namun pada tekanan 10 bar terdapat selisih temperatur antara pressure vessel dan measuring cell. Kondisi ini menyebabkan lepasnya adsorbat yang telah menempel pada karbon aktif pada proses penyerapan sehingga kapasitas penyerapannya menjadi berkurang.

Kesimpulan

Dari uraian diatas dapat disimpulkan:

1. Adsorpsi isothermal CO_2 pada karbon aktif berbahan dasar batubara Riau dilakukan pada tekanan sampai dengan 10 bar dengan temperatur $30^\circ\text{C} \pm 0,2$ dengan menggunakan metode volumetrik
2. Penyerapan CO_2 pada karbon aktif terjadi pada temperatur konstan, dengan demikian penyerapan terjadi disamping karena sifat atau karakteristik karbon aktif sebagai juga dikarenakan besarnya tekanan.

3. Kapasitas penyerapan CO_2 pada karbon aktif dipengaruhi oleh besarnya tekanan. Semakin besar tekanan penyerapan, maka kapasitas penyerapan akan semakin besar dengan asumsi bahwa temperatur pada kondisi isothermal.
4. Penyerapan CO_2 pada karbon aktif adalah proses adsorpsi fisika yang sangat mudah di regenerasi. Terjadinya perubahan temperatur pada proses tersebut dapat mengakibatkan lepasnya molekul adsorbat dari adsorben.

Ucapan terima kasih

Penelitian ini didanai melalui Proyek Hibah Bersaing Direktorat Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional dengan No. 239 AT/DRPM-UI/N14/2008.

Daftar Pustaka

Dawoud, Belal, Yuri Aristov, 2003, Experimental Study on The Kinetics of Water Vapor Sorption on Selective Water Sorbent, Silica Gel and Alumina Under Typical Operating Conditions of Sorption Heat Pumps, *International Jounal of Heat and Mass Transfer*, pp 273-281

Lee, Jong-Seok, Jong-Hwa Kim, Jin-Tae Kim, Jeong-Kwon Suh, Jung-Min Lee, and Chang-Ha Lee, 2002, *Adsorption Equilibria of CO_2 on Zeolite 13X and Zeolite X/Activated Carbon Composite*, J.Chem. Eng. Data, 2002, 47, 1237-1242

Martin, Awaludin, Arfie I. Firmansyah, Bambang Suryawan, M. Idrus Alhamid, Nasruddin, 2008, Design, Manufacturing and Testing Kinetic Adsorption Test Rig, Sriwijaya International Seminar on Energy Science and Technology, Universitas Sriwijaya, Palembang, 5-6 Nov 2008