

## ANALISIS PENGARUH UKURAN BUTIR KARBON AKTIF TERHADAP ADSORPSI GAS N<sub>2</sub> DAN O<sub>2</sub> PADA KONDISI KRIOGENIK

Rahayu Kusumastuti, Itjeu Karliana, Sriyono, Sumijanto  
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir

### ABSTRAK

**ANALISIS PENGARUH UKURAN BUTIR KARBON AKTIF TERHADAP ADSORPSI GAS N<sub>2</sub> DAN O<sub>2</sub> PADA KONDISI KRIOGENIK.** RGTT200K merupakan reaktor generasi IV yang panasnya dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dan produksi hidrogen. Dalam sistem pengoperasian RGTT 200K, helium sebagai pendingin di prediksi mengandung beberapa pengotor diantaranya adalah H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>. Oksigen dan nitrogen merupakan salah satu jenis pengotor yang harus dipisahkan dari pendingin helium karena berpotensi terhadap degradasi sistem struktur dan komponen. Karbon aktif merupakan salah satu kandidat adsorben yang mempunyai kemampuan memisahkan gas N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> pada pendingin RGTT 200K. Oleh karena itu dilakukan analisis pengaruh ukuran butir karbon aktif terhadap adsorpsi gas N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> pada kondisi kriogenik dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran butir karbon aktif terhadap kapasitas adsorpsi karbon aktif dengan pemodelan unit adsorpsi Langmuir. Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *ChemCad*. Hasil analisis menunjukkan bahwa ukuran butir mempunyai pengaruh yang signifikan. Kenaikan ukuran butir dari 0,5 mm sampai 10 mm akan menurunkan kapasitas serap oksigen dan nitrogen dari 1,12 gr/sec menjadi 0,2821 gr/sec terjadi penurunan sebesar 74,8125 % . Dengan ukuran butir 0,5 mm, mempunyai kapasitas adsorpsi paling maksimal. Namun pada ukuran butir semakin kecil maka *pressure drop* nya semakin tinggi.

**Kata Kunci :** Adsorpsi, Ukuran Butir, Karbon Aktif, Kriogenik

### ABSTRACT

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF GRAIN SIZE ACTIVATED CARBON TO THE ADSORPTION OF NITROGEN AND OXYGEN GASSES IN CRYOGENIC CONDITION.** RGTT200K is one of IV-generation advanced reactors that produce heat for electricity and hydrogen production. In operating the reactor, helium, which is used as a reactor coolant, is predicted to contain some impurities such as H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>. Nitrogen and oxygen gasses is one type of impurities which have degradation potential to the structure and component system that must be separated from the helium coolant. Activated carbon is one candidate what has an ability to separate of nitrogen and oxygen gasses at reactor cooling system of RGTT 200K. This paper analyzed the influence of the grain size of the activated carbon adsorption of nitrogen and oxygen gasses at cryogenic condition using *ChemCad* software to determine their effects on the adsorption capacity with the Langmuir adsorption models. The result shows that the grain size is significantly influential. The increase in grain size from 0.5 mm to 10 mm will reduce the adsorption capacity of oxygen and nitrogen from 1.12 gr / sec to be 0,2821 gr/sec, it's decrease is 74,8125 % . The grain size at 0.5 mm have maximum of adsorption capacity but it has higher pressure drop.

**Keywords :** Adsorption, Grain size, Activated Carbon, Cryogenic

### PENDAHULUAN

RGTT200K merupakan reaktor berpendingin gas temperatur tinggi 200 MWt kogenerasi yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik, air bersih dan hidrogen untuk Indonesia di masa yang akan datang. Kogenerasi

yang diterapkan adalah sebagai pembangkit listrik, produksi hidrogen dan desalinasi air laut.

Dalam sistem RGTT200K ini, helium digunakan sebagai pendingin. Helium mempunyai kemampuan mentransfer panas pada temperatur tinggi dan bersifat *inert* (tidak mudah

bereaksi dengan material lain). Akan tetapi selama kontak dengan bahan bakar, helium mungkin akan mengalami kontaminasi dengan gas pengotor lainnya melalui *air ingress*, *water ingress*, *oil ingress*. Beberapa impurities tersebut diantaranya adalah CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O<sup>(1)</sup>. Pengotor ini akan selalu terbawa ke dalam sistem pendingin sehingga kontak dengan material.

Pada temperatur tinggi, pengotor tersebut bersifat agresif terhadap komponen sehingga dapat menimbulkan kerusakan. Kerusakan ini tidak dikehendaki karena dapat menimbulkan gangguan pada sistem keselamatan. Oleh karena itu dalam RGTT200K ini dilengkapi dengan Sistem Pemurnian Helium yang berfungsi untuk mengendalikan kualitas helium sehingga sesuai dengan syarat yang ditentukan<sup>(2)</sup>. Dalam sistem pemurnian helium terdapat empat tahap, pertama: penyaringan dengan filter HEPA yang berfungsi untuk menyaring debu karbon dan produk radionuklida. Kedua: oksidasi dengan oksidator CuO berfungsi untuk mengoksidasi gas CO menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> menjadi H<sub>2</sub>O sehingga mudah dipisahkan. Ketiga: penangkapan pengotor dengan kolom *molecular sieve*, dalam tahap ini beberapa pengotor yang disaring dengan *molecular sieve* adalah CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>. Tahap ke empat adalah adsorpsi menggunakan karbon aktif pada kondisi kriogenik terhadap gas N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> yang lolos dari penyaringan oleh *molecular sieve*. Dalam proses adsorpsi N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>, ukuran butir karbon aktif sangat berpengaruh pada kuantitas adsorpsi.

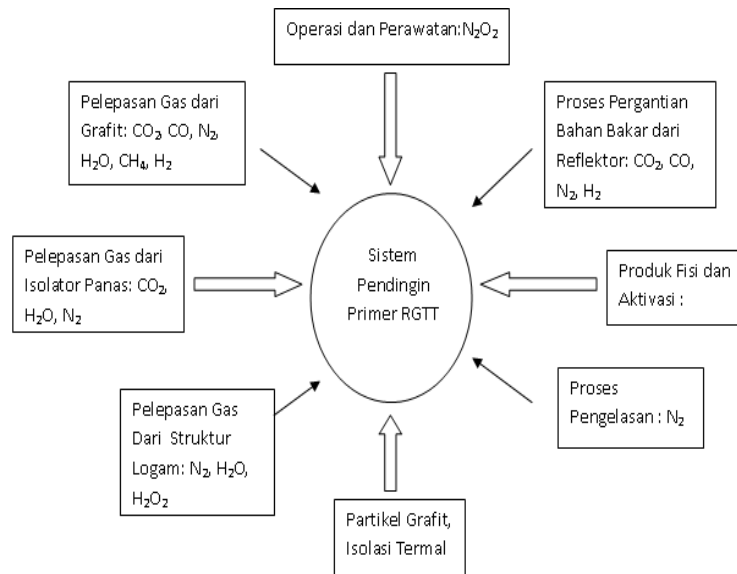
Pada penelitian ini dilakukan analisis pengaruh ukuran butir karbon aktif terhadap kuantitas adsorpsi gas nitrogen dan oksigen pada kondisi kriogenik. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh ukuran butir karbon aktif terhadap proses adsorpsi gas nitrogen dan oksigen pada kondisi kriogenik. Metodologi yang digunakan adalah dengan memodelkan proses adsorpsi gas N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> oleh karbon aktif dengan menggunakan perangkat lunak *Chem-Cad*. Data yang diperoleh dari penelitian ini akan digunakan sebagai dasar dalam mendesain kolom adsorpsi N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> pada kondisi kriogenik dimana temperaturnya -180 °C.

## TINJAUAN PUSTAKA

Helium sebagai media pendingin primer RGTT berfungsi untuk mengambil panas dari reaksi fisi dalam teras reaktor untuk dipindahkan ke unit konversi, produksi hidrogen dan desalinasi air laut. Dalam sistem operasinya, kemungkinan helium akan mengalami kontaminasi dengan gas pengotor lainnya melalui operasi reaktor, produk fisi dan aktivasi, partikel grafit, pelepasan gas dari struktur logam, pelepasan gas dari isolator panas, pelepasan gas dari grafit sehingga pendingin reaktor terkontaminasi oleh gas pengotor CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>O<sup>(3)</sup> seperti ditunjukkan pada Gambar. 1.

### **Konsep Sistem Pemurnian Helium Pendingin RGTT200K**

Sistem pemurnian helium pendingin RGTT 200K merupakan sistem yang dirancang untuk memurnikan helium pendingin reaktor dari pengotornya. Aliran pendingin reaktor yang dimurnikan dalam sistem pemurnian helium



Gambar.1. Sumber Pengotor RGTT

mengambil 1 % dari aliran pendingin utama pada temperatur 114 °C dan tekanan 50 bar. Konsep diagram alir sistem pemurnian helium seperti ditunjukkan pada Gambar.2.

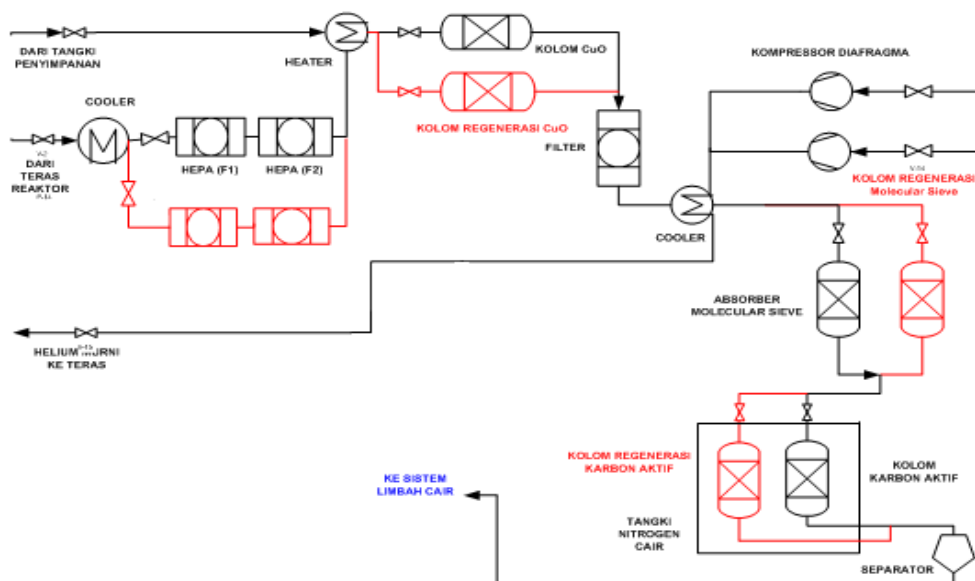
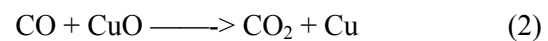
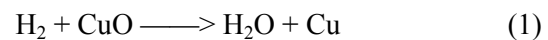
### Siklus Pemurnian Helium

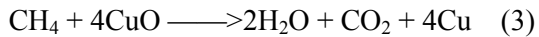
Siklus operasi sistem pemurnian helium terdiri dari lima tahap sebagai berikut;

1. Filtrasi partikulat padat oleh filter HEPA,

dilakukan pada temperatur 140 °C, tekanan 5 MPa

2. Konversi H<sub>2</sub> menjadi H<sub>2</sub>O, CO menjadi CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dilakukan dalam oksidator CuO pada temperatur 350 °C menurut reaksi sebagai berikut:

Gambar. 2. Konsep Diagram Alir Sistem Pemurnian Pendingin RGTT200K<sup>(3)</sup>



Proses konversi ini dilakukan dengan tujuan untuk memperbesar ukuran molekul, sehingga proses adsorpsi semakin mudah.

3. Penangkapan pengotor dengan kolom *molecular sieve*, dalam tahap ini beberapa pengotor yang disaring dengan *molecular sieve* adalah  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ .
4. Adsorpsi kriogenik. Pada tahap ini terjadi proses adsorpsi oleh karbon aktif pada kondisi kriogenik terhadap gas  $\text{N}_2$  dan  $\text{O}_2$  yang lolos dari penyaringan oleh *molecular sieve*. Kondisi kriogenik dilakukan pada temperatur  $-180\text{ }^\circ\text{C}$ , dimaksudkan untuk meningkatkan kapasitas serapan, dimana pada kondisi ini adsorpsi sangat efektif<sup>(4)</sup>.

### Adsorpsi

Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi saat molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan dan sebagian dari molekul-molekul tersebut menempel pada permukaan padatan tersebut<sup>(5)</sup>. Pada proses adsorpsi terdapat dua jenis adsorpsi yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Pada adsorpsi fisika, adsorbat atau molekul yang terserap pada adsorben memiliki ikatan *Van der Waals*<sup>(6)</sup> yaitu gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorbat.

Adsorpsi fisika bersifat *reversible* sehingga mudah untuk memisahkan antara molekul yang terserap dengan adsorben. Pada adsorpsi kimia molekul adsorbat terikat sangat kuat dengan atom atau molekul permukaan adsorben melalui ikatan kimia. Adsorpsi jenis ini bersifat

*irreversible*, sehingga sulit untuk dipisahkan antara molekul yang terserap dengan adsorben. Adsorpsi  $\text{N}_2$  dan  $\text{O}_2$  ini menggunakan jenis adsorpsi Langmuir.

### Adsorpsi Pada Karbon Aktif

Karbon aktif adalah salah satu jenis adsorben dimana struktur atom karbonnya adalah struktur atom karbon amorf, yang sebagian besar terdiri dari karbon bebas dan memiliki rongga sehingga memiliki kemampuan daya serap yang baik. Daya serap karbon aktif bergantung kepada jumlah karbon bebas (karbon aktif) berkisar antara 85% sampai 95%<sup>(7)</sup>. Karbon aktif merupakan karbon yang sudah terbebas dari senyawa yang menempel dipermukaannya sehingga pori-porinya lebih terbuka dan permukaannya menjadi luas dengan demikian daya adsorpsinya menjadi lebih besar.

Proses pengaktifan karbon aktif dilakukan dengan cara pemanasan pada temperatur  $600\text{ }^\circ\text{C}$  sehingga pori-porinya menjadi terbuka. Sifat kimia karbon aktif mempunyai gugus pengaktif pada permukaan karbon aktif yang dapat berinteraksi dengan molekul organik maupun anorganik<sup>(8)</sup>. Luas permukaan karbon aktif sangat berpengaruh pada proses adsorpsi, semakin besar luas permukaan karbon aktif semakin banyak adsorbat yang dapat teradsorpsi.

### METODOLOGI

Proses adsorpsi kriogenik dengan menggunakan karbon aktif dianalisis menggunakan perangkat lunak *ChemCad*.

*Chem Cad* merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk merancang, membuat dan menghitung sebuah proses kimia. Pada pemodelan ini, unit operasi adsorpsi yang digunakan untuk menangkap gas pengotor  $N_2$  dan  $O_2$  dari aliran pendingin reaktor adalah model unit operasi adsorpsi Langmuir dengan input data sebagai berikut:

Temperatur	= -180 °C
Porositas	= 70%
Bulk Density	= 2000 kg/m <sup>3</sup>
Bed Hight	= 15 m
Pressure Drop	= 0,1 MPa
Pressure	= 5 MPa
Diameter Pori	= 24 Å
Laju input $N_2$ dan $O_2$	= 1,12 gr/sec
Ukuran butir	= 0,5 – 10 ( $10^{-3}$ m)

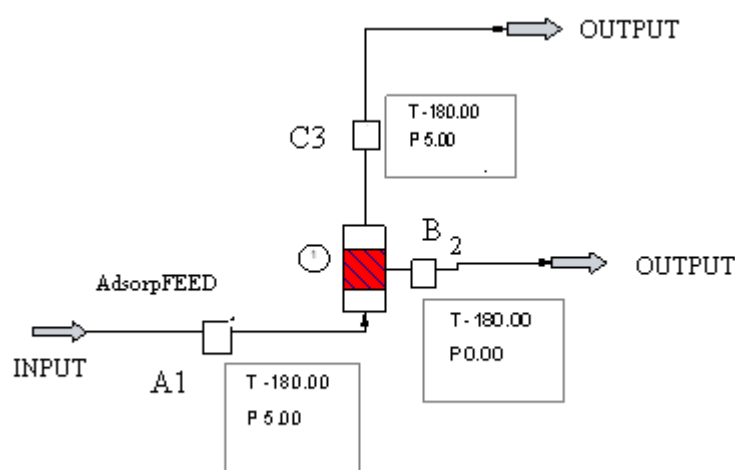
Pemodelan seperti ditunjukkan Gambar 3. Aliran A.1 merupakan aliran gas helium yang membawa *impurities* gas oksigen dan nitrogen. B.2 merupakan aliran gas helium yang mem

bawa gas oksigen dan nitrogen yang diserap serta C.3 merupakan aliran gas helium murni setelah dilakukan proses adsorpsi terhadap oksigen dan nitrogen, helium ini akan masuk kembali ke sistem reaktor RGTT 200K.

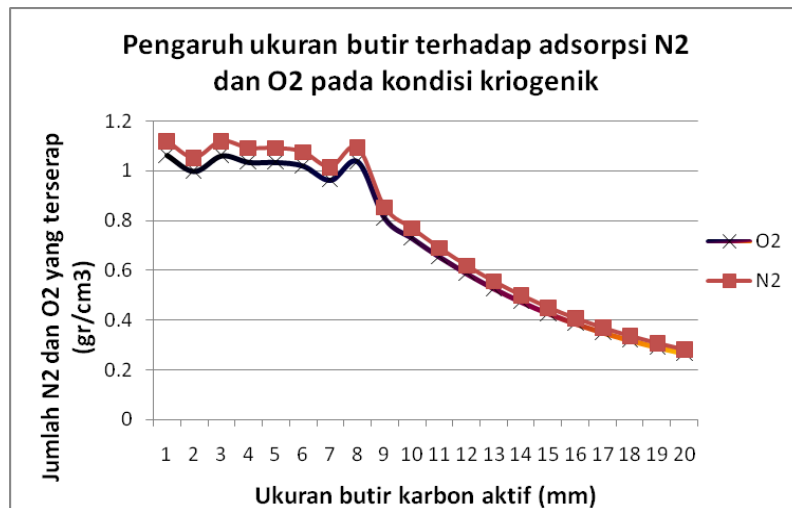
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh ukuran butir karbon aktif terhadap adsorpsi gas  $N_2$  dan  $O_2$  pada kondisi kriogenik seperti ditunjukkan pada Gambar. 4.

Dari Gambar 4, grafik hubungan ukuran karbon aktif vs jumlah  $N_2$  dan  $O_2$  yang terserap ( $gr/cm^3$ ) terlihat bahwa makin besar ukuran butir karbon aktif, semakin sedikit gas oksigen dan nitrogen yang teradsorpsi. Ukuran butir karbon aktif besar maka luas permukaannya kecil, kontak antara oksigen dan nitrogen terhadap karbon aktif semakin sedikit sehingga proses adsorpsinya juga semakin sedikit. Pada ukuran butir karbon aktif 0,5 mm mampu menyerap pengotor oksigen, nitrogen sebesar 1,120 gr/sec dan pada ukuran butir karbon aktif sebesar 10



Gambar. 3. Pemodelan Unit Adsorben Karbon Aktif Pada Proses Adsorpsi Oksigen dan Nitrogen Pada Kondisi Kriogenik



Gambar. 4. Hubungan ukuran butir dengan jumlah pengotor oksigen yang teradsorpsi oleh karbon aktif pada kondisi kriogenik

mm mampu menyerap oksigen, nitrogen sebesar 0,2821 gr/sec. Variasi ukuran butir dari 0,5 - 10 mm ternyata terjadi penurunan serapan oksigen dan nitrogen sebesar 74,81%. Ukuran butir karbon aktif semakin kecil, maka luas permukaan akan semakin besar sehingga kontak antara nitrogen dan oksigen terhadap karbon aktif semakin banyak sehingga kapasitas serapannya akan semakin besar. Akan tetapi ukuran karbon aktif yang semakin kecil, mempunyai *pressure drop* besar. Pada kondisi tertentu, akan mempengaruhi aliran fluida.

Pada makalah ini dilakukan analisis adsorpsi gas nitrogen dan oksigen oleh karbon aktif pada kondisi kriogenik. Kondisi kriogenik merupakan suatu kondisi dengan temperatur yang sangat rendah. Pada kondisi ini molekul oksigen dan nitrogen mempunyai pergerakan yang sangat lambat, sehingga sangat mudah teradsorpsi. Dengan mengamati bobot molekul oksigen dan nitrogen yang hampir sama yaitu 32,00 untuk oksigen dan 28,01 untuk nitrogen dan didukung

oleh ukuran atom, dengan diameter oksigen 3,46 Å dan diameter nitrogen 3,64 Å yang hampir sama maka dimungkinkan proses adsorpsi mempunyai kecepatan yang hampir sama.

## KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi penyerapan gas nitrogen dan oksigen pada kondisi kriogenik pada karbon aktif menggunakan *ChemCad*, diketahui bahwa kenaikan ukuran butir dari 0,5 mm sampai 10 mm akan menurunkan kapasitas serap oksigen dan nitrogen dari 1,12 gr/sec menjadi 0,2821 gr/sec atau terjadi penurunan sebesar 74,81 %.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Gastaldi O., *Helium Purification*, Proceeding HTR 3rd International Tropical Meeting on High Temperature Reactor Technology, Johannesburg, 2006.
2. Sumijanto, Djoko Irianto, *Analisa Pengaruh Temperatur Oksidasi Karbon Monoksida Pada Kontrol Inventori Helium RGTT 200K*,

- Prosiding Seminar nasional ke-18 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, Bandung, 2012.
3. Sriyono, *Analisis dan Perhitungan Pelepasan Debu Karbon Pada Sistem Pendingin RGTT 200 MW*, Majalah Sigma Epsilon, Vol. 13, No.4, 2009.
  4. Kawachale, N., Kumar, A., *Simulation, scale-up and economics of adsorption and membrane based processes for isoflavones recovery*, Journal Chemical Engineering Research and Design 89, p. 428–435, 2011.
  5. Suryawan, et. All., *Karakteristik Karbon Aktif Sebagai Adsorben Dari Batubara Kalimantan Timur*, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Sulawesi Utara, 4-6 November 2008
  6. Keller, J.U., Staudt, R., *Gas adsorption equilibria; Experimental methods and Adsorptive isotherms*, Springer Science Business Media, Inc., Boston, 2005.
  7. Bansal, R.C., Goyal, M., *Activated Carbon Adsorption*, Taylor & Francis Group, 2005.
  8. Rouquerol, J., Rouquerol F., Sing K., *Adsorption By Powders And Porous Solids*, Elsevier, 1998