

## Karbon Aktif dari Batu Bara Sebagai Adsorben dengan Menggunakan Metode Aktivasi Fisika dan Aktivasi Kimia

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

\*Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik-Universitas Riau

\*\* Laboratorium Teknik Pendingin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik-Universitas Indonesia  
[awaludin\\_martin@yahoo.com](mailto:awaludin_martin@yahoo.com)

### Abstrak

*Karbon aktif banyak digunakan pada berbagai aplikasi industri seperti pada sistem penyerapan limbah (limbah cair ataupun limbah gas), sebagai katalis reaksi, gas storage (penyimpanan gas), sistem pendingin, pemurnian gas alam dan lain-lain karena memiliki luas permukaan yang sangat besar  $1,95 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{kg}$ , dengan pori-pori volume nya  $10,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$  dan diameter pori rata-rata  $21,6 \text{ \AA}$  (El-Sharkawy I.I. et al, 2006), sehingga sangat memungkinkan untuk dapat menyerap adsorbat dalam jumlah yang banyak. Dalam proses penyerapan ada beberapa hal yang dapat menentukan kemampuan penyerapan diantaranya adalah kesesuaian antara diameter molekul adsorbat dan diameter pori adsorben, untuk itu karbon aktif sebagai adsorben selain harus memiliki luas permukaan yang besar juga harus memiliki diameter pori yang sesuai dengan diameter molekul adsorbatnya. Karbon aktif dapat dibuat dari bahan dasar apa saja yang mengandung unsur karbon, seperti dari kayu, tempurung kelapa, bambu, batu bara dan lain-lain, namun dalam tulisan ini akan difokuskan pada karbon aktif yang berasal dari batu bara. Untuk memperluas permukaan dan membuka pori-pori bahan dasar tersebut harus dilakukan suatu proses karbonisasi dan proses aktivasi. Tulisan ini akan memaparkan proses pembuatan karbon aktif sehingga dapat digunakan sebagai adsorben dengan menggunakan metode aktivasi fisika dan aktivasi kimia.*

Kata kunci: Karbon aktif, Aktivasi Fisika, Aktivasi Kimia, luas permukaan, dan diameter rata-rata pori

## 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, penyerap air pada septic tank dan dalam dunia industri sistem adsorpsi biasa digunakan pada sistem penyerapan limbah, sebagai katalis reaksi, gas storage (penyimpanan gas), sistem pendingin dan lain-lain.

Pada sistem adsorpsi media penyerapnya biasa disebut sebagai adsorben dan zat yang terserap disebut sebagai adsorbat. Material penyerap atau adsorben adalah zat atau material yang mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mempertahankan cairan atau gas didalamnya (Suryawan, Bambang, 2004). Beberapa adsorben yang digunakan secara komersial adalah kelompok polar adsorben atau disebut juga *hydrophilic* seperti silika gel, Alumina aktif, zeolit. Dan kelompok lainnya adalah kelompok non polar adsorben atau *hydrophobic* seperti polimer adsorben dan karbon aktif (Suzuki, M, 1990).

Salah satu aplikasi potensial dari karbon aktif adalah sebagai tempat penyimpanan gas alam (Adsorbed Natural Gas) dengan tekanan yang dibutuhkan hanya sekitar 4 Mpa jika dibandingkan dengan Compressed Natural Gas (CNG) yang membutuhkan tekanan sekitar 25 Mpa (Manocha, Satish. M, 2003). Tekanan yang diperlukan pada ANG lebih rendah jika dibandingkan CNG dengan demikian dari sisi tekanan yang dibutuhkan penggunaan ANG lebih efisien jika dibandingkan dengan CNG.

Dalam mengembangkan potensi aplikasi karbon aktif pada *Adsorbed Natural Gas* dibutuhkan data tentang penyerapan (equilibrium dan kinetik), hal tersebut diperlukan sekali untuk mengidentifikasi adsorben yang terbaik dan tekanan pengisiannya (Frere, Marc G., et al, 2002).

Aplikasi lainnya adalah pada sistem pendingin adsorpsi, sistem ini merupakan salah satu alternatif sistem pendingin yang lebih ramah terhadap lingkungan, disamping tidak menyebabkan terjadinya kerusakan lapisan ozon, tidak menyebabkan terjadinya pemanasan global juga memerlukan energi yang tidak terlalu besar bahkan dapat menggunakan energi matahari sebagai sumber energinya. Sistem pendingin adsorpsi menggunakan kompresor termik berupa generator adsorber untuk memompa refrigerant dimana energinya dapat diperoleh dari energi surya atau panas gas buang karena generator adsorber dapat bekerja pada rentang temperatur  $50^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$  (Hamamoto, Y., 2002).

Faktor yang paling penting dalam upaya peningkatan COP dan kapasitas pendinginan adalah dengan meningkatkan perpindahan panas dan massa di dalam adsorber/desorber dengan cara memperbesar luas bidang perpindahan panas adsorben dan mengembangkan material adsorben baru yang memiliki nilai laju penyerapan yang tinggi (Hamamoto, Y, et al, 2006)

Aplikasi lainnya lagi adalah pada sistem penyerapan  $\text{CO}_2$  yang terkandung dalam gas alam. Gas alam yang berhasil dieksplorasi banyak mengandung unsur-unsur yang tidak diinginkan salah satunya adalah  $\text{CO}_2$ .  $\text{CO}_2$  yang terkandung dalam gas alam harus dipisahkan karena jika ikut terbakar sebagai bahan bakar akan menyebabkan terjadinya pemanasan global. Untuk itu karbon aktif digunakan untuk menyaring  $\text{CO}_2$  pada gas alam sebelum gas alam tersebut digunakan.

Karbon aktif banyak digunakan pada aplikasi diatas karena memiliki luas permukaan yang sangat besar  $1,95 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{kg}$ , dengan pori-pori volume nya  $10,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$  dan diameter pori rata-rata  $21,6 \text{ \AA}$  (El-Sharkawy I.I. et al, 2006), sehingga sangat memungkinkan untuk dapat menyerap adsorbat dalam jumlah yang banyak.

## KARBON AKTIF

Karbon aktif adalah suatu bahan yang berupa karbon amorf, yang sebagian besar terdiri dari karbon bebas serta memiliki “permukaan dalam” (*internal surface*) sehingga memiliki kemampuan daya serap yang baik. Daya serap karbon aktif umumnya bergantung kepada jumlah senyawaan karbon yang berkisar antara 85 % sampai 95% karbon bebas. Karbon aktif adalah salah satu adsorben yang paling luas penggunaannya dibandingkan dengan adsorben lainnya dan sudah diproduksi sejak abad ke 19 (Yang, Ralph. T, 2003).

### Bahan Dasar dan Proses Pembuatan Karbon Aktif

Pada dasarnya karbon aktif dapat dibuat dari semua bahan yang mengandung karbon baik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, binatang ataupun barang tambang. Bahan-bahan tersebut adalah berbagai jenis kayu, sekam padi, tulang binatang, kulit biji kopi, tempurung kelapa, tempurung kelapa sawit, batu bara, dan lain-lain. Batu bara merupakan salah satu bahan dasar pembuat karbon aktif, disamping karena cadangan batu bara yang demikian besarnya di Indonesia nilai ekonomi dari batu bara juga sangat rendah, untuk itu pembuatan karbon aktif dari batu bara adalah salah satu upaya untuk meningkatkan nilai ekonomi dari batu bara tersebut. Batu bara jenis antrasit dan bituminus adalah jenis batu bara yang paling banyak digunakan sebagai sumber pembuatan karbon aktif (Yang, Ralph. T, 2003).

### Bentuk, Ukuran dan Kegunaan Karbon Aktif



#### **Granular Activated Carbon (GAC)**

Berukuran antara 0.2 sampai dengan 5 mm.

Digunakan pada phase cair dan gas



**Powder Activated Carbon (PAC)**

Pulverized carbon dengan ukuran kurang dari 0.18 mm (US Mesh 80).

Utamanya digunakan pada phase gas pada treatment gas.



**Extruded Activated Carbon**

Extruded and cylindrical shaped dengan diameter dari 0.8 sampai dengan 5 mm.

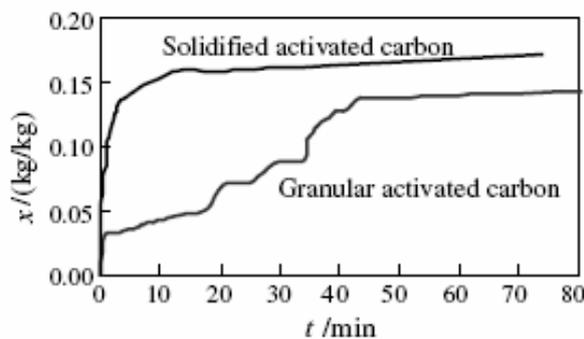
Utamanya digunakan pada phase gas

Gambar 1. Bentuk, Ukuran dan Penggunaan Karbon Aktif

Karbon aktif granul juga dapat dibentuk menjadi karbon aktif yang dipadatkan, berikut adalah satu contoh perbandingan data karbon aktif granul dan karbon aktif yang dipadatkan dengan methanol sebagai adsorbatnya:

Tabel 1. Data karbon aktif yang dipadatkan dengan methanol sebagai adsorbat (Hamamoto, Y, dkk, 2006)

Parameter	Karbon aktif granul (dalam bed)	Karbon aktif yang dipadatkan(dalam bed)
Densitas kg/m <sup>3</sup>	360	600
Konduktifitas thermal W/m.°C	0.017	0.27-0.34
Kapasitas penyerpatan terbatas, kg/kg	0.284	0.367

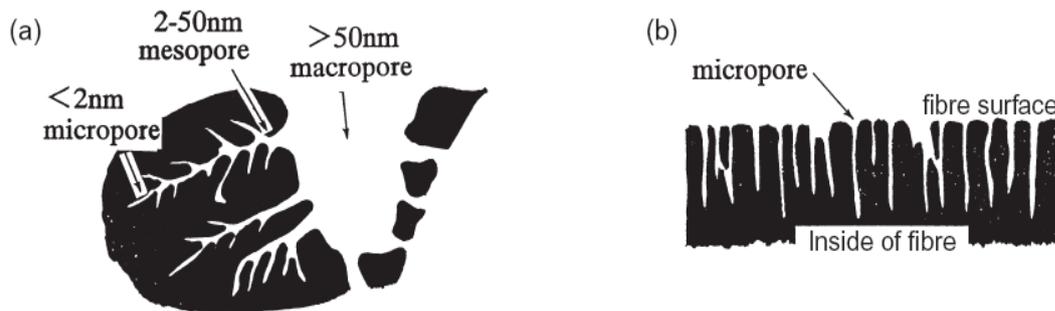


Gambar 2. Perbandingan unjuk kerja karbon aktif granul dan granul yang dipadatkan (Hamamoto, Y, dkk, 2006)

**Diameter Pori dan Nama Pori**

Tabel 2 Diameter dan nama pori pada adsorben (Manocha, Satish. M, 2003)

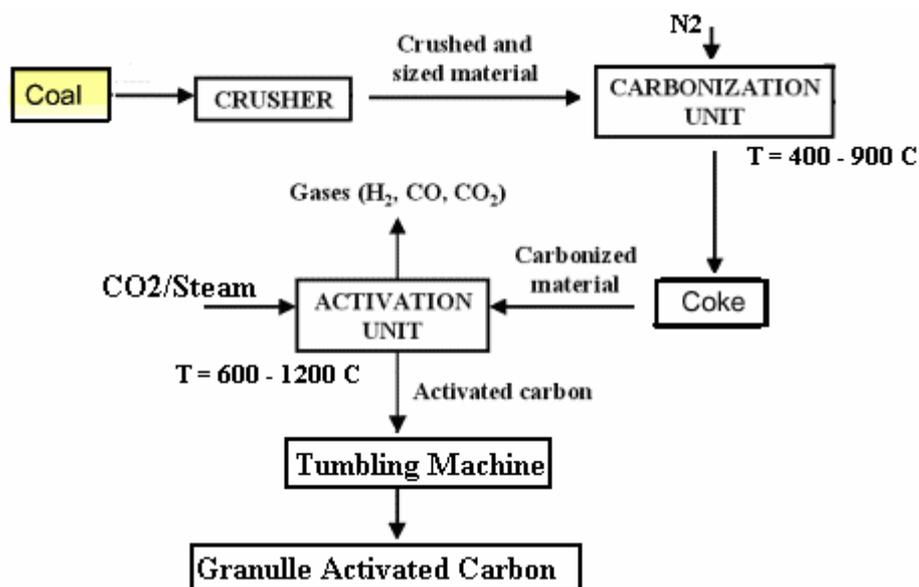
Pore diameter (nm)	Pore
<0.8	Sub micro
0.8–2	Micro
2–50	Meso
50 <	Macro



Gambar 3. (a) Karbon Aktif Granul (b) Karbon Aktif Serat (Manocha, Satish. M, 2003)

### PROSES PEMBUATAN

Proses pembuatan karbon aktif dari batu bara didahului dengan menghancurkan batu bara yang masih dalam bentuk bongkahan menjadi bentuk yang lebih kecil dilanjutkan dengan proses karbonisasi pada temperatur 400 – 900°C dan dengan mengalirkan gas inert N<sub>2</sub> untuk menghindari terjadi pembakaran spontan pada batu bara. Tujuan utama proses karbonisasi ini adalah untuk menghilangkan kandungan air dan abu pada batu bara. Setelah proses karbonisasi selesai dilanjutkan dengan proses aktivasi, dengan tujuan membuka pori-pori batu bara. Proses aktivasi terdiri atas dua metode, yaitu metode



aktivasi fisika dan aktivasi kimia.

Gambar 4. Proses Pembuatan Karbon Aktif dari Batu Bara

### Metode Aktivasi Fisika

Aktivasi adalah sebuah proses dimana produk hasil dari proses karbonisasi dikembangkan struktur porinya dengan ukuran molekul dan dengan memperlus luas permukaannya dengan heat treatment disertai dengan mengalirkan uap air, CO<sub>2</sub> atau udara. Proses heat treatment dengan mengalirkan uap air atau CO<sub>2</sub> merupakan reaksi Endothermis. Ukuran molekul H<sub>2</sub>O lebih kecil jika dibandingkan dengan molekul CO<sub>2</sub> dan difusifitasnya lebih cepat menuju pori-pori carbon, konsekuensinya adalah reaksi dengan mengalirkan H<sub>2</sub>O lebih cepat dari pada dengan mengalirkan CO<sub>2</sub>. Namun dengan mengalirkan CO<sub>2</sub> akan menghasilkan diameter pori yang lebih besar dari pada dengan mengalirkan H<sub>2</sub>O (Manocha, Satish. M, 2003). Proses reaktivasi fisika (Physical Reactivation), proses ini umumnya menggunakan satu atau kombinasi proses berikut:

- Karbonisasi; Material yang mengandung karbon dipirolisis pada temperatur 400-900°C tanpa udara dengan N<sub>2</sub> sebagai inert gas.
- Aktivasi atau Oksidasi; Bahan baku atau material yang telah dikarbonisasi dioksidasi (Dengan mengalirkan karbondioksida, oksigen atau uap air) pada temperatur diatas 250°C, biasanya pada temperatur 600-1200°C

### Metode Aktivasi Kimia

Pada proses aktivasi kimia (Chemical activation), bahan baku dicampur dengan bahan-bahan kimia asam seperti asam fospor, potasium hidroksida, sodium hidroksida atau garam seperti zinc chloride (ZnCl<sub>2</sub>). Selanjutnya bahan campuran tersebut dikarbonisasi pada temperatur 450-900°C. Arfan, Yopi membuat karbon aktif dari batu bara menggunakan metode aktivasi kimia dimana proses karbonisasi dan aktivasi digabungkan dengan KOH 65 % sebagai *activating agent*. Rasio massa activating agent/massa batu bara adalah 4/1. Dari penelitian yang dilakukannya Arfan, Yopi mendapatkan bahwa proses pembuatan karbon aktif diatas menghasilkan luas permukaan sebesar 410,8 m<sup>2</sup>/gr pada temperatur aktivasi 500°C dan 611,3 m<sup>2</sup>/gr pada temperatur aktivasi 600°C, sementara sebelum diaktivasi luas permukaan batu bara hanya sebesar 1,5 m<sup>2</sup>/gr.

Illan-Gomez, M.J. dkk, menggunakan KOH sebagai activating agent dengan temperatur pyrolysis 700°C menghasilkan luas permukaan karbon aktif yang berasal dari batu bara sebesar 2500 m<sup>2</sup>/gr dan dengan menggunakan NaOH sebagai activating agent pada temperatur pyrolysis yang sama didapat luas permukaannya sebesar 2000 m<sup>2</sup>/gr.

## KESIMPULAN

Dari uraian dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Karbon aktif dapat dibuat dari seluruh material yang memiliki unsur karbon termasuk batu bara, dengan membuat batu bara menjadi karbon aktif dapat meningkatkan nilai ekonomi dari batu bara dan batu bara yang paling banyak digunakan sebagai bahan dasar karbon aktif adalah jenis bituminus dan antracit.

2. Proses pembuatan karbon aktif didahului dengan proses karbonisasi dan dilanjutkan dengan proses aktivasi, proses aktivasi bertujuan untuk memperbesar pori sehingga akan memperluas permukaannya dan dengan demikian akan sangat berpengaruh terhadap daya adsorbsinya.
3. Metode aktivasi ada dua macam yaitu metode aktivasi fisika dan metode aktivasi kimia. Metode aktivasi fisika dilakukan dengan heat treatment dengan temperatur  $600^{\circ}\text{C}$  –  $1200^{\circ}\text{C}$ , sedangkan metode aktivasi kimia adalah dengan mencampur bahan dasar dengan bahan kimia tertentu sebagai activating agent dan selanjutnya dipiryolisis pada temperatur  $450^{\circ}\text{C}$  –  $900^{\circ}\text{C}$ .

## DAFTAR ACUAN

1. Akahira, Akira, K.C. Amanul Alam, Yoshinori Hamamoto, Atshusi Akisawa, T. Kashiwagi, 2002, *Advance Multi-Bed Adsorption Refrigeration Cycle*, Proc. Of the International Sorption Heat Pump Conf. Sept. 24-27, 2002 , Shanghai, China
2. Arfan, Yopi, 2007, *Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Batu Bara dengan Perlakuan Aktivasi Terkontrol serta Uji Kinerjanya*, Skripsi, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok
3. Elyas, Anas, 2006, *Experimentelle Untersuchung der Adsorptions- und Desorptionskinetik von Wasserdampf auf losen Pellets von SWS-1L unter den Betriebsbedingungen von Adsorptionswärmepumpen*, Thesis, Rheinisch - Westfälische Technische Hochschule, Aachen
4. El-Sharkawy, I.I., Bidyut B. Saha, Shigeru Koyama, Kim Choon Ng, 2006, *A Study on the Kinetics of Ethanol-Activated Carbon Fiber: Theory and Experiment*, International Journal of Heat and Mass Transfer, 49(2006)3104-3110
5. Frere, Marc G, Guy F. De Weireld, 2002, *High-Pressure and High-Temperature Excess Adsorption Isotherms of  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , and  $\text{C}_3\text{H}_8$  on Activated Carbon*, J. Chem. Eng. Data, 2002,47, 823-829
6. Hamamoto Y, 2002, *Experimental Study on Two Stage Adsorption Refrigeran System*, ISHPC, Shanghai-China
7. 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
8. Hamamoto, Y., K.C.A. Alam, B.B. Saha, S. Koyama, A. Akisawa, T. Kashiwagi, 2006, *Study on Adsorption Refrigeration Cycle Utilizing Aktivated Carbon Fiber. Part 2., Cycle Performance Evaluation*, International Journal of Refrigeration, 29(2006)315-327
9. Illan-Gomez, M.J., A. Garcia-Garcia, C.Salinas-Martinez de Lecea, and A. Linares-Solano, 1996, *Activated Carbon from Spanish Coals. 2. Chemical Activation*, Energy & Fuels, 1996, 10, 1108-1114
10. Manocha, Satish. M, 2003, *Porous Carbons*, Sadhana volume 28 part 1&2 pp 335-348, India
11. Suryawan, Bambang, 2004, *Karakteristik Zeolit Indonesia sebagai Adsorben Uap Air*, Disertasi, FT-UI, Depok
12. Suzuki Motoyuki, *Adsorption Engineering, 1990, Kodansha Ltd, Tokyo*
13. Yang, Ralph. T, 2003, *Adsorbents: Fundamentals and Applications*, John Wiley and Sons, New Jersey