

PENGARUH JUMLAH UMPAN TERHADAP WAKTU TINGGAL DAN MUTU KARBON AKTIF DARI SEMIKOKAS AIR LAYA

IKA MONIKA dan SLAMET SOEPRAPTO

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara
Jalan Jenderal Sudirman 623 Bandung 40211
Telp. 022 - 6030483 Fax. 022 - 6003373
e-mail : ika@tekmira.esdm.go.id, slamets@tekmira.esdm.go.id

Naskah masuk : 09 Februari 2009, revisi pertama : 20 Maret 2009, revisi kedua : 29 April 2009,
revisi terakhir : Mei 2009

SARI

Karbon aktif digunakan secara luas sebagai penyerap dalam proses industri untuk menghilangkan sejumlah pengotor, terutama sebagai penjernih, pengolahan limbah, pemurnian air, obat-obatan dan lain-lain. Di Indonesia pembuatan karbon aktif menggunakan *rotary kiln* dengan bahan baku arang kayu atau tempurung kelapa umum sudah dilakukan secara komersial, sedangkan dengan bahan baku semikokas (arang batubara) masih dalam skala kecil. Hasil penelitian terdahulu pada skala laboratorium dengan menggunakan semikokas Air Laya berukuran 2 mm, menunjukkan bahwa pada temperatur aktivasi 900°C selama 2 jam, menghasilkan karbon aktif dengan bilangan yodium 650 mg/gr. Berdasarkan hasil tersebut, percobaan ditingkatkan ke skala *pilot* menggunakan *rotary kiln* kapasitas 1 ton/hari dengan menggunakan contoh yang sama, yaitu semikokas Air Laya yang berukuran 3 mm, laju alir uap air 70 kg/jam dan variabel jumlah umpan dengan kecepatan 60, 50, 35, 20 dan 10 kg/jam. Percobaan tersebut menghasilkan karbon aktif dengan bilangan yodium tertinggi, yaitu 675 mg/gr, pada waktu tinggal 4 jam dan kecepatan umpan 35 kg/jam. Mutu karbon aktif tersebut telah memenuhi persyaratan untuk pemurnian air minum dan pengolahan limbah.

Kata kunci : karbon aktif, bilangan yodium, waktu tinggal, kecepatan umpan

ABSTRACT

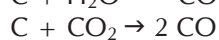
Activated carbon is widely used as adsorbent in industrial processes to remove the impurities, particularly coloured substances, waste treatment, water purification, medicines, etc. In Indonesia, manufactured of activated carbon by using rotary kiln with carbonized wood and coconut shells as raw materials has been conducted commercially, but with semicoke is still in small scale. Results of the previous experiment, at a laboratory scale by using particles size of 2 mm of Air Laya semicoke indicated that the activation temperature of 900°C for 2 hours, produced activated carbon with iodine number of 650 mg/gr. Based on this result, the experiment was continued at pilot scale by using rotary kiln with the capacity of 1 ton/day by using the same sample of Air Laya semicoke with particles size of 3 mm, flow rate of steam of 70 kg/hour, and amount of feed with speed of 60, 50, 35, 20 and 10 kg/hour as variables. The experiments produced activated carbon with a highest iodine number of 675 mg/gr at residence time of 4 hours and speed of feed of 35 kg/hour. This quality can be used as water purification and waste treatment.

Keywords : active carbon, iodine number, residence time, speed of feed

1. PENDAHULUAN

Karbon aktif digunakan secara luas sebagai penyerap dalam proses industri untuk menghilangkan sejumlah pengotor, terutama yang berhubungan dengan zat warna, pengolahan limbah, pemurnian air, obat-obatan dan lain-lain. Bahan baku utama dalam pembuatan karbon aktif adalah semua bahan organik yang memiliki kandungan karbon tinggi seperti tempurung kelapa, kayu, gambut, batubara dan lain-lain. Pembuatan karbon aktif terdiri atas dua proses utama yaitu proses karbonisasi yang menghasilkan arang dan proses aktivasi terhadap arang hasil karbonisasi. Menurut Cheremisinoff dan Hawley (1978) proses karbonisasi dan aktivasi pembuatan karbon aktif terdiri atas tahap-tahap berikut.

- Pada temperatur 170-280°C, terjadi proses pemanasan bahan baku dengan menguapnya air dan pemecahan bahan-bahan organik menjadi karbon yang menghasilkan CO, CO₂, asam asetat dan destilat. Secara perlahan bahan baku menjadi arang, berwarna coklat, dan kandungan karbon ± 60-70 %.
- Pada temperatur 280-700°C, terjadi dekomposisi menghasilkan tar, metanol dan hasil sampingan lainnya. Pembentukan karbon meningkat, arang yang terbentuk berwarna hitam serta kandungan karbonnya menjadi > 80%. Pengarangan secara praktis berhenti pada temperatur 400°C. Pada temperatur 700°C terjadi reaksi yang menghasilkan gas H₂ dan CO.
- Setelah proses karbonisasi, selanjutnya aktivasi yang merupakan proses lanjutan agar permukaan dan pori-pori semakin aktif. Proses aktivasi dapat dilakukan dengan aktivasi kimia menggunakan bahan-bahan kimia seperti H₃PO₄, H₂SO₄, senyawa dari logam-logam alkali seperti NaOH, KOH, MgCl₂, CaCl₂ dan ZnCl₂ menggunakan gas seperti CO₂, N₂, O₂ dan uap air. Aktivasi yang paling sering digunakan aktivasi fisik dengan uap air, karena selain mudah juga relatif murah. Aktivasi fisik biasanya berlangsung pada temperatur 800-1100°C. Reaksi arang dengan uap air mempunyai persamaan reaksi sebagai berikut (Allport, 1977).



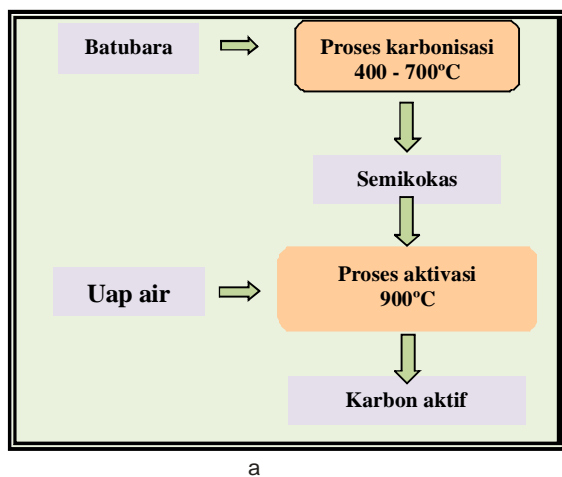
Beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan pori-pori adalah karakteristik bahan baku, ukuran

partikel, temperatur, laju alir uap air, dan waktu tinggal. Karakteristik bahan baku terutama kadar abu dan zat terbang, sedangkan ukuran partikel, temperatur dan waktu tinggal berkaitan dengan pembentukan luas permukaan dan volume pori-pori bagian dalam pada saat proses aktivasi berlangsung. Temperatur yang tinggi dan waktu tinggal yang lama memungkinkan reaksi penguraian rantai aromatik semakin sempurna sehingga volume pori-pori semakin tinggi dan semakin aktif. Begitu pula semakin halus ukuran partikel semakin besar luas permukaan yang terbentuk. Luas permukaan dan volume pori-pori yang tinggi menghasilkan karbon aktif dengan daya serap tinggi (Harald, 1973). Uap air yang berfungsi sebagai zat aktivator dan zat yang dapat mengurangi kenaikan temperatur pada saat proses aktivasi berlangsung, penting untuk diperhatikan. Secara teoritis, semakin besar laju alir uap air, maka semakin besar kemungkinan kontak antara uap air dengan permukaan dan pori-pori semikokas. Akibatnya, kemungkinan pembentukan daya serap semakin tinggi. Laju alir uap air yang terlalu rendah dapat mengakibatkan proses aktivasi tidak maksimal dan temperatur naik sehingga akan terbakar menjadi abu. Abu yang tinggi akan mengurangi perolehan produk, sehingga proses menjadi tidak ekonomis. Namun, laju alir uap air yang terlalu besar akan mengakibatkan turunnya temperatur pada saat aktivasi berlangsung. Oleh karena itu pengaturan laju alir harus tepat.

Salah satu cara pengukuran daya serap karbon aktif adalah dengan mengukur bilangan yodium dan bilangan metilen biru, namun yang paling umum dalam menilai mutu karbon aktif adalah dengan bilangan yodium. Bilangan yodium adalah kemampuan per gram karbon aktif dalam menyerap per miligram zat anorganik. Semakin tinggi nilai bilangan yodium semakin baik mutu karbon aktif. Kisaran nilai bilangan yodium karbon aktif komersial antara 500 dan 1.200 mg/gr (SII, 1999). Karbon aktif yang dibuat dari kayu atau tempurung kelapa mampu mencapai bilangan yodium ± 1.200 mg/gr, sedangkan karbon aktif dari batubara mencapai ± 1.000 mg/gr. Hal ini disebabkan kadar abu batubara lebih tinggi daripada kadar abu kayu atau tempurung kelapa yang mempunyai nilai < 1%. Kadar abu batubara umumnya 2-5%. Kadar abu tinggi menurunkan daya serap karbon aktif (Thomas, 1972).

Di Indonesia, karbon aktif umumnya dibuat dari kayu atau tempurung kelapa melalui aktivasi uap air dengan menggunakan alat *rotary kiln*. Karbon aktif dari batubara diperoleh melalui impor dari China, Amerika Serikat dan Jepang. Jenis batubara yang

digunakan untuk karbon aktif umumnya jenis bituminus dan sub-bituminus. Karbon aktif jenis ini digunakan untuk proses pemurnian emas, resin serta industri makanan dan minuman. Pada prinsipnya, proses pembuatan karbon aktif dari batubara sama dengan proses pembuatan karbon aktif dari kayu atau tempurung kelapa, sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Begitu pula dengan alat yang digunakan yaitu *rotary kiln*. Konstruksi *rotary kiln* yang sederhana lebih menguntungkan, karena pengaturan kondisi proses lebih mudah sehingga perolehan produk dan mutu karbon aktif yang dihasilkan lebih homogen. Selain itu, sistem aktivasi dengan menggunakan *rotary kiln* memungkinkan kontak antara uap air dengan bahan lebih merata. Ada dua jenis *rotary kiln* yang umum digunakan yaitu pembakaran langsung (*direct fire*) dan tidak langsung (*indirect fire*). Gambar 2 memperlihatkan *rotary kiln* sistem pembakaran langsung.



a

dibandingkan dengan pembakaran langsung. Namun pembakaran tidak langsung membutuhkan bahan bakar dalam jumlah besar. Dalam perancangan *rotary kiln*, waktu tinggal di dalam *kiln* merupakan faktor utama untuk menentukan panjang, diameter, kecepatan, kemiringan dan rancangan bagian dalam *kiln* (www. industrial activated carbon, 2008).

2. METODOLOGI

2.1. Alat

- *rotary kiln* kapasitas 1 ton/hari dengan kecepatan pengumpanan sekitar 30-50 kg/jam
- *boiler* kapasitas 100 kg/jam dengan tekanan maksimal 7 Bar
- drum/karung



b

Gambar 1. a. Bagan alir proses pembuatan b. *Rotary kiln* sistem *direct fire* karbon aktif dari batubara

Sesuai dengan bagan alir proses pada Gambar 1 dan *rotary kiln* pada Gambar 2, aktivasi dengan *rotary kiln* sistem pembakaran langsung, semikokas dibakar langsung dengan api yang disemprotkan ke dalam *kiln* bersama-sama dengan aliran uap air. Keuntungan pembakaran langsung adalah penggunaan bahan bakar lebih efisien. Sedangkan kekurangannya adalah kemungkinan terjadinya kontaminasi abu sisa pembakaran terhadap semikokas dan unsur-unsur yang terkandung dalam bahan bakar. Pada pembakaran tidak langsung, semikokas tidak langsung kontak dengan api. Keuntungan dengan pembakaran tidak langsung adalah emisi gas dapat dikontrol dan kontaminasi relatif lebih kecil

- alat analisis seperti *hot plate*, *erlenmeyer*, gelas piala, corong, buret, pipet, kertas saring dan timbangan analitik.

2.2. Bahan

- semikokas Air Laya;
- solar sebagai bahan bakar untuk proses aktivasi;
- minyak tanah untuk memanaskan *boiler*;
- uap air;
- bahan-bahan kimia untuk analisis seperti kalium iodida, kalium iodat, asam klorida, kalsium karbonat dan natrium tio sulfat.

2.3. Prosedur percobaan untuk penentuan waktu tinggal

Faktor yang mempengaruhi waktu tinggal adalah kemiringan dan kecepatan putaran *kiln* serta jumlah umpan. Prosedur penentuan waktu tinggal dengan mengoperasikan unit *kiln* tanpa pembakaran adalah sebagai berikut : Kondisi awal *kiln* mempunyai kemiringan 5° dan kecepatan putaran 5 rpm. Selanjutnya kemiringan diubah dari 5° menjadi 4, 3, 2, dan 1°, sedangkan putaran dari 5 rpm menjadi 2, 1, dan ½ rpm. Setelah diperoleh waktu tinggal terlama, selanjutnya pengaturan kecepatan umpan dengan variabel 60, 50, 35, 20 dan 10 kg/jam. Pengukuran waktu tinggal diamati berdasarkan perhitungan saat umpan mulai masuk sampai keluar dari *kiln*.

2.4. Prosedur proses aktivasi

Prosedur proses aktivasi berbeda dengan prosedur penentuan waktu tinggal. Proses aktivasi diawali dengan pemanasan *kiln* (pembakaran langsung) sampai mencapai temperatur 900°C. Setelah temperatur tercapai, umpan dimasukkan ke dalam *kiln* bersama-sama dengan aliran uap air. Proses aktivasi berlangsung di dalam *kiln* melalui reaksi antara uap air dan endapan tar yang terdapat dalam pori-pori semikokas, menghasilkan gas CO dan H₂ yang terbakar selama proses berlangsung. Kondisi proses yang diterapkan pada percobaan adalah sebagai berikut :

- conto semikokas Air Laya ukuran 3 mm ;
- laju alir uap air 70 kg/jam ; dan
- temperatur aktivasi 900°C

dengan variabel kecepatan umpan 60, 50, 35, 20 dan 10 kg/jam.

Setiap proses aktivasi dengan kecepatan umpan tertentu selesai, dilakukan pengambilan conto setiap jam untuk pengujian mutu produk yaitu dengan menganalisis bilangan yodium. Waktu tinggal terbaik dilihat dari bilangan yodium tertinggi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh jumlah umpan terhadap waktu tinggal

Tabel 1 menunjukkan data hasil percobaan untuk menentukan waktu tinggal terlama di dalam *kiln* pada kondisi awal kemiringan 5° dan kecepatan putaran *kiln* 2 rpm yang diperoleh berdasarkan pengamatan pengaturan kemiringan dan kecepatan

putaran tanpa pembakaran dan proses aktivasi.

Tabel 1. Pengaruh kemiringan dan kecepatan putaran *kiln* terhadap waktu tinggal pada kecepatan umpan 50 kg/jam

Perubahan kondisi		
Kemiringan (°)	Kecepatan putaran (rpm)	Waktu tinggal (jam)
5	2	2
4	1	2,5
3	½	3
2	½	4
1	½	4

Pada awal percobaan, conto semikokas sebanyak 50 kg dimasukkan ke dalam *kiln*. Kemudian pada kemiringan 5° *kiln* diputar dengan kecepatan 2 rpm. Waktu yang dibutuhkan conto sejak mulai masuk sampai keluar *kiln* adalah 2 jam. Waktu ini terlalu singkat untuk suatu proses aktivasi bila dibandingkan dengan waktu tinggal pembuatan karbon aktif di salah satu pabrik karbon aktif yang membutuhkan waktu ± 10 jam untuk kecepatan umpan 100 kg/jam dengan spesifikasi alat yang hampir sama (Tanso Putra Asia, 2007). Selanjutnya kemiringan dikurangi dari 5° menjadi 4° dan kecepatan putaran dari 2 rpm diubah menjadi 1 rpm. Hasil menunjukkan bahwa waktu tinggal relatif tidak berubah yaitu 2,5 jam. Pada kemiringan 2 dan 1° dan kecepatan putaran 1 rpm, diperoleh waktu tinggal selama 4 jam. Namun pada kondisi ini, umpan yang masuk ke dalam *kiln* keluar kembali karena kemiringan dan kecepatan putaran terlalu rendah. Oleh karena itu, percobaan selanjutnya dilakukan dengan mengatur kecepatan jumlah umpan dan kondisi *kiln* ditetapkan pada kemiringan 3° dan kecepatan putaran 1 rpm. Tabel 2 menunjukkan data pengaruh jumlah umpan terhadap waktu tinggal.

Waktu tinggal bahan di dalam *kiln* dihitung berdasarkan persamaan :

$$t = \frac{1,77 \times L \times Q}{P \times D \times n}$$

Dimana :

t = waktu tinggal, menit

L = panjang *kiln*, meter

Q = sudut kedudukan bahan di dalam *kiln*, derajat (°)

P = kemiringan *kiln*, derajat (°)

D = diameter *kiln*, meter
 R = kecepatan putaran *kiln*, rpm

Dari persamaan di atas terlihat bahwa jumlah umpan mempengaruhi kecepatan waktu tinggal (PT Semen Padang, 1998). Pada kondisi *kiln* dengan panjang, kemiringan, diameter dan kecepatan putaran tetap, jumlah umpan yang besar mempunyai kemampuan membentuk sudut kedudukan yang lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah umpan yang lebih kecil. Sudut kedudukan adalah kemiringan yang terbentuk oleh suatu massa terhadap bidang datar. Semakin besar jumlah umpan semakin tinggi kemiringan yang terbentuk dan semakin besar pula energi yang dimiliki. Akibatnya pada saat bidang datar bergerak dengan gerakan rotasi, kemiringan dan umpan akan semakin cepat turun dan keluar dari *kiln* sehingga waktu tinggal menjadi singkat. Hal ini terbukti dengan kecepatan umpan 60 kg/jam membutuhkan waktu tinggal selama 2 jam. Perubahan kecepatan umpan dari 60 ke 35 kg/jam tidak menghasilkan perubahan waktu tinggal yang cukup signifikan. Pada kecepatan umpan 20 dan 10 kg/jam, perubahan kecepatan waktu tinggal terlihat naik cukup tajam, dengan diperolehnya waktu tinggal 6 dan 10 jam. Hal ini disebabkan kemiringan yang terbentuk mendekati 0° sehingga hampir tidak ada daya untuk mengeluarkan conto dari dalam *kiln*. Data pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa semakin kecil jumlah umpan semakin lama waktu tinggal.

Tabel 2. Pengaruh kecepatan umpan terhadap waktu tinggal

Kondisi alat	Kecepatan umpan (kg/jam)	Waktu tinggal (jam)
Kemiringan 3° Kecepatan putaran 1 rpm	60	2
	50	3
	35	4
	20	6
	10	10

3.2. Pengaruh waktu tinggal terhadap bilangan yodium dan perolehan

Setelah penentuan waktu tinggal, tahap selanjutnya melakukan proses aktivasi dengan kecepatan umpan 10 kg/jam dengan kondisi proses sebagai berikut : Kemiringan *kiln* 3°, kecepatan putaran 1 rpm, temperatur aktivasi 900°C, ukuran semikokas

(umpan) 3 mm dan laju alir uap air 70 kg/jam. Namun setelah dilakukan pengujian bilangan yodium, semakin lama waktu aktivasi daya serap karbon aktif semakin menurun. Kondisi ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh waktu tinggal terhadap bilangan yodium dan perolehan

Waktu tinggal (jam)	Bilangan yodium (mg/gr)	Perolehan (% berat)
2	584	42,5
3	647	47,5
4	675	47,5
6	639	32,5
10	590	22,5

Pada kondisi aktivasi dengan kecepatan umpan 10 kg/jam selama 10 jam, diperoleh karbon aktif dengan bilangan yodium 590 mg/gr dan perolehan produk 22,5%. Perolehan adalah perbandingan jumlah umpan setelah proses dan jumlah umpan sebelum proses yang dinyatakan dalam persen berat. Berdasarkan perhitungan keekonomian produk, nilai perolehan diharapkan minimal 40,0%. Perolehan rendah mempengaruhi nilai keekonomian produk. Perolehan hasil proses aktivasi selama 2 jam lebih rendah dari perolehan yang diperoleh dengan waktu tinggal 3 dan 4 jam. Hal ini disebabkan pada saat proses, temperatur aktivasi tidak stabil sehingga temperatur mencapai > 950°C. Selain temperatur, faktor yang mempengaruhi perolehan adalah waktu tinggal. Waktu tinggal selama 10 jam menghasilkan perolehan 22,5%. Kedua faktor ini mengakibatkan bahan terbakar menjadi abu. Percobaan dengan kecepatan umpan lebih besar dari 10 kg/jam memperlihatkan perubahan daya serap yang berbeda. Pada kecepatan umpan 35 kg/jam dengan waktu tinggal selama 4 jam, daya serap tertinggi dicapai dengan bilangan yodium 675 mg/gr dan perolehan 47,5%.

Dibandingkan terhadap proses aktivasi skala pabrik dengan kecepatan umpan 100 kg/jam dan waktu tinggal 10 jam yang menghasilkan bilangan yodium antara 1.000 dan 1.200 mg/gr dengan perolehan 40,0%, hasil percobaan menunjukkan kondisi yang berbeda. Waktu tinggal 10 jam meskipun kecepatan umpan 100 kg/jam disebabkan panjang *kiln* 10 meter dengan diameter ± 1 meter. Sedangkan kemiringan

$\pm 1^\circ$ dan kecepatan putaran 1 rpm dengan rancangan bagian dalam *kiln* yang memungkinkan waktu tinggal menjadi lebih lama. *Rotary kiln* skala *pilot* mempunyai panjang ± 8 meter dengan diameter dalam $\pm 0,8$ meter dan rancangan bagian dalam *kiln* berbeda dengan yang dipabrik. Perbedaan bilangan yodium skala pabrik dan skala *pilot* disebabkan oleh karakteristik bahan baku. Pada skala pabrik bahan baku karbon aktif menggunakan arang tempurung kelapa dengan kadar abu $< 2\%$ yang menghasilkan bilangan yodium > 1.000 mg/gr. Sedangkan batubara yang digunakan untuk percobaan pada skala *pilot* mempunyai kadar abu $\pm 5\%$ dan setelah dikarbonisasi menjadi semikokas kadar abu naik menjadi $\pm 10\%$. Oleh karena itu, bilangan yodium karbon aktif dari semikokas rendah. Semakin tinggi bilangan yodium semakin mahal harga karbon aktif, sehingga berdasarkan perhitungan kelayakan keekonomian produk, karbon aktif yang dihasilkan akan menguntungkan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Kecepatan umpan mempengaruhi waktu tinggal. Semakin besar kecepatan umpan semakin cepat waktu tinggal.
- Waktu tinggal terbaik berdasarkan bilangan yodium tertinggi, adalah selama 4 jam dengan kecepatan umpan 35 kg/jam menghasilkan bilangan yodium tertinggi 675 mg/gr dengan perolehan 47,5%.
- Karbon aktif dengan mutu tersebut dapat digunakan untuk penjernihan air dan pengolahan limbah cair

5. SARAN

Meskipun bilangan yodium sudah memenuhi spesifikasi karbon aktif komersial, namun perlu dilakukan percobaan lanjutan untuk meningkatkan mutu, sehingga diperoleh karbon aktif dengan bilangan yodium ± 1.000 mg/gr.

DAFTAR PUSTAKA

- Activated Carbon, 2008. [www.http/ Industrial of Activated Carbon](http://www.http/IndustrialofActivatedCarbon), tanggal 20 Agustus.
- Allport, H. B., 1977. *Activated Carbon*, Encyclopedia of Science and Technology, Mc Graw Hill Book Company, New York, v 1:69.
- Cheremisinoff; Hawley, 1978. *Carbon Adsorption Applications, Carbon Adsorption Handbook*, Ann Arbor Science Publishers, Inc, Michigan; 7-8.
- Harald, 1973. *Conversion of Coal and Gases Produced from Coal Into Fuels, Chemical, and Other Products*, Chapter 30.4.6.3.
- PT Semen Padang, 1998. Penggilingan Bahan Mentah, Asosiasi Semen Indonesia.
- Standar Industri Indonesia, SII, 1999. Departemen Perindustrian, Jakarta.
- Tanso Putra Asia, 2007. *Activated Carbon*, Lampung.
- Thomas, F., 1972. *Underground Gasification of Coal*, Chapter 26.2.2.
- [www.http/Industrial of Activated Carbon](http://www.http/IndustrialofActivatedCarbon), (2008), tanggal 20 Agustus.