

## **Pengembangan Karbon Aktif Batubara untuk Desulfurisasi Gas Hasil Gasifikasi Batubara di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral**

The Development of Coal Activated Carbons for Gas Desulfurization of Coal Gasification in Research Center and Development Mineral and Coal Technology

<sup>1</sup>Gita Ayu Puspita, <sup>2</sup>Sri Widayati, <sup>3</sup>Ika Monika

<sup>1,2,3</sup>Prodi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,  
Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116

e-mail: <sup>1</sup>gitaapuspita@gmail.com, <sup>2</sup>sriwidayati@unisba.ac.id, <sup>3</sup>ika@tekmira.esdm.go.id

**Abstract.** Coal desulfurization is a process for decreasing of the sulfur content in coal. The process is carried out on gas of coal gasification, because the sulfur gas in coal gas can be cause corrosive and harmful health. One method of gas desulfurization is adsorption system by using activated carbon. The activated carbon for gas desulfurization should have Iodine number of  $\geq 350$  mg / gr with a functional group -COC-. The absorption mechanism is the sulfur gas enters the pores of the activated carbon surface and binds to the -COC- bond. Preparation of activated carbon in this research was derived from low rank coal by using chemical activation method with the HNO<sub>3</sub> 45% as activating agent, coal sample ratio : activating agent of 1:1, contact time 120 minutes and carbonation temperature at 700°C. The research was conducted by variation of coal sample ratio : activating agent of 1: 1, 1: 2 and 1: 3, by variation of residence time of 30, 60 and 120 minutes, and carbonization temperature by variation of 600, 700 and 800°C. Characterization of activated carbon is iodine number analysis, that is analysis to know the absorption of activated carbon and FTIR to know activated carbon functional group. The results showed that the optimal activated carbon for gas desulfurization of coal gas gasification is an activated carbon with the sample ratio : activating agent of 1: 3, contact time 60 minutes and carbonization temperature at 800°C and functional group with OH, C = C And C = O.

**Keywords:** Desulfurization, Iodine Numbers, Functional Groups

**Abstrak.** Desulfurisasi batubara merupakan proses penurunan kadar sulfur dalam batubara. Proses tersebut dilakukan pada gas hasil gasifikasi batubara, karena gas sulfur yang terdapat dalam gas hasil gasifikasi bersifat korosif dan berbahaya bagi kesehatan. Salah satu metode desulfurisasi gas adalah dengan sistem adsorpsi menggunakan karbon aktif. Karbon aktif untuk desulfurisasi harus memiliki bilangan Iodin  $\geq 350$  mg/gr dengan gugus fungsi -COC-. Mekanisme penyerapannya gas sulfur masuk ke dalam pori-pori permukaan karbon aktif dan berikatan dengan ikatan -COC- yang ada di permukaan karbon aktif. Pembuatan karbon aktif untuk desulfurisasi dengan bahan baku batubara peringkat rendah, dilakukan menggunakan metode aktivasi secara kimia dengan *activating agent*nya HNO<sub>3</sub> 45%, perbandingan sampel dengan *activating agent* 1:1, waktu perendaman 120 menit dan suhu karbonisasi 700°C. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan karbon aktif dengan variasi perbandingan sampel batubara dengan *activating agent* 1:1, 1:2 dan 1:3, variasi waktu perendaman 30, 60 dan 120 menit, dengan variasi suhu karbonisasi 600, 700 dan 800°C. karakterisasi karbon aktif yang dilakukan adalah analisis bilangan iodin, yaitu analisis untuk mengetahui daya serap karbon aktif dan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi karbon aktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif yang optimal digunakan untuk desulfurisasi gas hasil gasifikasi gas batubara adalah karbon aktif yang dibuat dengan perbandingan sampel 1:3 dengan waktu perendaman 60 menit dan dikarbonisasi pada suhu 800°C yang memiliki gugus fungsi dengan ikatan O-H, C=C dan C=O.

**Kata Kunci :** Desulfurisasi, Bilangan Iodin, Gugus Fungsi

### **A. Pendahuluan**

Batubara merupakan batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari tumbuhan yang telah terkarbonisasi di bawah tekanan dan suhu tinggi dalam waktu yang lama. Sebagai material dengan kandungan komposisi karbon tinggi, batubara dapat digunakan sebagai bahan baku industri diantaranya untuk karbon aktif. Karbon aktif adalah material yang memiliki luas permukaan tinggi dan bersifat porous, sehingga

efektif untuk digunakan sebagai media penyerap atau adsorben. Salah satu pemanfaatannya adalah sebagai media adsorben pada proses desulfurisasi gas hasil gasifikasi batubara.

Pada operasional gasifikasi batubara untuk PLTD *Dual Fuel* di Palimanan Cirebon, sistem pemisahan/pemurnian gas menggunakan media besi oksida ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) yang merupakan bahan kimia impor dan mahal. Oleh karena itu, penelitian pembuatan karbon aktif dari batubara untuk media pengganti besi oksida pada proses desulfurisasi gas pada gasifikasi batubara PLTD *Dual Fuel* dilakukan. Berdasarkan hasil penelusuran literatur terdapat beberapa metoda proses desulfurisasi dan metoda pembuatan karbon aktif. Metode desulfurisasi untuk gas batubara dengan karbon aktif merupakan metode kering. Sedangkan metoda pembuatan karbon aktifnya secara kimia menggunakan bahan kimia tertentu. Diharapkan hasil penelitian ini menjadi sumber data dan informasi tentang karakteristik karbon aktif untuk proses desulfurisasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui karakteristik batubara yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif penyerap gas sulfur;
2. Menentukan metode pembuatan karbon aktif untuk desulfurisasi gas batubara;
3. Mengetahui karakteristik karbon aktif batubara.

## **B. Landasan Teori**

### **Batubara**

Batubara adalah batuan sedimen yang mudah terbakar, terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan dalam variasi tingkat pengawetan, diikat proses kompaksi dan terkubur dalam cekungan-cekungan pada kedalaman tertentu (The International Handbook of Coal Petrography, 1963). Menurut Achmad Prijono, dkk (1992), batubara adalah bahan bakar hidrokarbon tertambat yang terbentuk dari tumbuh-tumbuhan dalam lingkungan bebas oksigen serta terkena pengaruh temperatur dari tekanan yang berlangsung sangat lama. Sedangkan menurut Simons dan Hopkins, batubara adalah batuan yang mudah terbakar yang berasal dari akumulasi perubahan tumbuhan secara fisika dan kimia.

### **Gasifikasi Batubara**

Gasifikasi batubara adalah proses konversi batubara menjadi produk gas melalui reaksi antara batubara dengan pereaksi berupa udara, campuran udara/uap air, atau campuran oksigen/uap air. Dalam gasifikasi, seluruh material organik batubara diharapkan dapat dikonversikan menjadi gas.

Pemecahan ikatan karbon akan membentuk *coal gas* yang merupakan campuran gas-gas hidrogen, karbon monoksida, nitrogen serta unsur gas lainnya. Kecuali bahan pengotor, batubara bersama-sama dengan oksigen dikonversikan menjadi hidrogen, karbon monoksida, metana,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ . Salah satu senyawa gas yang merupakan bahan pengotor dalam *coal gas* yaitu sulfur dan nitrogen. Pada proses gasifikasi, desulfurisasi merupakan proses yang sangat penting karena seperti halnya gas  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  merupakan gas *caustik* yang cenderung mengikis dan merusak peralatan bersama-sama dengan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) sehingga dapat mengakibatkan kebocoran gas, menimbulkan pencemaran.

### **Karbon Aktif**

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang paling sering digunakan pada proses adsorpsi. Hal tersebut dikarenakan karbon aktif mempunyai daya adsorpsi dan luas permukaan yang lebih baik dibandingkan adsorben lainnya (Walas, 1990). Karbon

aktif yang baik harus memiliki luas permukaan yang besar sehingga daya adsorpsinya juga akan besar (Sudibandriyo, 2003). Karbon aktif yang digunakan untuk desulfurisasi gas hasil gasifikasi batubara harus memiliki karakteristik yang sesuai. Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, karbon aktif yang baik digunakan untuk desulfurisasi adalah karbon aktif yang memiliki gugus fungsi dengan ikatan -COC- sebagai ikatan dasarnya, dan memiliki bilangan Iodin  $\geq 350$  mg/gr.

### Pembuatan Karbon Aktif

Proses pembuatan karbon aktif dibagi menjadi dua tahapan utama, yaitu proses karbonisasi dan proses aktivasi. Karbonisasi adalah suatu proses dimana unsur-unsur oksigen dan hidrogen dihilangkan dari karbon dan akan menghasilkan rangka karbon yang memiliki struktur tertentu. Hesseler berpendapat bahwa untuk menghasilkan arang yang sesuai untuk dijadikan karbon aktif, karbonisasi dilakukan pada temperatur lebih dari  $600^{\circ}\text{C}$  akan tetapi hal itu juga tergantung pada bahan dasar dan metoda yang digunakan pada aktivasi. Aktivasi adalah proses menambah atau mengembangkan volume pori dan memperbesar diameter pori yang telah terbentuk pada proses karbonisasi serta untuk membuat beberapa pori baru. Adanya interaksi antara zat pengaktivasi dengan struktur atom-atom karbon hasil karbonisasi adalah mekanisme dari proses aktivasi. Pada penelitian ini, pembuatan karbon aktif dilakukan dengan metode aktivasi kimia dengan *activating agent*  $\text{HNO}_3$ , tahapan aktivasi dan karbonisasi dilakukan secara bersamaan.

### Karakterisasi Karbon Aktif

Karakterisasi karbon aktif dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, karakterisasi ditentukan berdasarkan data yang ingin diketahui. Untuk mengetahui daya serap karbon aktif dalam menyerap gas sulfur (zat anorganik) maka dilakukan analisis bilangan Iodin. Bilangan iodin didefinisikan sebagai jumlah milligram iodin yang diadsorpsi oleh satu gram karbon aktif. Daya serap karbon aktif terhadap Iodin mengindikasikan kemampuan karbon aktif untuk mengadsorpsi komponen dengan berat molekul rendah. Perhitungan untuk mendapatkan bilangan iodin dapat dilakukan dengan persamaan berikut:

$$X = \frac{N1 \times 12693,0 - (2,2 (N2 \times 126,93)) \times V \text{ Natrium Tiosulfat}}{W} \times D$$

Dimana :

X : Bilangan Iodium (mg/g)

N1 : Normalitas larutan Iodium

N2 : Normalitas larutan Natrium Tiosulfat

V Natrium Thiosulfat : Volume yang terpakai saat titrasi (mL)

W : berat karbon aktif (gram)

D : Faktor koreksi (pada tabel koreksi), yang ditentukan dari nilai C

$$C = \frac{\text{Volume titrasi} \times N2}{25}$$

Selain analisis bilangan iodin, dilakukan analisis gugus fungsi karbon aktif dengan alat FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara gugus-gugus fungsi pada karbon aktif. Spektrum FTIR dapat mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah  $0,75\text{-}1000 \mu\text{m}$  dan bilangan gelombang  $13,00\text{-}10 \text{ cm}^{-1}$ . Sifat adsorpsi karbon

aktif tidak hanya ditentukan oleh ukuran pori-pori pada permukaan karbon aktif tersebut, tetapi juga dipengaruhi oleh komposisi kimia dari karbon aktif tersebut yang berupa gugus-gugus fungsi yang merupakan gugus aktif pada karbon aktif tersebut.

### C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

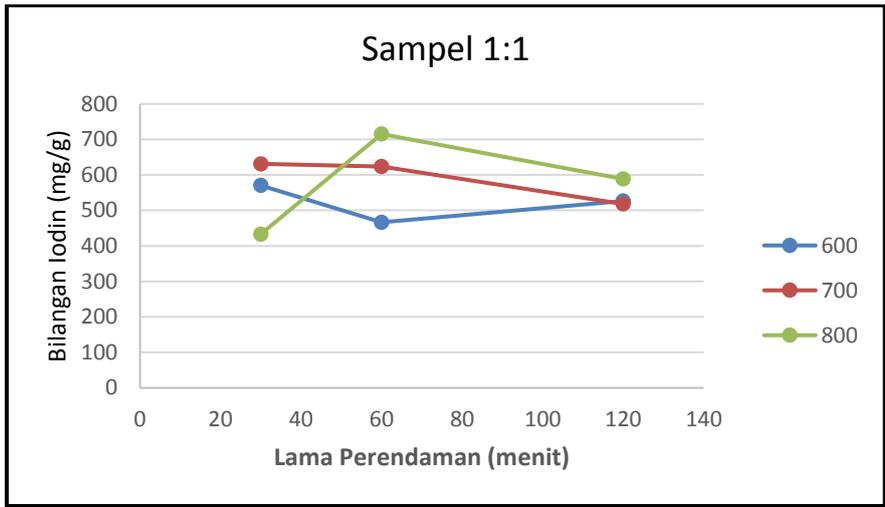
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, yaitu mencakup preparasi sampel, pembuatan karbon aktif serta karakterisasi karbon aktif didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 1

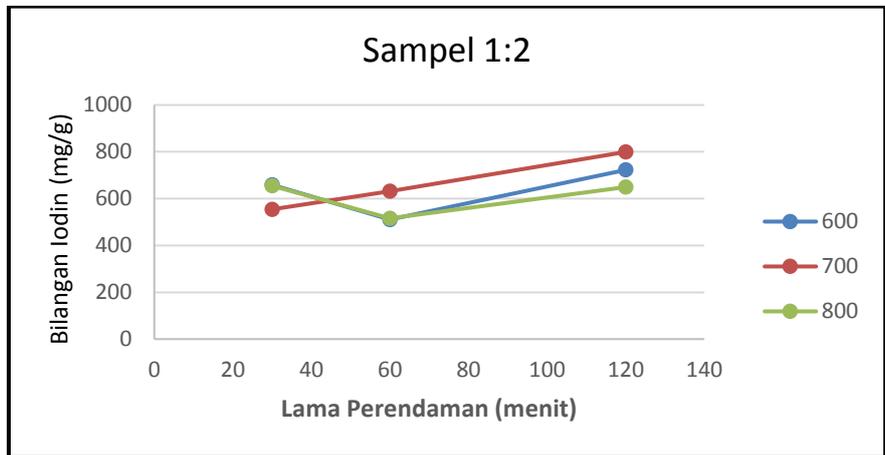
Bilangan Iodin Sampel Hasil Penelitian

Perbandingan sampel : <i>activating agent</i>	Sampel		Bilangan Iodin (mg/g)
	Suhu (°C)	Lama Perendaman (menit)	
1 : 1	600	30	570,3
		60	466,5
		120	526,1
	700	30	631,2
		60	623,2
		120	518,0
	800	30	433,3
		60	715,1
		120	588,6
1 : 2	600	30	659,2
		60	510,7
		120	722,6
	700	30	554,3
		60	631,9
		120	799,5
	800	30	654,5
		60	515,9
		120	649,7
1 : 3	600	30	585,9
		60	685,1
		120	736,9
	700	30	636,4
		60	718,4
		120	623,2
	800	30	632,7
		60	884,9
		120	680,7

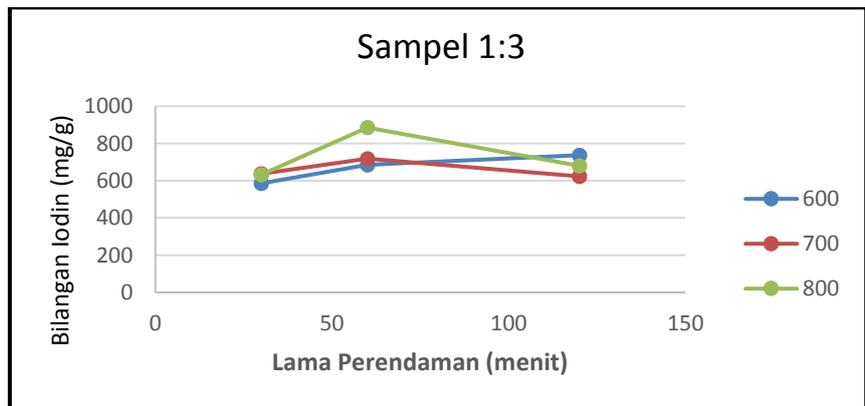
Penentuan kualitas karbon aktif umumnya dilihat dari daya serap atau kapasitas adsorpsi karbon aktif. Salah satu penentuan kapasitas adsorpsi karbon aktif yaitu dilihat dari nilai bilangan iodin. Semakin tinggi bilangan iodin, daya serap karbon aktif semakin baik. Berdasarkan hasil analisis bilangan iodin yang telah dilakukan menunjukkan hasil nilai bilangan iodin antara 433,2 - 884,9 mg/g. Bilangan iodin tertinggi yaitu sebesar 884,9 mg/g diperoleh pada kondisi pencampuran dengan rasio 1 : 3 perendaman selama 60 menit dengan suhu karbonisasi 800oC. Sedangkan nilai bilangan iodin terendah yaitu sebesar 433,2 mg/g diperoleh pada kondisi pencampuran dengan rasio 1:1 perendaman selama 30 menit dengan suhu karbonisasi 800oC.



**Gambar 1.** Grafik Hubungan Antara Bilangan Iodin dengan Lama Perendaman Sampel 1:1



**Gambar 2.** Grafik Hubungan Antara Bilangan Iodin dengan lama perendaman Sampel 1:2

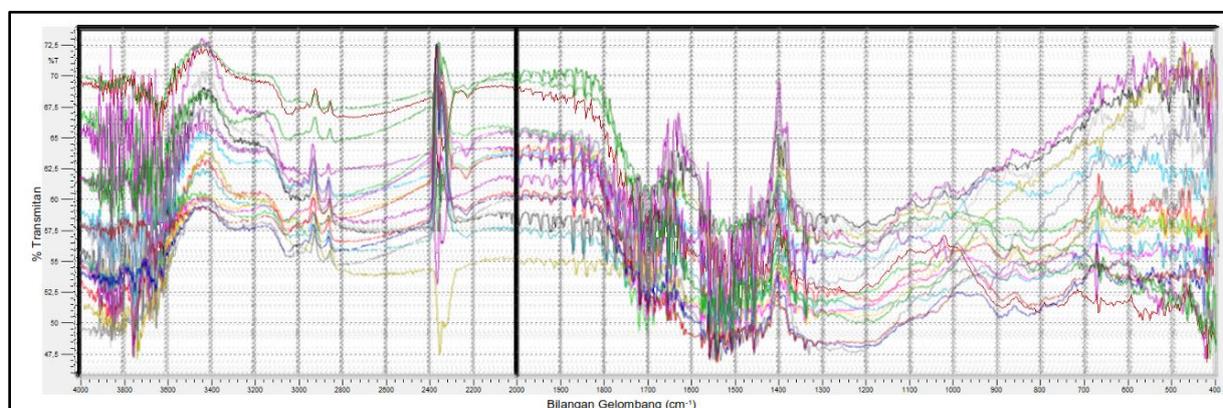


**Gambar 3.** Grafik Hubungan Antara Bilangan Iodin dengan Lama Perendaman Sampel 1:3

Pada Gambar 1,2 dan 3 dapat dilihat grafik hubungan antara bilangan iodine dengan lama perendaman berdasarkan rasio pencampuran aktivasi dan suhu karbonisasi. Jika dilihat dari grafik, waktu perendaman yang semakin lama tidak mempengaruhi

kenaikan nilai bilangan iodin. Hal tersebut terlihat dari nilai bilangan iodin untuk lama perendaman 60 menit lebih tinggi dibandingkan dengan nilai bilangan iodin untuk lama perendaman 120 menit. Secara keseluruhan, jika membandingkan pengaruh rasio pencampuran terhadap perolehan bilangan iodin, data menunjukkan tidak terjadi kecenderungan kenaikan bilangan iodin jika penggunaan HNO<sub>3</sub> semakin banyak. Demikian pula dengan pengaruh suhu karbonisasi, jika dilihat dari grafik menunjukkan bahwa pada sebagian besar sampel tidak terjadi kenaikan bilangan iodin apabila suhu karbonisasi semakin tinggi.

Dalam pemanfaatan karbon aktif terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi, salah satunya adalah sifat permukaan karbon aktif. Sifat permukaan karbon aktif dipengaruhi oleh terbentuknya gugus fungsi akibat dari proses aktivasi yang dilakukan. Gugus fungsi tersebut bersifat aktif dalam menyerap zat yang akan diserap. Untuk mengetahui sifat gugus fungsi karbon aktif setelah aktivasi menggunakan HNO<sub>3</sub> maka dilakukan pengukuran gugus fungsi dengan FTIR.



**Gambar 4.** Grafik FTIR Keseluruhan

Berdasarkan analisis FTIR yang telah dilakukan, didapat grafik yang menunjukkan panjang gelombang yang dimiliki setiap sampel dengan daerah frekuensi panjang pita di antara 3600 – 3875, 2300 – 2400, dan 1400 – 1750 cm<sup>-1</sup>. Dari hasil pembacaan spektrum IR, sampel karbon aktif dengan *activating agent* HNO<sub>3</sub> memiliki gugus fungsi lakton, karboksil dan fenol dengan ikatan antara lain C=C (Cincin Aromatik), C-O (Alkohol, Eter, Asam Karboksilat, Ester), C=O (Aldehid, Keton, Eter, Asam Karboksilat, Ester), C-H (Alkana) dan O-H (Fenol, Monomer Alkohol, Alkohol Ikatan Hidrogen). Hasil penelitian sebelumnya (menjadi acuan penelitian ini) menyatakan bahwa gugus fungsi yang menjadi titik pusat penyerapan sulfur adalah gugus fungsi -COC-, yaitu gugus fungsi turunan dari gugus fungsi C=O.

#### **D. Kesimpulan**

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

1. Batubara yang dapat digunakan sebagai bahan penyerap gas sulfur adalah batubara peringkat rendah dengan kadar air 21,78%, kadar abu 5,26%, zat terbang 36,69% dan *fix carbon* 36,27%.
2. Metode pembuatan karbon aktif untuk desulfurisasi gas batubara adalah metode aktivasi kimia dengan *activating agent* HNO<sub>3</sub> dengan perbandingan 1:3 dengan lama perendaman 60 menit yang dikarbonisasi pada suhu 800°C
3. Karakteristik karbon aktif yang optimal digunakan untuk desulfurisasi gas

batubara adalah karbon aktif yang memiliki bilangan iodin 884,9 mg/g dan memiliki gugus fungsi dengan ikatan O-H, C=C dan C=O.

#### **E. Saran**

1. Melakukan penelitian pembuatan karbon aktif untuk desulfurisasi dengan variasi sampel bahan baku, misalnya menggunakan bahan baku batubara jenis lignit dan bituminous.
2. Pembuatan karbon aktif dengan skala yang lebih besar untuk keperluan analisis parameter lain, misalnya untuk analisis kekerasan karbon aktif.

#### **Daftar Pustaka**

- International Committee for Coal Petrology, 1963, "*International Handbook of Coal Petrography*", Center National de la Recherche Scientifique.
- Meyer, R.A, 1977, "*Coal Desulfurization, Inc.*", New York and Bassel
- Prijono, Achmad, dkk., 1992, "*Pengertian Batubara*", [ptba.co.id/en/knowledge/index/pengertian-batubara](http://ptba.co.id/en/knowledge/index/pengertian-batubara).
- Shangguan, Ju, et.al., 2005, "*Investigation on Activated Semi-Coke Desulfurization*", Institute for Chemical Engineering of Coal, Taiyuan University of Technology, China.