

PEMBUATAN KARBON AKTIF DARI BATU BARA TERMODIFIKASI TiO₂ UNTUK PENYERAP KARBON MONOKSIDA

Yuliusman

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus Baru UI, Depok 16424
usman@che.ui.ac.id

ABSTRAK

Peristiwa kebakaran dapat menyebabkan kematian karena terpapar CO dari asap kebakaran. Oleh karena itu kandungan CO pada asap kebakaran bisa diadsorpsi menggunakan adsorben seperti karbon aktif. Penelitian ini bertujuan untuk membuat karbon aktif dari batu bara menggunakan *aktive agent* kalium hidroksida (KOH) dan aktivasi fisika pada suhu tinggi. Karbon aktif yang dihasilkan digunakan untuk menyerap Carbon monoksida (CO). Adapun tahapan batu bara dicampurkan dengan larutan KOH selama 1 jam pada suhu 200°C, kemudian campuran diaktivasi fisika pada suhu 800°C selama 2 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses aktivasi dapat menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan 932 m²/gr, dengan rendemen 40,4%. Hasil karakterisasi X-Ray *Fluorescence* menunjukkan bahwa proses aktivasi dalam pembuatan karbon aktif dapat mengurangi kandungan pengotor seperti oksida logam yang terdapat dalam batu bara. Dari uji kemampuan penyerapan karbon aktif terhadap karbon monoksida menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel semakin meningkat kemampuan karbon aktif menyerap karbon monoksida. Semakin banyak massa karbon aktif yang didispersikan semakin meningkat jumlah karbon monoksida yang terserap. Karbon aktif dengan ukuran partikel 74 µm dan massa 3 gr mampu menyerap karbon monoksida sebesar 5,75%. Penambahan TiO₂ pada karbon aktif dapat meningkatkan penyerapan terhadap karbon monoksida, hasil terbaik diperoleh karbon aktif yang termodifikasi logam TiO₂ dengan persentase penyerapan karbon monoksida sebesar 6,81%

Kata kunci: batu bara, karbon aktif, karbon monoksida, titania oksida

ABSTRACT

Fire cases can cause death due to exposure to CO from smoke fire. Therefore, the content of CO in fire smoke adsorbed using adsorbents such as activated carbon. The purpose of this research is to produce the activated carbon from coal using Potassium hydroxide (KOH) active agent and physical activation at high temperature. In this process, coal was mixed with KOH solution for 1 hour at temperature 200°C. The physical activation of this mixture was at 800°C in 2 hours. The result shows that activation process is able to produce activated carbon with the value of surface area is 932 m²/gr and the yield is 40.4%. The X-Ray Fluorescence characterisation shows that activation process in activated carbon production can reduce the impurities such as metal oxides contained in the coal. From the activated carbon performance test for the carbon monoxide adsorption, the reducing of particle size has an effect on the increasing of the performance of carbon monoxide adsorption by activated carbon. The higher mass of dispersed activated carbon can increase the level of carbon monoxide adsorption. The impregnation of TiO₂ on activated carbon can increase the absorption of the carbon monoxide, the best results obtained activated carbon modified TiO₂ metal with carbon monoxide absorption percentage of 6.81%.

Key words : coal, activated carbon, carbon monoxide, titanium dioxide

1. PENDAHULUAN

Peristiwa kebakaran dapat menimbulkan kerugian materi yang cukup besar. Selain itu, kebakaran juga menghasilkan asap dan senyawa beracun yang pada level tertentu dapat menyebabkan kematian. Statistik kebakaran di Jakarta dari 1998 sampai 2007 menunjukkan rata-rata 30 % dari nyawa korban kebakaran tidak dapat terselamatkan (Suryawan, 2010). Hal ini disebabkan bukan hanya oleh luka bakar, tetapi juga disebabkan oleh gas yang keluar bersama asap kebakaran bersifat toksik. Korban yang tewas akibat keracunan asap jauh lebih besar dibandingkan dengan korban akibat cedera luka bakar. 85% kematian pada kasus kebakaran di dunia, disebabkan oleh asap yang berat dan gas beracun (Wei, W. et al., 2007).

Asap yang dihasilkan pada kasus kebakaran mengandung karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO), uap air, partikulat, dan beberapa senyawa beracun seperti NO_x , SO_x , H_2S , dan lain-lain. Menurut Butler (2004) CO termasuk gas yang banyak dihasilkan pada waktu terjadi kebakaran. Gas CO merupakan komponen yang paling bersifat racun dapat menghambat aliran O_2 dengan membentuk karboksi hemoglobin (COHb) dalam darah. Kadar COHb di atas 50% dipercaya sebagai penyebab utama kematian dan sebagai bukti bahwa korban tewas akibat menghirup asap kebakaran (Anderson, et al., 1981). Oleh karena itu, perlu dilakukan usaha untuk mengurangi korban jiwa karena keracunan asap kebakaran yaitu dengan mengurangi tingkat racunnya.

Belum banyak peneliti yang melakukan penelitian untuk menurunkan kandungan CO dari asap kebakaran menggunakan adsorben. Karbon aktif dari batubara adalah salah satu adsorben yang potensial untuk digunakan menyerap CO dari asap kebakaran, karena berpori sehingga memiliki luas permukaan yang besar dan sumber batu bara Indonesia sangat melimpah. Oleh karena itu pada penelitian ini adsorben yang digunakan untuk menurunkan kadar CO dari asap kebakaran adalah karbon aktif yang berasal dari batubara.

2. METODE

2.1 Pembuatan karbon aktif termodifikasi TiO_2

Batubara dihancurkan sampai ukuran 200 mesh, kemudian dicampur dengan *activating agent* KOH dengan rasio pencampuran 4/1 pada temperature 200 °C. Selanjutnya diaktivasi fisika pada suhu 800 °C selama 2 jam sambil dialiri gas Nitrogen dengan laju alir 100 ml/menit. Hasil aktivasi dicuci dengan menggunakan HCl dan akuades. Kemudian dikeringkan pada oven dengan suhu 110 °C selama 24 jam.

Selanjutnya adalah modifikasi karbon aktif dengan TiO_2 . Sejumlah TiO_2 Degussa P-25 dilarutkan dalam 100 ml air demin dan diaduk secara sonikasi selama 10 menit. Larutan TiO_2 dan karbon yang telah diaktivasi (perbandingan karbon aktif dengan TiO_2 Degussa P-25 adalah 80 : 20) dan dilanjutkan dengan sonikasi selama 20 menit. Mengevaporasikan campuran karbon aktif- TiO_2 sampai tidak mengandung air. Adsorben yang terbentuk kemudian dimasukkan ke dalam *furnace* untuk dikalsinasi pada temperatur 100 °C selama 2 jam. Tahap karakterisasi hasil produk karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi TiO_2 dilakukan dengan metoda BET untuk memperoleh luas permukaan adsorben dan XRF untuk menentukan komposisi dari adsorben.

2.2 Uji Adsorpsi CO

Tahap uji adsorpsi CO dilakukan pada ruang uji dengan memasukan asap yang dibuat dari bahan yang akan dibakar (kertas, serbuk kayu, kabel, dan arang) ditimbang masing-masing 20 gram kemudian dibakar dalam wadah pembakaran dan memasukan asapnya ke dalam ruang uji. Adsorben dengan variasi massa dan ukuran didispersikan ke dalam ruang uji, dicatat penurunan konsentrasi CO sampai menit 20. Hasil penelitian akan didapatkan nilai dari % adsorpsi CO dan kapasitas adsorpsi.

$$\% \text{ Adsorpsi} = \frac{CO_0 - CO_{20}}{CO_0} \cdot 100\%$$

$$\text{Kapasitas Adsorpsi} = \frac{\text{massa CO}}{\text{massa Adsorben}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembuatan Karbon Aktif

Proses aktivasi yang akan dilakukan adalah dengan cara kimia yaitu dengan cara penambahan *activating agent* pada bahan baku pembuatan karbon aktif. Sebelum dilakukan proses aktivasi terlebih dahulu dilakukan pencampuran batu bara dengan *activating agent* yaitu KOH 65 %. Perbandingan *activating agent* dengan bahan dasar karbon aktif adalah 4:1. Bahan baku hasil preparasi awal dan *activating agent* ditimbang, kemudian dilakukan pencampuran keduanya. Campuran tersebut diaduk dengan stirrer sambil dipanaskan pada suhu 200 °C, setelah 2 jam, campuran tersebut dimasukkan ke oven selama 24 jam pada suhu 110 °C. Rata-rata persentase penguapan air pada saat terbentuknya padatan campuran antara *activating agent* dengan bahan baku adalah 68,7%.

Setelah melalui tahap aktivasi kimia dengan menggunakan KOH (*Potassium Hydroxide*), dilanjutkan pada tahap aktivasi fisika. Proses aktivasi fisika dilakukan dengan pemanasan pada suhu tinggi tanpa kehadiran oksigen bebas dengan mengalirkan gas N₂ ke dalam reaktor. Dengan tidak adanya oksigen bebas diharapkan tidak terjadi kerusakan struktur pori-pori bahan baku yang dapat menyebabkan terjadi *losses* (hilangnya bahan baku) pada hasil akhir karbon aktif. Gambar 1 adalah reaktor proses aktivasi fisika yang dilakukan pada temperatur 800 °C. Tabel 1 menggambarkan hasil pengamatan kondisi proses aktivasi.



Gambar 1 Alat Proses Aktivasi pada Pembuatan Karbon Aktif

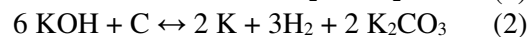
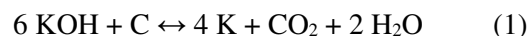
Tabel 1 Kondisi dan Hasil Pengamatan Proses Aktivasi Fisika

Temperatur (°C)	Waktu (menit)	Kondisi dan Hasil Pengamatan Pemanasan
0 – 100	15	
100 – 200	20	Kenaikan secara bertahap
200 – 300	40	Uap air keluar diikuti asap putih
300 – 400	30	Asap kecoklatan mulai terlihat diikuti uap air
400 – 500	10	Asap kecoklatan semakin tebal
500 – 600	10	Asap sudah mulai hilang
600 – 800	15	Dilakukan kenaikan secara bertahap untuk mencapai suhu <i>setting</i> 900 °C

Pada proses aktivasi fisika ini, menimbulkan asap kecoklatan pada suhu 300 °C. Hal ini dapat terjadi karena batu bara mempunyai kandungan sulfur sehingga memungkinkan adanya gas kecoklatan (Megasari dkk, 2008). Dari Tabel 3.1 juga menunjukkan bahwa pemanasan pada temperatur sampai 600 °C sudah tidak menunjukkan asap putih maupun asap kecoklatan yang keluar dari reaktor. Hal ini dapat menandakan bahwa proses aktivasi pada bahan baku mulai berjalan.

Pada proses aktivasi fisika karbon bereaksi dengan *activating agent* (KOH) sehingga akan membentuk pori-pori baru (melubangi permukaan karbon) serta menghasilkan karbon dioksida yang berdifusi pada permukaan karbon. *Amorphous* karbon yang menghalangi pori bereaksi pada tahap oksidasi awal dan sebagai hasilnya *closed pore* akan terbuka dan tercipta pori-pori yang baru (Sudibandriyo, 2003). Pori-pori yang terbentuk inilah yang memperbesar luas permukaan karbon aktif (Sontheimer, 1985). Persentase penguapan sampel pada proses aktivasi fisika sebesar 41,9%. Besarnya persentase sampel terurai ini berasal dari kadar air atau pengotor yang terdapat pada padatan dan senyawa-senyawa *volatile* yang hilang ketika melalui proses aktivasi fisika. Selain itu proses aktivasi

ini juga menguraikan beberapa atom karbon menjadi gas CO₂. Hal ini dikarenakan pada proses pemanasan (padatan campuran *activating agent*/bahan baku) terjadi reaksi kimia sebagai berikut:

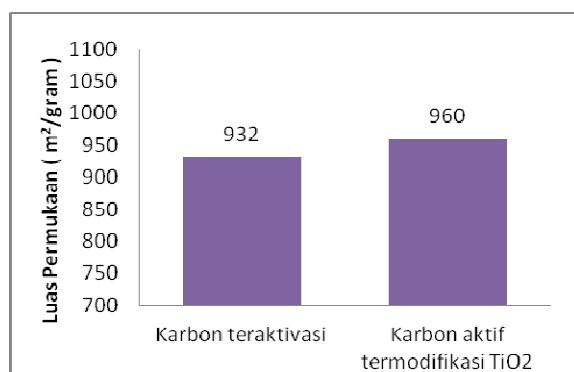


Karbon bereaksi dengan *activating agent* (KOH), sehingga akan membuka pori – pori baru yang semula masih tertutup, serta menghasilkan gas karbon dioksida (CO₂) yang berdifusi pada permukaan karbon. *Amorphous* karbon yang menghalangi pori bereaksi pada tahap oksidasi awal dan sebagai hasilnya *closed pore* akan terbuka dan tercipta pori-pori yang baru. Pori-pori yang terbentuk inilah yang memperbesar luas permukaan karbon aktif. Kemudian karbon aktif yang terbentuk dimodifikasi dengan TiO₂ menggunakan TiO₂ Degussa P-25.

3.2 Karakterisasi Karbon Aktif

a. Luas permukaan

Luas permukaan karbon aktif mempengaruhi besarnya kemampuan daya adsorp atau daya serap dari karbon aktif. Untuk mengetahui luas permukaan karbon aktif dilakukan pengujian luas permukaan metode BET yang meliputi karbon teraktivasi dan karbon aktif termodifikasi TiO₂.



Gambar 2. Perbandingan luas permukaan Karbon Aktif dan Karbon Aktif TiO₂

Gambar 2 menunjukkan peningkatan luas permukaan karbon teraktivasi dengan karbon aktif modifikasi TiO₂ dari 932.0358 m²/gram menjadi 960.2958 m²/gram. Pada penelitian ini tidak diuji luas permukaan pada karbon batubara murni, hal ini disebabkan karena pada karbon batubara masih banyak kandungan pengotor dan air yang masih menutupi pori, sehingga apabila dilakukan uji luas permukaan dengan BET, hasilnya sangat kecil atau bisa dikatakan tidak ada. Penambahan *activating agent* pada karbon aktif akan mengakibatkan terjadinya proses pemutusan ikatan rantai karbon dari senyawa-senyawa organik. Proses aktivasi fisika pada suhu tinggi dapat membentuk pori-pori baru, sehingga akan menghasilkan luas permukaan yang sangat besar, yang nantinya akan meningkatkan daya serap dari batubara tersebut.

b. Komposisi

Alat Instrument yang digunakan untuk pengujian ini adalah X-Ray Fluorescence (XRF). Tabel 2 menunjukkan komposisi dari karbon batubara murni, karbon aktif, dan karbon aktif termodifikasi TiO₂. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi oksida pengotor setelah dilakukan aktivasi, hal ini menunjukkan bahwa proses aktivasi dapat menghilangkan oksida pengotor pada karbon batubara. Karbon yang telah diaktivasi, dimodifikasi dengan TiO₂ degussa P-25, terdapat kandungan TiO₂ dalam karbon aktif modifikasi TiO₂ sebesar 20,78 wt%. Hasil ini menunjukkan bahwa proses modifikasi antara TiO₂ dengan karbon aktif berjalan dengan baik, dikarenakan nilai komposisi akhir mendekati nilai kandungan TiO₂ aktualnya.

Tabel 2. komposisi karbon batubara murni, karbon aktif, dan karbon aktif termodifikasi TiO₂

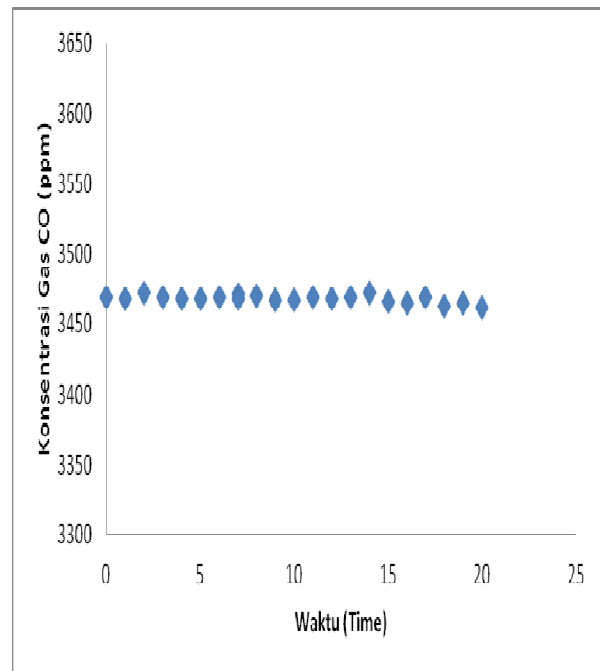
Jenis	SO ₃ (%wt)	Fe ₂ O ₃ (%wt)	K ₂ O (%wt)	ZrO ₂ (%wt)	MnO (%wt)	NiO (%wt)	P ₂ O ₅ (%wt)	TiO ₂ (%wt)	ZnO (%wt)	Rb ₂ O (%wt)	Cl (%wt)
Karbon Batubara	7,88	12,91	18,28	3,97	3,24	2,14	5,89	2,17	1,92	1,04	4,11
Karbon aktif	3,78	6,19	13,91	1,08	0,95	0,64	3,38	0,83	0,02	0,01	2,32
KA - TiO ₂	2,14	8,77	14,45	0,45	0,37	0,28	1,02	20,78	0,11	0,01	0,55

3.3 Uji Adsorpsi CO

Ruang uji adsorpsi gas CO dibuat dari bahan akrilik dengan ukuran 40 cm x 40 cm x 120 cm. Ruang uji ini dilengkapi dengan 3 lubang di bagian samping untuk memasukkan asap kebakaran dan 1 lubang di bagian atas untuk mendispersikan karbon aktif (Gambar 3).

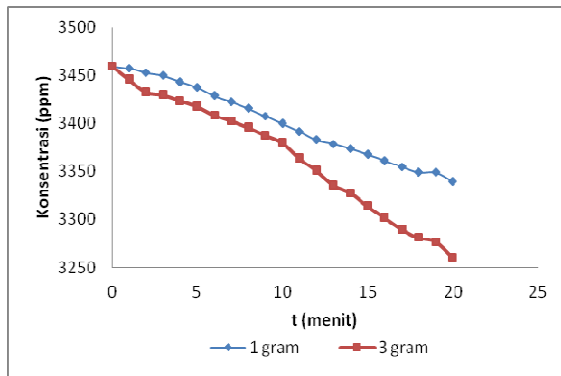
**Gambar 3** Ruang uji yang digunakan

Sebelum dilakukan uji adsorpsi, dilakukan uji kebocoran ruang uji. Gambar 4 menunjukkan bahwa kondisi yang stabil dari CO yang berada di dalam ruang uji, sehingga dapat disimpulkan bahwa ruang uji tidak mengalami kebocoran dan dapat digunakan dalam penelitian ini.

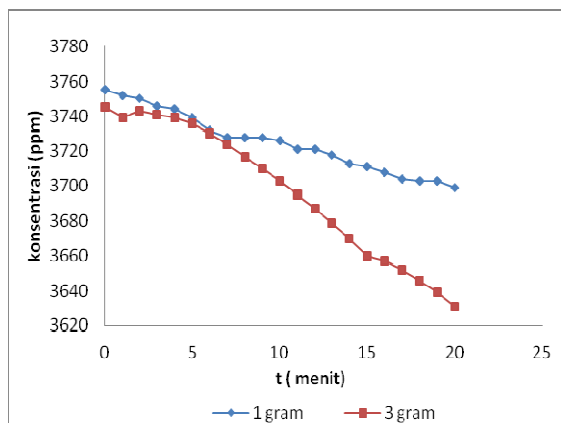
**Gambar 4** Konsentrasi CO pada uji kebocoran

a. Penyerapan CO oleh karbon aktif

Pada pengujian kali ini menggunakan adsorben karbon aktif dengan variasi ukuran dan massa dari tiap – tiap ukuran tersebut. Ukuran yang digunakan adalah 250 μm dan 74 μm, sedangkan massa yang digunakan adalah 1 dan 3 gram. Penurunan nilai konsentrasi gas CO dicatat hingga 20 menit. Nilai persen adsorpsi didapatkan dari perhitungan antara selisih nilai konsentrasi pada menit ke 20 dengan konsentrasi awal gas CO, dibagi dengan konsentrasi awal gas CO. Gambar 5 menunjukkan penurunan konsentrasi gas CO pada ukuran 74 μm dan 250 μm.



(a)



(b)

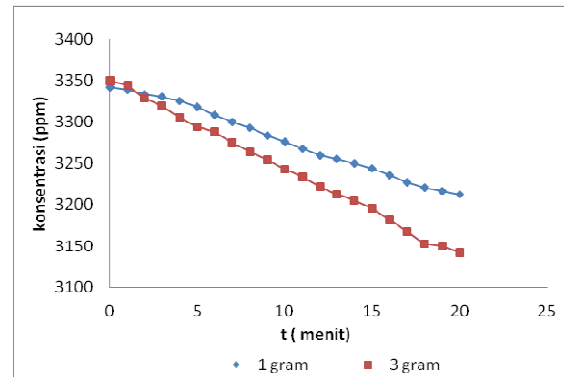
Gambar 5 penurunan konsentrasi gas CO pada ukuran partikel (a) 74 μm dan (b) 250 μm

Berdasarkan gambar di atas bahwa nilai penurunan konsentrasi CO paling besar adalah pada adsorben karbon aktif 74 μm dengan massa 3 gram, diperoleh nilai penurunan sebesar 199 ppm. Nilai pada karbon aktif 250 μm (massa 3 gram), dan 74 μm (massa 1 gram), memberikan nilai penurunan konsentrasi yang hampir mendekati yaitu sebesar 123 ppm dan 120 ppm. Nilai persen adsorpsi yang paling besar adalah pada adsorben karbon aktif dengan ukuran 74 μm massa 3 gram adalah sebesar 5.75 %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar persen adsorpsi, maka daya serap terhadap gas CO akan semakin besar pula.

b. Penyerapan CO oleh karbon aktif termodifikasi TiO₂ (KA-TiO₂)

Pada pengujian adsorpsi gas dengan adsorben yang dimodifikasi dengan TiO₂ bertujuan adalah melihat nilai persen adsorpsi dan nilai t₁₀ dari adsorben yang telah

dimodifikasi dan keefektifitasan penambahan TiO₂ ke dalam adsorben serta pengaruh penambahan TiO₂ ke % adsorpsi CO, pengurangan konsentrasi CO. Hasil dari penurunan konsentrasi CO dengan KA-TiO₂ dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 penurunan konsentrasi CO dengan KA-TiO₂

Pada pengujian dengan menggunakan KA-TiO₂ ini hanya menggunakan satu variasi massa dan 2 ukuran, yaitu 74 μm ukuran dengan 1 dan 3 gram. Nilai persen adsorpsi yang didapat sebesar 3.89 % dan 6.18 %. Penurunan nilai konsentrasi CO yang paling besar terdapat pada KA-TiO₂ 74 μm 3 gram, sebesar 207 ppm. Semakin besar massa KA-TiO₂ yang didispersikan membuat kapasitas adsorpsi menjadi meningkat. Dari hasil tersebut di atas penambahan TiO₂ pada karbon aktif dapat meningkatkan persentase penyerapan CO, tetapi belum menunjukkan angka yang signifikan.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan serta pembahasannya, maka penulis dapat memberikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dari pengujian luas permukaan dengan metode BET, untuk karbon aktif didapat 932.04 m²/gram, dan untuk karbon aktif termodifikasi TiO₂ didapat 960.296 m²/gram.
2. Kandungan TiO₂ hasil pengukuran dengan XRF pada karbon aktif termodifikasi adalah sebesar 20.78 wt%
3. Hasil nilai persen adsorpsi yang paling baik pada uji dengan adsorben karbon aktif adalah pada adsorben karbon aktif dengan ukuran 74 μm dan massa dispersi 3 gram.

4. Hasil nilai persen adsorpsi terbaik antara pengujian dengan adsorben karbon aktif dan karbon aktif – TiO₂ adalah pada adsorben karbon aktif – TiO₂ dengan 74 µm dan massa dispersi 3 gram.

DAFTAR PUSTAKA

Muhammad Gondang AK. 2010. *Proses Penjernihan Asap Kebakaran Menggunakan Zeolit Alam Lampung Termodifikasi Dengan TiO₂ Melalui Metoda Sol Gel*. Seminar. Depok : Departemen Teknik Kimia FTUI.

Mulukutla; Ravichandra S. 2007. *Metal oxide nanoparticles for smoke clearing and fire suppression*. Hovey Williams LLP

Suraputra, Reza. 2011. *Adsorpsi Gas Karbon Monoksida (CO) dan Penjernihan Asap Kebakaran Menggunakan Zeolit Alam Lampung Termodifikasi TiO₂*. Skripsi. Depok : Departemen Teknik Kimia FTUI.

Pamungkas, Sukma. 2011. *Pemanfaatan Zeolit Alam Bayah Pada Proses Penjernihan Asap Kebakaran dan Pengurangan Tingkat Racun Asap*. Skripsi. Depok : Departemen Teknik Kimia FTUI.

Prihatama, Yuda. 2009. *Preparasi Zeolit Alam Lampung Dengan Metode Dealuminasi dan*

Kalsinasi Untuk Adsorpsi Gas CO. Skripsi. Depok : Departemen Teknik Kimia FTUI.

Pujiyanto. 2010. *Pembuangan Karbon Aktif Super Dari Tempurung Kelapa dan Batubara*. Skripsi. Depok : Departemen Teknik Kimia FTUI.

Teng, H.; Yeh, T.-S. *Preparation of Activated Carbons from Bituminous Coals with Zinc Chloride Activation*; Ind. Eng. Chem. Res. **1998**, 37, 58.

Yadhav, P.D., S.S Rayalu, S. Devota. 2007. *CO₂ emission and its mitigation by adsorption on zeolites and activated carbon*, Current Science, Vol 92, No. 6.

Wang, W., Z.H. Ping, W.Y. Tian. 2007. *Experiimental study on CO₂/CO of Typical lining Materials in Full-Scale Fire Test*. *Chinese Science Bulletin*, Volume 52, Issue 9, pp. 1282-1286.