



Aktivasi Zeolit Alam Lampung sebagai Adsorben Karbon Monoksida Asap Kebakaran

Yuliusman

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424

E-mail : usman@che.ui.ac.id, yuliusman@yahoo.com

Abstract

This study aims to absorb the carbon monoxide (CO) gas using Lampung natural zeolite as an adsorbent. Natural Zeolite has porous crystal structure, large surface area, high thermal stability, non-toxic, and effective. Natural zeolites contain many impurities, then it must be activated. Activation of natural zeolite was done by soaking in a solution of 2% HF for 10 minutes with stirring. Furthermore, dealumination natural zeolite carried out by soaking in a solution of 6 M HCl for 30 minutes. Zeolite was soaked with a solution of 0.1 M NH₄Cl and then was calcined. Then Activated Natural zeolite was tested the adsorption of carbon monoxide gas from burning tissue paper. Variations in particle size of the zeolite is 53-106 μ m, 106-150 μ m and 150-212 μ m. The results showed that activated natural zeolite with a particle size of 53-106 microns can adsorb CO gas at 379 ppm (12.2%) of the initial concentration for 20 minutes.

Keywords: adsorbent, carbon monoxide, tissue, zeolite

Pendahuluan

Kebakaran merupakan peristiwa yang sulit dihindari. Selain menimbulkan kerugian ratusan miliar rupiah, kebakaran juga dapat menimbulkan korban jiwa. Menurut data dari tahun 1998 sampai 2007, rata-rata 30% dari nyawa korban kebakaran tidak dapat terselamatkan (PNPB, 2014). Pada kasus kebakaran, tingkat kematian karena keracunan asap jauh lebih besar dibandingkan dengan kematian karena cedera luka bakar. Di dunia, 85% kematian pada kasus kebakaran disebabkan oleh asap yang berat dan gas beracun (Yuliusman et. al, 2011).

Asap dari kasus kebakaran banyak mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya bagi kesehatan. Beberapa kandungan asap yang dihasilkan antara lain karbon dioksida, karbon monoksida, uap air, partikulat, dan beberapa senyawa beracun seperti NO_x serta SO_x. Menurut penelitian sebelumnya, walaupun tidak dijelaskan secara kuantitatif oleh Butler pada tahun 2004, CO termasuk gas yang banyak dihasilkan pada waktu terjadi kebakaran. Karbon monoksida tidak mengiritasi tetapi sangat berbahaya. Jika terhirup oleh manusia, gas itu akan menggantikan posisi oksigen yang berikatan dengan haemoglobin dalam darah dan akan mengalir ke jantung, otak, dan organ vital lainnya. Ikatan ini juga membuat oksigen kalah bersaing dengan CO saat berikatan dengan molekul haemoglobin, dan ini menyebabkan kadar oksigen dalam darah akan berkurang. Batas paparan karbon monoksida yang diperbolehkan oleh OSHA (Occupational Safety and Health Administration) adalah 35 ppm untuk waktu 8 jam/hari kerja, sedangkan yang diperbolehkan oleh ACGIH TLV-TWV adalah 25 ppm untuk waktu 8 jam. Kadar yang dianggap langsung berbahaya terhadap kehidupan atau kesehatan adalah 1500 ppm. Paparan dari 1000 ppm (0,1%) selama beberapa menit dapat menyebabkan 50% kejenuhan dari karboksi hemoglobin dan dapat berakibat fatal.

Oleh karena beberapa fakta yang telah dijabarkan mengenai bahayanya gas CO tersebut, asap kebakaran harus dapat dikurangi atau dijinakkan. Penelitian mengenai adsorpsi gas CO menggunakan berbagai adsorben telah banyak dilakukan sebelumnya (Yuliusman et. al, 2013). Pada penelitian ini akan digunakan zeolit alam sebagai media adsorpsi karena struktur kristalnya berpori, memiliki luas permukaan yang besar, stabilitas termal yang tinggi, tidak bersifat racun, dan efektif.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini zeolit alam terlebih dahulu diaktivasi sebelum diujikan untuk menyerap gas CO pada asap pembakaran. Proses aktivasi sendiri dilakukan dengan harapan mampu meningkatkan kadar Si/Al dan luas permukaannya sehingga bisa menyerap lebih banyak gas CO dibandingkan dengan zeolit alam yang tidak diaktivasi. Pada penelitian ini juga akan dilihat diameter pori zeolit dan rasio Si/Al pada setiap tahap aktivasi menggunakan SEM-EDAX, dan data luas permukaan menggunakan BET. Sebagai data pendukung, akan disajikan juga data kapasitas gas CO pada masing-masing ukuran zeolit. Keberhasilan penelitian ini ditunjukkan dengan didapatkannya ukuran zeolit yang mempunyai kapasitas adsorpsi paling besar untuk menyerap gas CO pada asap pembakaran.

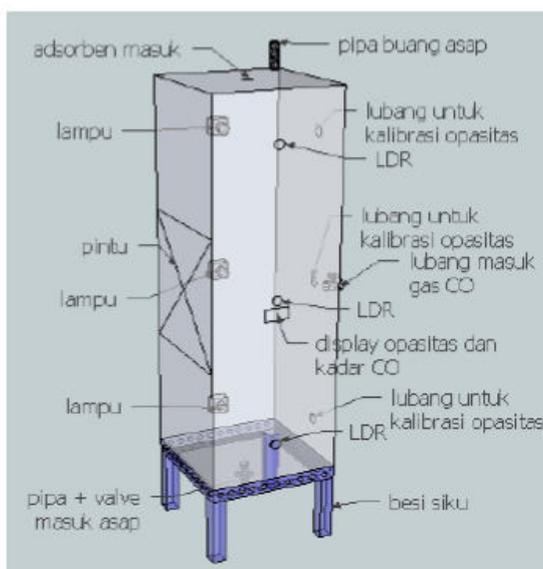


Preparasi zeolit alam

Zeolit alam pada penelitian kali ini diaktivasi terlebih dahulu. Pertama, zeolit direndam dengan larutan HF 2% selama 10 menit disertai pengadukan. Setelah itu, zeolit direndam dengan larutan HCl 6 M selama 30 menit dan disertai pengadukan. Kemudian zeolit direndam dengan larutan NH_4Cl 0,1 M selama 5 hari dan diaduk selama 3 jam perhari. Setelah itu, zeolit dikalsinasi pada suhu 500°C selama 5 jam.

Uji Adsorpsi karbon monoksida dan penjernihan asap

Pada tahap ini, dilakukan pengujian adsorpsi gas CO dengan adsorben. Adsorben dari ukuran partikelnya (53-106 μm , 106-150 μm , dan 150-212 μm). Adsorben dimasukkan melalui lubang yang terdapat pada bagian atas ruang uji, sedangkan asap berasal dari kertas dengan massa 8 gram yang dibakar secara *smoldering*. Setelah kadar gas CO pada ruang uji berkisar diangka 3.000 ppm, adsorben dimasukkan dan dicatat penurunan kadar gas CO serta opasitasnya setiap menit selama 20 menit. Uji adsorpsi dilakukan dalam ruang uji seperti pada Gambar 1.



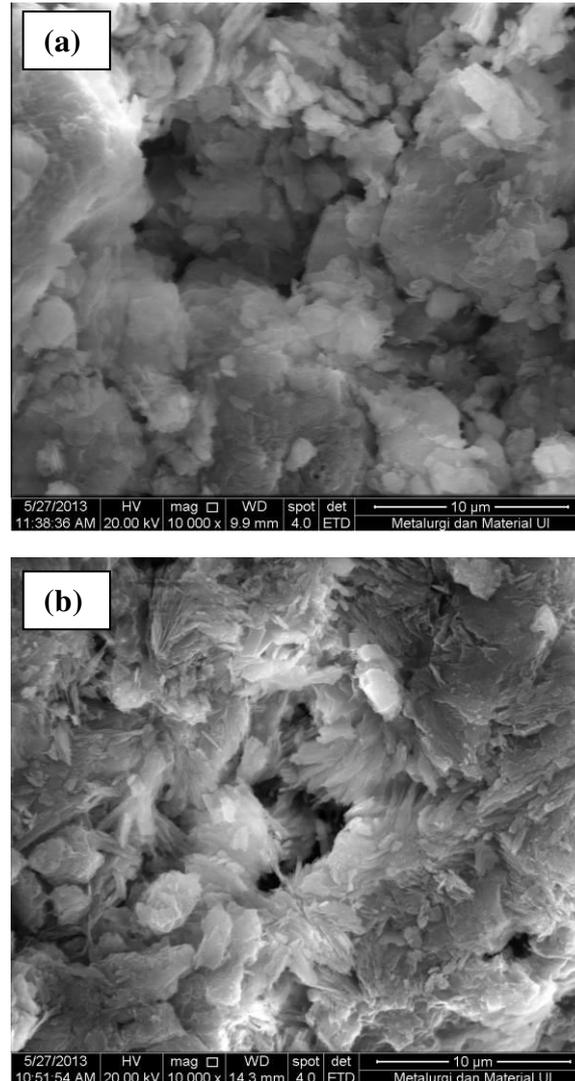
Gambar 1. Skema Ruang uji

Hasil dan Pembahasan

Aktivasi dan Karakterisasi Zeolit Alam

Zeolit direndam dalam larutan HF 2 % selama 10 menit disertai pengadukan, terjadi perubahan warna pada larutan yang awalnya bening menjadi berwarna putih keabu-abuan dan keruh. Hal ini menunjukkan adanya kandungan oksida-oksida dan senyawa organik pengotor di dalam zeolit. Kemudian zeolit direndam dalam larutan HCl 6 M selama 30 menit, terjadi perubahan warna pada larutan yang awalnya bening menjadi kuning pekat. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi reaksi antara HCl dengan logam yang terdapat dalam zeolit. Sesuai dengan teori bahwa HCl akan berubah menjadi kuning apabila terkontaminasi kandungan logam. Sedangkan pada perendaman zeolit dengan larutan NH_4Cl 0,1 M, larutan yang awalnya bening berubah menjadi hijau. Hal tersebut disebabkan karena oksida aluminium yang bereaksi dengan klorin akan berubah menjadi $\text{AlCl}_x(\text{OH})_y$ yang mengandung hidrat dan berwarna kehijauan. Perendaman ini juga bertujuan untuk menguatkan kembali struktur zeolit, kemudian zeolit dikalsinasi. Zeolit hasil kalsinasi memiliki tampilan yang lebih putih dan lebih terang daripada zeolit sebelum dikalsinasi. Warna kebiruan dan kehijauan pada zeolit sebelum dilakukan preparasi dikarenakan adanya kandungan air (hidrat) yang terikat pada struktur zeolit. Setelah dikalsinasi maka kandungan hidrat sudah dihilangkan sehingga warnanya menjadi lebih putih dan bersih.

Karakterisasi SEM-EDAX dapat memberikan tampilan foto permukaan zeolit dan komposisi logam yang terdapat dalam zeolit. Gambar 2 menunjukkan hasil foto SEM, terlihat bahwa zeolit yang sudah diaktivasi mempunyai pori yang lebih bersih dan terbuka dibandingkan zeolit yang sebelum diaktivasi. Hal ini menunjukkan bahwa proses aktivasi zeolit dengan larutan HF, HCl, NH_4Cl dan kalsinasi dapat menghilangkan pengotor dalam zeolit baik organik maupun oksida logam. Proses aktivasi dengan larutan asam dapat menghilangkan pengotor oksida logam sedangkan aktivasi dengan suhu tinggi (kalsinasi) dapat menghilangkan senyawa organik yang terdapat dalam zeolit. Sehingga proses aktivasi dapat membuka dan membersihkan pori-pori yang ada dalam zeolit, seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 2. Hasil foto SEM zeolit alam; (a) sebelum aktivasi, (b) setelah aktivasi

Tabel 1 menunjukkan komposisi logam yang terdapat dalam zeolit untuk setiap tahapan aktivasi. Zeolit yang digunakan adalah zeolit alam Lampung yang terbentuk langsung di alam, sehingga banyak oksida-oksida logam yang terkandung di dalamnya. Data pengukuran EDAX dapat memberikan informasi jumlah unsur Silika dan Aluminium dalam zeolit serta oksida lainnya yang menjadi pengotor. Setelah proses aktivasi dihasilkan zeolit dengan kandungan Si dan Al, serta oksida pengotor yang berbeda-beda. Tabel 2 menunjukkan rasio Si/Al dalam zeolit pada setiap tahapan aktivasi.

Tabel 1. Data EDAX untuk masing-masing perlakuan aktivasi zeolit alam

Unsur (%wt)	C	O	Al	Si	K	Ca	F	Fe	Cl
TanpaAktivasi	4,31	48,1	7,35	37,08	1,83	1,33	-	-	-
HF	2,44	41,5	7,79	34,79	1,35	1,86	10,27	-	-
HCl	3,13	47,54	6,85	40,7	-	-	-	0,48	0,46
NH ₄ Cl	2,2	48,37	4,96	44,47	-	-	-	-	-
Kalsinasi	3,6	54,92	4,88	36,59	-	-	-	-	-

Berdasarkan Tabel 2 pada tahapan proses dealuminasi menggunakan larutan HCl 6 M terjadi peningkatan rasio Si/Al dari 5,04 menjadi 5,94 dan terjadi penurunan komposisi unsur Aluminium dari 7,35 (%wt) menjadi 6,85 (%wt). Pada tahap dealuminasi, HCl 6 M berfungsi untuk melarutkan oksida logam (AlO₄)⁵⁻ dengan membuka pori-pori zeolit menjadi berukuran pori lebih besar sehingga oksida aluminium dari kerangka dalam kristal akan keluar dan mendorong oksida aluminium keluar dari struktur zeolit dan terlarut dalam larutan HCl 6 M (Yuliusman

et. al, 2012). Pada tahapan perendaman zeolit alam Lampung dengan larutan NH_4Cl 0,1 M terjadi peningkatan rasio Si/Al dari 5,94 menjadi 8,96 dan penurunan unsur aluminium dari 6,85 (%wt) menjadi 4,96 (%wt). Tahap ini berfungsi untuk memperkuat struktur baru yang terbentuk dari proses dealuminsi.

Tabel 2. Rasio Si/Al tiap tahap aktivasi zeolit alam Lampung

No	Tahap aktivasi	Si (%wt)	Al (%wt)	Si/Al
1	ZAL asli	37,08	7,35	5,04
2	HF 2%	34,79	7,79	4,47
3	HCl 6M	40,7	6,85	5,94
4	NH_4Cl 0.1 M	44,47	4,96	8,96
5	Kalsinasi	36,59	4,88	7,50

Pada tahapan proses kalsinasi pada temperatur 500°C zeolit terjadi penurunan rasio Si/Al dari 8,96 menjadi 7,5. Pada tahap ini terjadi penurunan komposisi unsur silika dan aluminium. Hal ini terjadi karena pada saat proses kalsinasi oksida-oksida silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) mengendap pada bagian bawah dan melekat pada cawan penguapan sehingga komposisi oksida silika dan alumina menurun (Yuliusman et. al, 2012).

Luas permukaan zeolit alam Lampung mempengaruhi besarnya kemampuan daya jerap. Untuk mengetahui luas permukaan zeolit dilakukan analisa metode BET yang meliputi zeolit alam Lampung murni dan zeolit alam Lampung teraktivasi. Pada Tabel 3 terlihat bahwa luas permukaan zeolit tanpa aktivasi memiliki nilai paling kecil, yaitu 45,4. Perendaman dalam larutan HF 2% akan melarutkan oksida pengotor yang terdapat pada zeolit alam, perendaman dalam larutan NH_4Cl 0,1 M akan melarutkan oksida pengotor yang masih tertinggal pada proses dealuminasi melalui proses pertukaran ion sehingga dapat menjadikan ruang kosong dalam kristal-kristal. Proses kalsinasi pada suhu 500°C akan menguapkan molekul air yang terdapat dalam kristal zeolit sehingga terbentuk suatu rongga dengan permukaan yang lebih besar. Peningkatan luas permukaan pada zeolit setelah diaktifasi disebabkan terbukanya pori-pori pada struktur zeolit alam sehingga menyebabkan luas permukaan zeolit yang teraktivasi lebih besar dibanding zeolit yang belum teraktivasi.

Tabel 3. Luas permukaan Zeolit

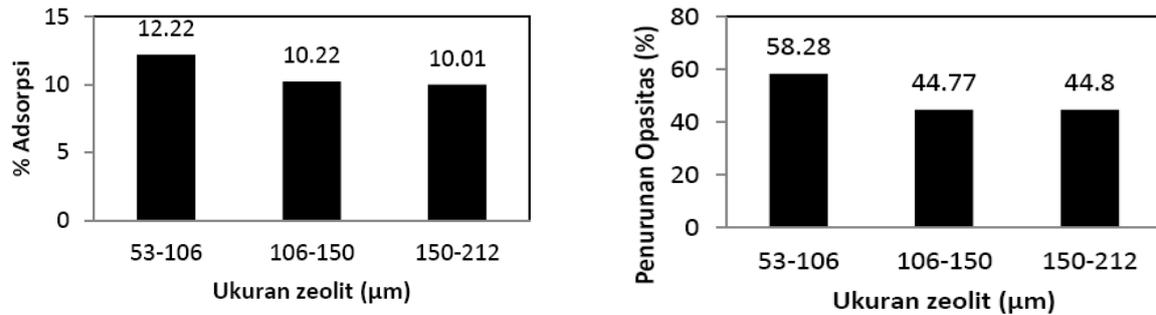
No	Zeolit	Luas Permukaan (m^2/g)
1	Zeolit asli	45,4
2	Zeolit teraktivasi	83,13

Uji Adsorpsi Gas CO dan Penjernihan Asap

Pada tahap ini, dilakukan pengujian adsorpsi gas CO dengan adsorben. Adsorben dimasukan melalui lubang yang terdapat pada bagian atas ruang uji, sedangkan asap berasal dari kertas dengan massa 8 gram yang di-smoldering. Setelah kadar gas CO pada ruang uji berkisar diangka 3.000 ppm, adsorben dimasukan dan dicatat penurunan kadar gas CO serta opasitasnya (tingkat kegelapan asap) setiap menit selama 20 menit. Variasi yang dilakukan adalah ukuran partikel zeolit, yaitu 53-106 μm , 106-150 μm , dan 150-212 μm . Kemampuan zeolit dalam menurunkan konsentrasi gas CO ditunjukkan pada Gambar 3a.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa partikel yang lebih kecil memiliki kemampuan menjernihkan asap lebih baik. Hal ini ditandai dengan penurunan kadar CO yang paling baik terdapat pada ukuran partikel 53-106 μm , yaitu sebesar 12,2%, dibandingkan dengan ukuran lainnya yang hanya mencapai 10,2% untuk ukuran 106-150 μm dan 10,01% untuk ukuran 150-212 μm . Hal ini disebabkan daerah kontak antara zeolit dengan partikel asap semakin banyak sehingga kemungkinan partikel yang bertabrakan dan berkoagulasi dengan partikel asap semakin banyak pula. Banyaknya partikel ini juga berarti luas permukaan yang kontak dengan asap semakin banyak (Yuliusman et. al, 2015). Untuk penurunan opasitas CO bisa dilihat pada Gambar 3b.

Berdasarkan Gambar 4 tersebut, dapat diamati bahwa ukuran partikel 53-106 μm dapat menurunkan opasitas sampai 58,28% dari opasitas awal. Hal ini sinergis dengan penurunan kadar CO yang paling baik terdapat pada ukuran partikel 53-106 μm . Dengan kata lain, ukuran partikel 53-106 μm merupakan ukuran yang paling baik dalam mereduksi kadar CO dan mengurangi opasitas asap.



Gambar 3. Hasil percobaan (a) Pengaruh ukuran partikel terhadap % Adsorpsi (b)Pengaruh ukuran partikel terhadap % penurunan opasitas asap

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Proses aktifasi zeolit alam lampung dengan asam dan kalsinasi dapat meningkatkan luas permukaan dan perbandingan Si/Al.
2. Zeolit alam mempunyai kemampuan dalam mengadsorpsi karbon monoksida. Semakin kecil ukuran partikel zeolit semakin baik mengadsorpsi karbon monoksida.
3. Kapasitas adsorpsi karbon monoksida oleh zeolit alam teraktifasi berukuran 53-106 μm lebih baik dari dua ukuran 106-150 μm dan 150-212 μm . Zeolit alam teraktifasi dengan ukuran partikel 53-106 μm dapat mengadsorpsi sebesar 12,2% dari konsentrasi awal.
4. Kemampuan menjernihkan asap terbaik juga didapat menggunakan zeolit alam teraktifasi berukuran 53-106 μm , dengan % penurunan opasitas sebesar 58,28%.

Daftar Pustaka

- Tito Apriano, Yulianto S. Nugroho. 2012. Pengembangan Sistem Pengukuran Densitas Optik Asap Kebakaran. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin dan Thermofluid IV, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Arean, C., Oteron. 2007. Dinitrogen and Carbon Monoxide Hydrogen Bonding in Protonic Zeolites: Studies from Variable-Temperature Infra Red Spectroscopy. Journal of Molecular Structure, Volume 880, pp. 31-37.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2014. Data Kasus Kebakaran Tahun 2014. BNPB: Jakarta.
- Yuliusman, Widodo WP, Yulianto S.N, M. Gondang A.K. 2011. Uji kapasitas adsorpsi Zeolit alam Lampung Termodifikasi TiO₂ terhadap kapasitas adsorpsi gas Karbon monoksida. Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia, ITS Surabaya.
- Yuliusman, Widodo WP, Yulianto S.N, M. , Reza S. 2012. Pengaruh Aktifasi Zeolit Alam Lampung terhadap Adsorpsi Gas Karbon Monoksida dan Penjernihan Asap Kebakaran. Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan. UPN, Yogyakarta.
- Yuliusman, Widodo WP, dan Yulianto S.N, 2013, Pemilihan Adsorben untuk Penyerapan Karbon monoksida Menggunakan Model Adsorpsi Isotermis Langmuir, Jurnal Reaktor, vol.14 no.3, pp. 225-233.
- Yuliusman, Widodo Wahyu Purwanto, Yulianto Sulisty Nugroho. 2015. Smoke Clearing Method Using Activated Carbon and Natural Zeolite, International Journal of Technology, Vol. 6 (3), pp. 492-503.



Lembar Tanya Jawab
Moderator : Ratna Frida Susanti (Universitas Parahyanagan)
Notulen : Retno Ringgani (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Satya
Pertanyaan :
 1. Faktor yang dipilih untuk mencari aktif agent?
 2. Semua asam mineral dapat dipakai?
 3. Asam yang digunakan sudah umum?
 4. Pengotor mineral digunakan menghilangkan pengotor mineral?
 5. Pengotor organik dihilangkan dengan kalsium?Jawaban : Semua asam mineral dapat digunakan, (HCl, HNO₃)

2. Penanya : Rusdi (Untirta)
Pertanyaan : Teknik kalsinasi 500°C → sangat tergantung suhu aplikasi
Jawaban : Dengan suhu 500°C, Pada suhu tersebut dapat menghilangkan pengotor organik, dan memperkuat struktur Kristal zeolit Alam. Saran penggunaan CO yang murni untuk percobaan.

3. Penanya : I Nyoman (Undip)
Pertanyaan : Mekanisme apa yang paling mendasar agar CO yang tertangkap ?
Jawaban : Melakukan uji adsorpsi sebelum/saat pemilihan zeolit

