

## ADSORPSI MERKURI (II) MENGGUNAKAN ZEOLIT DARI FLY ASH BATUBARA

Helmina Mandalahi, Lince Muis, Madyawati Latief  
Prodi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi  
Lorong Caesar, Pematang Lumut, Jambi 36139  
email: [helminamandalahi@gmail.com](mailto:helminamandalahi@gmail.com)

### ABSTRACT

*Pembuatan zeolit dari abu terbang batubara dan diaplikasikan sebagai adsorben untuk penyerapan merkuri (II) telah dilakukan. Zeolit dibuat dari abu terbang batubara dengan menggunakan metode solid state dan dikarakterisasi dengan menggunakan XRD dan FTIR. Adsorpsi merkuri (II) menggunakan zeolit dilakukan dengan variasi suhu furnace dan waktu kontak. Hasil karakterisasi dengan XRD memperlihatkan bahwa tipe zeolit adalah Faujasit dengan puncak pada 6,0688°; 15,3959°; dan 23,2781°. Karakterisasi dengan FTIR menunjukkan bahwa abu terbang dapat digunakan untuk pembuatan zeolit pada 462,92 cm<sup>-1</sup>. Adsorpsi merkuri (II) menggunakan zeolit menunjukkan bahwa suhu optimum furnace adalah 750°C dan waktu kontak optimum pada 150 menit. Data isotherm digambarkan dengan Persamaan Langmuir dan kinetika adsorpsi mengikuti model kinetika orde dua pseudo dengan konstanta laju adsorpsi adalah 0,818 (g/mg min).*

*Kata kunci: abu terbang, batubara, zeolit, adsorpsi, merkuri (II)*

### PENDAHULUAN

Tubuh manusia mempunyai ketahanan homostatis untuk mengontrol logam berat. Walaupun begitu, dalam konsentrasi yang berlebihan akan memberikan efek keracunan secara kronik atau akut (Fostner dan Wittman, 1979). Merkuri merupakan logam yang pennggunaannya sangat luas. Efek toksisitas merkuri pada manusia bergantung pada bentuk komposisi merkuri, jalan masuknya ke dalam tubuh dan lamanya berkembang. Contohnya adalah bentuk merkuri (HgCl<sub>2</sub>) lebih toksik daripada bentuk merkuro (HgCl). Hal ini disebabkan karena bentuk divalen lebih mudah larut daripada bentuk monovalen. Di samping itu, bentuk HgCl<sub>2</sub> juga cepat dan mudah diadsorpsi sehingga daya toksikitasnya lebih tinggi (Zul Alfian, 2010).

Melihat bahaya yang dapat ditimbulkan merkuri, peneliti merasa perlu dilakukan pendekatan untuk mengatasi hal tersebut antara lain melalui teknik pengendapan maupun menggunakan adsorben atau zat penyerap (Suardana, 2008). Pengolahan air limbah mengandung merkuri dapat dilakukan dengan proses penyerapan (sorpsi) bahan pencemar dengan menggunakan resin-organik yang berfungsi sebagai penukar ion baik berupa anion atau kation (Michael dan Pierre, 1994 dan Jianlong *et al.*, 2000), karbon aktif (Giequel *et al.*, 1997) dan silika gel (Leeis *et al.*, 1996), tetapi harganya relatif mahal. Hal tersebut telah mendorong beberapa peneliti untuk mencari penyerap alternatif yang lebih murah.

Salah satu material dasar pembuatan zeolit yang telah digunakan adalah abu

batubara (Musyokan, 2009), dimana materialnya murah dan mudah diperoleh. Zeolit sebagai adsorben logam berat telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya, sementara berdasarkan penelusuran literatur, penelitian terhadap zeolit dari *fly ash* batubara Jambi sebagai adsorben logam Merkuri (Hg) belum ada dilakukan, padahal Jambi merupakan salah satu penghasil batubara. Proses sintesis dan adsorpsi sensitif terhadap sejumlah variabel tertentu diantaranya adalah waktu kontak dan suhu furnace. Maka pada penelitian ini akan dilakukan dengan mensintesis zeolit dari *fly ash* batubara sebagai adsorben logam Merkuri (II) menggunakan metode peleburan dengan meneliti kondisi optimum dari perlakuan variasi suhu furnace dan waktu kontak.

## **METODOLOGI PENELITIAN**

### **Bahan dan Alat**

Alat yang akan digunakan untuk mendukung penelitian ini diantaranya adalah timbangan analitik, gelas piala, erlenmeyer, gelas ukur, corong, labu takar, spatula, batang pengaduk, lumpang, alu, *shaker*, *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS), *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR), *X-ray Diffraction* (XRD), *motor stirer*, *magnetic stirer*, oven, *muffle furnace*, pH meter, pipet tetes dan *sieveshaker*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Fly ash* batubara yang berasal dari PT Lontar Papyrus Pulp and Paper Product, NaOH sebagai sumber alkali, Aquades sebagai pelarut, dan HgCl<sub>2</sub> sebagai larutan sumber logam Merkuri (II) yang akan di adsorpsi.

### **Preparasi *Fly Ash* Batubara**

*Fly ash* batubara diayak dengan *sieve shaker* 170 Mesh kemudian diuji untuk melihat kandungan unsur Si dan Al yang menjadi penyusun utama zeolit. Kemudian dilanjutkan dengan sintesis dimana sebanyak 10 gr *fly ash* ditambahkan dengan 12 g NaOH (Sutarno, 2009). Padatan dipanaskan masing-masing pada suhu 550°C, 650°C, 750°C selama 1 jam. Kemudian ditambahkan aquades, *dishaking* pada suhu ruangan selama 12 jam dan hasil pelarutan dipanaskan dalam oven dan disaring. Padatan dinetralkan dengan aquades dan dikeringkan pada 100°C dalam oven. Padatan yang dihasilkan akan dikarakterisasi dengan XRD dan FT-IR.

Proses adsorpsi dilakukan dengan metode *batch*. Pada variasi waktu kontak, proses adsorpsi dimulai dengan menambahkan 50 mL larutan yang mengandung logam merkuri (II), dalam hal ini HgCl<sub>2</sub> dengan konsentrasi awal 25 ppb ke dalam beaker glass kemudian ditambahkan 1g zeolit sintesis. Kemudian diaduk dan diambil sampel pada menit ke-30, 60, 90, 120, 150 dan 180. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis statistik yaitu regresi linier. Dengan menggunakan perhitungan grafik Freundlich dan Langmuir akan diperoleh kapasitas adsorpsi maksimal. Dari kapasitas adsorpsi yang diperoleh

akan diketahui kemampuan maksimal dari zeolit untuk menyerap merkuri, sehingga terhindar dari proses desorpsi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil karakterisasi awal *fly ash* batubara disajikan pada Tabel 1.

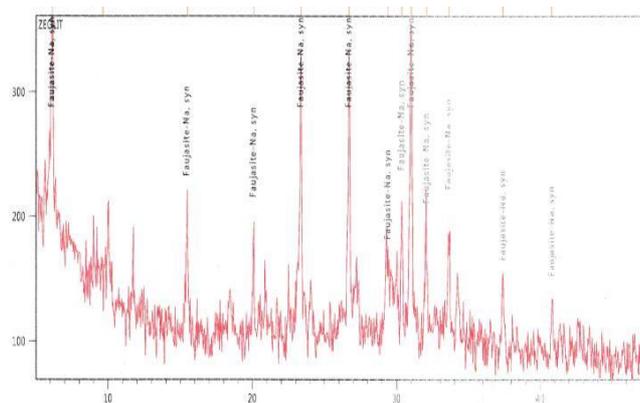
**Tabel 1.** Hasil karakterisasi awal *fly ash*

No.	Parameter	Satuan	Hasil Analisa
1.	Si	%	29,02
2.	SiO <sub>2</sub>	%	62,19
3.	Al	%	1,53
4.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	5,81
5.	Fe	%	5,60
6.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	7,98
7.	Ca	%	2,31

Dari hasil analisa diketahui terdapat kandungan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan SiO<sub>2</sub> yang cukup besar dan menunjukkan adanya kemiripan komponen kimia antara *fly ash* batubara dengan zeolit.

### Hasil Uji Kualitatif X-Ray Diffraction

Dari perbandingan puncak difraktogram (2 $\theta$ ) ditemukan puncak karakteristik yang sama dengan difraktogram zeolit pembanding. Dimana nilai intensitas yang paling sesuai dengan zeolit standar faujasit adalah zeolit sintesis dengan suhu furnace 750°C.

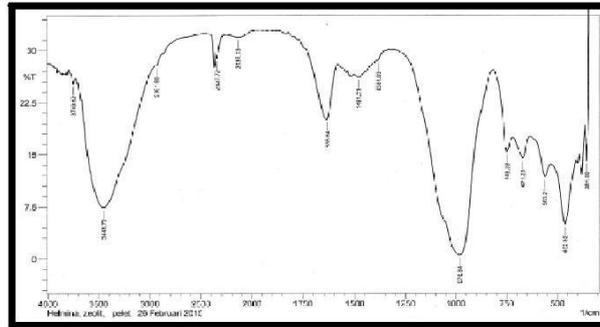


**Gambar 1.** Karakterisasi zeolit menggunakan XRD

Gambar 1 merupakan difraktogram yang menunjukkan zeolit sintesis adalah benar merupakan zeolit faujasit. Difraktogram berikut menunjukkan adanya puncak tertinggi yang merupakan puncak kristal.

Hasil difraktogram juga menunjukkan bahwa zeolit memiliki struktur kubik, yang dapat dilihat dari nilai hkl.

### Karakterisasi Zeolit Sintesis Dengan FT-IR



**Gambar 2.** Karakterisasi zeolit menggunakan FT-IR

Gambar 2 memperlihatkan pita serapan pada bilangan gelombang  $1643,67\text{cm}^{-1}$ - $1641,81\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi bengkokan (tekuk) O-H dari gugus silanol (Si-OH) dimana dalam zeolit sintesis muncul pada bilangan gelombang  $1635,64\text{ cm}^{-1}$ . Pita serapan kecil dan tajam pada zeolit sintesis terdapat dalam bilangan gelombang  $748,38\text{ cm}^{-1}$  dan  $671,23\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi eksternal dan internal rentangan simetris T-O, dimana pita tajam tersebut menunjukkan adanya kristalinitas yang cukup tinggi.

Sedangkan, serapan bilangan gelombang  $462,92\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi bengkokan (tekuk) ikatan Si-O/Al-O. Dari difraksi sinar X yang dikuatkan dengan hasil FTIR maka dapat diperkirakan bahwa zeolit yang terbentuk adalah tipe faujasit. Hal tersebut diperkuat dengan adanya serapan vibrasi bengkokan (tekuk) T-O (Si-O/Al-O) antara daerah panjang gelombang  $475\text{-}450\text{ cm}^{-1}$  sesuai dengan vibrasi tekuk T-O milik zeolit tipe faujasit (Ma'rifat dkk, 2014).

### Adsorpsi Variasi Waktu Kontak

Hasil yang diperoleh pada Tabel 2 menunjukkan penyerapan logam Hg(II) oleh zeolit Faujasit yang cukup cepat mulai 30 menit pertama yaitu sebesar 76,50% dimana dari konsentrasi awal 25 ppb, zeolit berhasil menyisakan 5,875 ppb.

Kemudian lajunya menurun secara signifikan pada menit-menit berikutnya.

**Tabel 2.** Penyerapan logam Hg (II) oleh zeolit Fujasit

No.	Waktu Kontak (Menit)	Hasil Pengukuran (ppb)			Rata-Rata (ppb)
		I	II	III	
1.	30	5,875	5,737	6,013	5,875
2.	60	4,633	4,771	4,495	4,633
3.	90	4,357	4,633	4,495	4,495
4.	120	3,805	3,667	4,081	3,851
5.	150	3,115	3,253	3,253	3,206
6.	180	3,752	3,355	3,983	3,697

Hal ini terjadi, karena awalnya banyak sisi adsorben yang belum berikatan sehingga kecenderungan larutan untuk terserap ke adsorben semakin tinggi dan seiring bertambahnya waktu maka adsorbat akan semakin mendekati pada adsorpsi optimum.

### Isoterm dan Kinetika Adsorpsi

**Tabel 3.** Hasil perhitungan isoterm adsorpsi.

Isoterm	R <sup>2</sup>	b	n	k
Langmuir	0,998	0,0041	-	-0,0042
Freundlich	0,985	-	-	0,00698
			0,023	

**Tabel 4.** Hasil perhitungan kinetika adsorpsi

Model Kinetika	Nilai R <sup>2</sup>	Nilai y	Nilai k	Nilai Qe
Pseudo orde satu	0,002	Y = -0,001x-2,293	0,001	0,101
Pseudo orde dua	0,999	Y =0,904x +4,722	0,818	1,106

Hasil pada Tabel 4 diketahui bahwa adsorpsi logam merkuri (II) mengikuti model pseudo orde dua dengan nilai regresi mendekati 1 yaitu 0,999 yang menandakan penyerapan yang terjadi adalah secara kimia (Suci, 2010). Hal ini mendukung hasil pengujian isoterm adsorpsi dimana model yang mendominasi adalah model isoterm Langmuir. Dapat disimpulkan bahwa waktu kontak sebagai faktor kimia berpengaruh dalam proses adsorpsi.

### KESIMPULAN

1. Zeolit dari *fly ash* batubara Jambi dapat menyerap logam merkuri (II). Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa zeolit hasil sintesis memiliki difraksi 6,0688<sup>o</sup>, 15,3959 dan 23,2781<sup>o</sup> sesuai dengan standar zeolit faujasit. Hasil karakterisasi FT-IR menunjukkan bahwa zeolit sintesis memiliki serapan pada daerah bilangan gelombang 462,92 cm<sup>-1</sup> sesuai dengan vibrasi tekuk T-O milik zeolit tipe faujasit.
2. Dengan adanya variasi suhu furnace *fly ash* batubara pada sintesis zeolit untuk adsorpsi logam merkuri (II), diperoleh suhu optimum pada 750<sup>o</sup>C dan waktu kontak optimum pada proses adsorpsi logam merkuri (II) oleh zeolit dari *fly ash* batubara adalah pada menit ke- 150 dengan persen efisiensi 87,18%.
3. Keseimbangan adsorpsi mengikuti pola isoterm Langmuir dengan nilai regresi linier (R<sup>2</sup>) yaitu 0,998. Kinetika adsorpsi cenderung mengikuti model pseudo orde dua dengan nilai konstanta laju reaksi (k) yaitu 0,818 dan regresi linier (R<sup>2</sup>) yaitu 0,999.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Zakaria *et al.*, 2012. Adsorpsi Cu(II) Menggunakan Zeolit Sintesis dari Abu Terbang Batubara. Prosiding pertemuan ilmiah ilmu pengetahuan dan teknologi bahan 2012 Serpong. ISSN 1411-2213
- Chang, H.L dan Shih, W.H. 1998. A general methods for the conversion of *fly ash* into zeolites as ion exchangers for Cesium. *Ind. Eng. Chem. Res.*,37(1), 71-78
- Chang, H.-L. and Shih, W.H., 2000. Synthesis of Zeolites A and X from Fly Ash and Their Ion-Exchange Behavior with Cobalt Ions, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 39, 4185-4191
- Christian G.D, F.J Feldeman. *Atomic Absorption Spectroscopy Application in Agriculture*. Biology and Medicine Inc, New York, 1970 ; 360
- Dachriyanus. 2004. Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektrofotometri, Cetakan pertama. CV. Trianda Anugrah Pratama : Padang
- Danny, Z.H. Tinjauan Terhadap *Tailing* Mengandung Unsur Pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dari Sisa Pengolahan Bijih Logam. *Jurnal geologi Indonesia* , Vol. 1 No. 1, 31-36
- Darmono. 1995. Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. Cetakan Pertama. UI Press : Jakarta
- Davis, M.E. 1991. Zeolite and Molecular Sieve: Not Just Ordinary Catalysts. *Ind. Chem. Res.* Vol. 30. 1675-1683
- Fessenden,R.J. 1989. *Kimia Organik*. Jilid I. Edisi Ketiga. Erlangga : Jakarta
- Flanigen, E. M., H. Khatami., H. A. Szymanski. 1971. "Infrared Structural Studies of Zeolite Framework, Molecular Sieve Zeolite-I". *American Society Advanced in Chemistry Serise*. No.101. hal: 201 – 227
- Guptass, Bhattacharayyagk. 2008. *Journal of Enviromental Management*, 87, 46-58.
- Handayani, Murni dan E. Sulistiyono. 2009. Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Penyerapan Limbah Chrom (VI) Oleh Zeolit. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR-BATAN: Bandung
- Harmita. 2006. Analisis Kuantitatif Bahan Baaku dan Sediaan Farmasi. Departemen Farmasi FMIPA Universitas Indonesia : Depok
- Haswell, S.J. 1991. *Atomic Absorption Spectrometry Theory, Design and Application*. Nw York. Science Pblishing Company Inc: Elsevier
- Hay, R. L. 1966. *Zeolites and Zeolitic Reactions In Sedimentary Rocks*, Dept. Geology and Geophysics, University of California : Berkeley California.
- Jensen, M.L. and Bateman, A.M. 1981. *Economic Mineral Deposits*, Third Edition, John Wiley & Sons, 593 pages : New York
- Juniawan, S. 2010. Adsorpsi Ion logam Cu(II) dalam larutan pada abu dasar batubara menggunakan metode kolom, Skripsi, Jurusan Kimia FMIPA,ITS : Surabaya
- Karmila, Y. 2006. Sintesis dan karakterisasi TiO<sub>2</sub> – zeolit serta aplikasi bahan tersebut untuk mendegradasi zat warna methyl orange dalam media air, skripsi. FMIPA UGM : Yogyakarta
- Khopkar, S.M. 1990. *Basic Concept of Analytical Chemistry*. Penerjemah A. Saptorahardjo. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI-Press : Jakarta
- Kula, A. 2000. Effects of colemanite waste, coal bottom ash and fly ash on the properties of cement, *Journal of cement and concrete research*, 491-494

- Kundari, N. A, Wiyuniati. 2008. Tinjauan kesetimbangan adsorpsi tembaga dalam pencuci PCB dengan zeolit. STTN-BATAN Seminar Nasional IV, 489 – 496
- Lefond, S. J. 1983. Industrial Minerals and Rocks (Nonmetallic Other than Fuels), fifth 5<sup>th</sup> edition, Vol. 2, AIME. Inc, New York. 1391-1431
- Mulyasih, Sri. 2010. Pembuatan Paving Block dengan Menggunakan Limbah Las Karbit Sebagai Bahan Additif dengan Perekat Limbah Padat Abu Terbang Batubara (Fly Ash) PLTU Labuhan Angin Sibolga, Tesis Magister Fisika. Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Munir, Misbachul. 2008. Pemanfaatan Abu Batubara (Fly Ash) Untuk Hollow Block yang Bermutu dan Aman Bagi Lingkungan, Tesis. Universitas Diponegoro: Semarang
- Ma'rifat. 2014. Adsorpsi Merkuri (II) dengan Zeolit dari Abu Dasar Batubara, Skripsi. Program studi kimia, Fakultas Sains dan Teknologi : Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga : Yogyakarta