

AKTIVASI ABU LAYANG BATUBARA DAN APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN TIMBAL DALAM PENGOLAHAN LIMBAH ELEKTROPLATING

Widi Astuti¹, F. Widhi Mahatmanti²

¹Fakultas Teknik, ² Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang

Abstrak. Masalah utama pada pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan batubara sebagai sumber energi adalah adanya limbah padat berupa abu layang batubara. Abu ini belum dimanfaatkan dengan baik dan hanya ditumpuk dalam landfill sehingga menyebabkan masalah lingkungan. Abu layang tersusun atas beberapa oksida berpori (terutama silika) dan *unburned carbon* yang mempunyai potensi baik sebagai adsorben. Namun, tingginya tingkat kristalinitas silika dan kandungan *unburned carbon* dapat menyebabkan turunnya kapasitas adsorpsi. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh kristalinitas silika dan *unburned carbon* terhadap kapasitas adsorpsi timbal. Penurunan kristalinitas dilakukan dengan larutan NaOH sedangkan penurunan kadar *unburned carbon* menggunakan larutan H₂SO₄. Hasilnya, perlakuan dengan H₂SO₄ 40% vol. selama 2 jam dengan suhu 40°C mampu menurunkan kandungan karbon sebesar 63%, dan meningkatkan kapasitas adsorpsi sebesar 65,28%. Sementara perlakuan dengan NaOH dapat menurunkan tingkat kristalinitas dan meningkatkan kapasitas adsorpsi hingga hampir 100%.

Kata kunci : abu layang batubara, adsorben, timbal

PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya menghasilkan limbah padat berupa abu layang dalam jumlah yang cukup besar, mencapai 7,87% dari batubara yang digunakan (Herry, 1993). Bila hal ini dibiarkan terus menerus maka abu layang tidak mempunyai nilai ekonomi dan justru akan menimbulkan masalah bagi lingkungan sekitarnya, seperti yang terjadi di Dukuh Ngelo, Desa Tubanan, Kecamatan Kembang Jepara, dimana PLTU Tanjung Jati B didirikan. Sejak PLTU tersebut berdiri, 95% warga Dukuh Ngelo mengalami infeksi pernafasan, dan semua perkakas, jemuran pakaian kotor terkena abu (Cahyono, 2007). Dengan demikian perlu adanya usaha-usaha nyata untuk mengolah dan memanfaatkan abu layang ini sebanyak-banyaknya dan seefektif mungkin. Di sisi lain sejalan dengan pertumbuhan dan perkembangan penduduk, kebutuhan air untuk berbagai keperluan semakin meningkat. Pemenuhan kebutuhan air bersih saat ini sudah mulai menjadi masalah yang cukup serius. Hal ini diperburuk lagi dengan makin meningkatnya pencemaran air oleh limbah industri, terutama industri-industri yang banyak menggunakan logam berat seperti elektroplating yang seringkali tidak memperhatikan kualitas limbah cair yang dibuang. Komposisi kimia abu layang menunjukkan bahwa sebagian besar tersusun atas oksida logam, terutama SiO₂ dan Al₂O₃ yang mempunyai situs aktif sehingga dimungkinkan abu dapat digunakan sebagai adsorbent logam berat (Mattigold et al., 1990). Namun, pembakaran batu bara untuk keperluan pembangkit tenaga listrik yang memerlukan suhu tinggi seringkali menghasilkan abu layang dengan kandungan SiO₂ dalam fase kristalin, dan kandungan *unburned carbon* tinggi dimana hal ini akan menurunkan kapasitas adsorpsi abu terhadap logam berat. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh

unburned carbon dan kristalinitas SiO_2 terhadap kemampuan adsorpsi logam timbal dalam limbah cair elektroplating.

METODE PENELITIAN

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi seperangkat alat refluks, seperangkat alat spektrofotometer serapan atom merk Perkin Elmer, seperangkat alat XRD 6000 merk Shimadzu, shaker mekanik, oven pemanas merk Memmert, furnace tube merk Thermoline, penggerus agat, pemanas, pH meter dan alat-alat gelas.

Bahan baku penelitian ini berupa abu layang batubara yang diambil dari PLTU Tanjungjati sebagai material utama sintesis dan bahan-bahan kimia yang meliputi NaOH , H_2SO_4 , larutan Pb^{2+} .

Abu layang batubara yang diambil dari PLTU Tanjungjati B, dicuci dengan aquades, kemudian dikeringkan. Padatan yang dihasilkan dihaluskan menggunakan agat dan diayak dengan ayakan 170 mesh ($90 \mu\text{m}$). Abu layang hasil perlakuan ini disebut sebagai FA-A. Abu kemudian dibagi menjadi tiga perlakuan. Perlakuan pertama, 300 mL H_2SO_4 dengan konsentrasi asam sulfat 20 dan 40% ditambahkan ke dalam 50 g abu layang kemudian direfluks pada suhu 40°C selama 2 jam. Abu kemudian dicuci aquades beberapa kali hingga netral. Abu hasil perlakuan ini disebut sebagai FA-B. Perlakuan kedua terhadap abu dilakukan dengan cara merefluks 50 g abu dengan 300 mL larutan NaOH dengan konsentrasi 1 dan 3M pada temperatur 40°C selama 2 jam. Selanjutnya, abu disaring dan dicuci dengan aquades dan dikeringkan. Abu hasil perlakuan ini disebut sebagai FA-C. Abu hasil perlakuan ini kemudian dianalisis kandungan karbon dan kristalinitasnya. Secara umum, tahap uji kapasitas adsorpsi dilakukan dengan cara mengontakkan langsung antara adsorben dan adsorbat dalam suatu batch adsorpsi. Abu layang (FA-A, FA-B, FA-C) 0,05 g dicampur dengan berbagai konsentrasi (sebagai variabel) larutan Pb^{2+} sebanyak 50 mL pada pH 5 di erlenmeyer. Erlenmeyer tersebut kemudian dimasukkan dalam alat penggoncang (shaker termostat) dengan kecepatan konstan 20 rpm selama 2 jam. Adsorben dan adsorbat dipisahkan dengan cara sentrifugasi dan larutan kemudian dianalisis menggunakan AAS.

Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis sesuai dengan jenis datanya. Difraktogram dari XRD dicocokkan melalui data JCPDS yang ada dalam alat tersebut, melalui program search and match kemudian dianalisis secara deskriptif. Sedangkan data konsentrasi timbal pada sampel limbah elektroplating dianalisis dengan AAS. Adsorbansi yang terbaca pada AAS kemudian dikonversi ke dalam konsentrasi yang dapat dibaca melalui kurva adsorbansi yang harus dibuat terlebih dahulu dari larutan standar timbal, agar dapat diketahui hubungan antara data adsorbansi yang ditunjukkan pada AAS dengan konsentrasi timbal dalam larutan sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Abu Layang Batubara PLTU Tanjungjati

Tiga kandungan utama pada abu layang Tanjungjati yaitu SiO_2 sebesar 42, 27 %, Al_2O_3 sebesar 22, 33% dan Fe_2O_3 sebesar 12, 45% (Tabel 1). Kondisi silika dan alumina dalam abu layang cukup besar yang memungkinkan abu layang digunakan sebagai adsorben yang potensial. Dengan besarnya kadar kedua komponen tersebut dalam abu layang berarti banyak pusat-pusat aktif dari permukaan padatan yang dapat berinteraksi dengan adsorbat, misalnya ion-ion logam (Jumaeri, 1995:11). Proses adsorpsi dapat berlangsung secara efektif apabila ada kesesuaian sifat antara adsorben dengan adsorbat. Bila sisi aktif bersifat basa atau berupa anion maka adsorpsi maksimal terjadi pada spesies adsorbat yang bersifat asam atau kation, demikian juga sebaliknya.

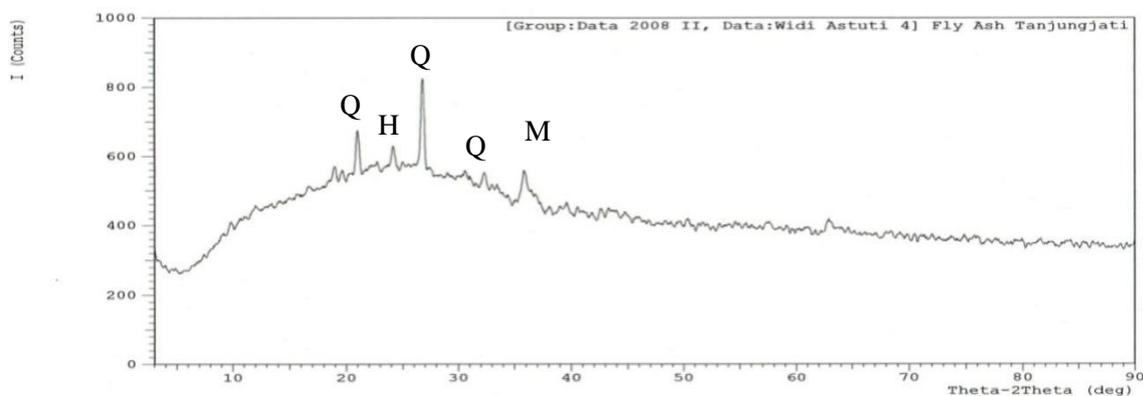
Analisis difraksi sinar X dilakukan menggunakan alat XRD merk Shimadzu XD-160 dengan panjang gelombang $1,54060 \text{ \AA}$ menggunakan radiasi dari tabung terget Cu, tegangan 40, 0 kV, arus 30, 0 mA dan daerah pengamatan antara $3,000-90,00$ derajat (Gambar 4.2). Identifikasi

dilakukan dengan mencocokkan pola difraksi sinar X dengan difraksi menurut standar JCPDS (*Joint Commite of Powder Difrraction Standar*).

Pola difraksi sinar X abu layang batubara menunjukkan adanya puncak-puncak tajam pada 2θ : 26,7687⁰; 2θ : 20,9787; 2θ : 35,8400; 2θ : 32, 2950; 2θ : 36,4800; 2θ : 24,1300. Puncak tajam pada 2θ : 26,7687⁰; 2θ : 20,9787; 2θ : 36,4800, menunjukkan adanya kuarsa, (JCPDS, kode: 82-0511), (JCPDS, kode: 78-2315), (JCPDS kode : 83-0539), sedangkan pada puncak 2θ : 32, 2950 menunjukkan adanya mineral Lime, (JCPDS, kode: 43-1001), pada puncak, 2θ : 35,8400 menunjukkan adanya mineral magnetite (Fe_3O_4), (JCPDS, kode : 24-0072), dan pada puncak, 2θ : 24,1300 menunjukkan adanya mineral hematite (JCPDS, kode : 24-0072).Dari data tersebut maka dapat diketahui bahwa SiO_2 dan Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , CaO , dalam abu berada pada fase kristal sedangkan Al_2O_3 berada dalam fase amorf.

Tabel 1. Komposisi Kimia Abu Layang Tanjungjati

No	Komponen	Kandungan (% berat)
1.	SiO_2	42,27
2.	Al_2O_3	22,33
3.	CaO	7,60
4.	MgO	3,41
5.	Fe_2O_3	12,45
6.	MnO	0,0855
7.	Na_2O	2,04
8.	K_2O	2,05
9.	CuO	0,0098
10.	As_2O_3	0,0038
11.	P_2O_5	0,294
12.	SO_3	1,21
13.	Unburned carbon	19,11



Gambar.1 Difraktrogram Abu layang Tanjungjati (Q: kuarsa, H: Hematit, M : Magnetite)

Uji Kuantitatif Abu Layang Batubara Teraktivasi

a. Abu Layang yang diaktivasi dengan H_2SO_4

Fungsi H_2SO_4 dalam proses aktivasi adalah untuk menghilangkan karbon yang tidak terbakar (*unburned carbon*) yang dapat bersifat sebagai pengotor dan mengganggu dalam proses adsorpsi. Dengan adanya perlakuan menggunakan H_2SO_4 ini terlihat adanya penurunan karbon (Lihat tabel 2) yang lebih besar dibandingkan jika aktivasi dilakukan menggunakan $NaOH$.

Tabel.2 Kandungan karbon sebelum dan sesudah aktivasi

Jenis perlakuan	Konsentrasi reagen	Kandungan karbon (%)
Tanpa perlakuan		19,11
H ₂ SO ₄ (B)	20 %	12,34
	40 %	7,04
NaOH (C)	1 M	15,38
	3 M	10,80

Dengan semakin berkurangnya karbon maka proses adsorpsi seharusnya dapat lebih efektif tapi ternyata dengan pada perlakuan dengan H₂SO₄, kemampuan penyerapan logam Pb justru lebih rendah daripada jika menggunakan NaOH (lihat tabel 2), keadaan ini disebabkan oksida Al ikut bereaksi sehingga mengurangi keberadaan situs aktif yang mempunyai peranan penting dalam proses adsorpsi. Pada perlakuan yang sama, semakin kecil kandungan karbon, proses adsorpsi semakin efektif sehingga dapat disimpulkan bahwa unburned carbon mengganggu proses adsorpsi. Hal ini dimungkinkan, peran situs aktif silica dan alumina dalam proses adsorpsi lebih besar daripada pori unburned carbon. Jika kadar karbon terlalu tinggi maka situs aktif akan tertutup dengan karbon dan menurunkan kemampuan adsorpsi timbal. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa *unburned carbon* merukana pengotor dalam proses adsorpsi timbal.

Konsentrasi awal larutan berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsi. Dalam range penelitian yang dilakukan, yaitu untuk konsentrasi Pb awal 0,001-0,01 M, semakin tinggi konsentrasi, Pb yang terserap semakin besar. Namun demikian, diduga kemampuan adsorpsi ini mempunyai batas maksimal, sehingga pada konsentrasi tertentu, semakin tinggi konsentrasi Pb awal tidak akan meningkatkan kemampuan adsorpsi. Hal ini disebabkan telah jenuhnya situs aktif.

Tabel 3. Pb teradsorp (%) pada perlakuan abu layang dengan H₂SO₄

Perlakuan dengan H ₂ SO ₄	
suhu	40°C
waktu	2 jam
Konsentrasi H ₂ SO ₄	40%
Kadar karbon	7,04%
Aplikasi untuk adsorpsi Pb	
Konsentrasi awal Pb	% Pb teradsorpsi
0,0010	55,73
0,0025	60,24
0,0050	67,37
0,0075	68,45
0,0100	70,08
Perlakuan dengan H ₂ SO ₄	
suhu	40°C
waktu	2 jam
Konsentrasi H ₂ SO ₄	20%
Kadar karbon	12,34%
Aplikasi untuk adsorpsi Pb	
Konsentrasi awal Pb	% Pb teradsorpsi
0,0010	43,94
0,0025	54,03
0,0050	61,64
0,0075	65,35
0,0100	67,92

b. Abu Layang yang diaktivasi dengan NaOH 3M

Fungsi dari NaOH didalam proses ini untuk menurunkan kristalinitas SiO₂. Berkurangnya kekristalan SiO₂ ternyata mampu menurunkan kadar Pb dalam sampel limbah lebih banyak daripada perlakuan aktivasi dengan H₂SO₄, sebesar 81,18 %. Hal ini menunjukkan pada fase amorf lebih efektif sebagai adsorben.

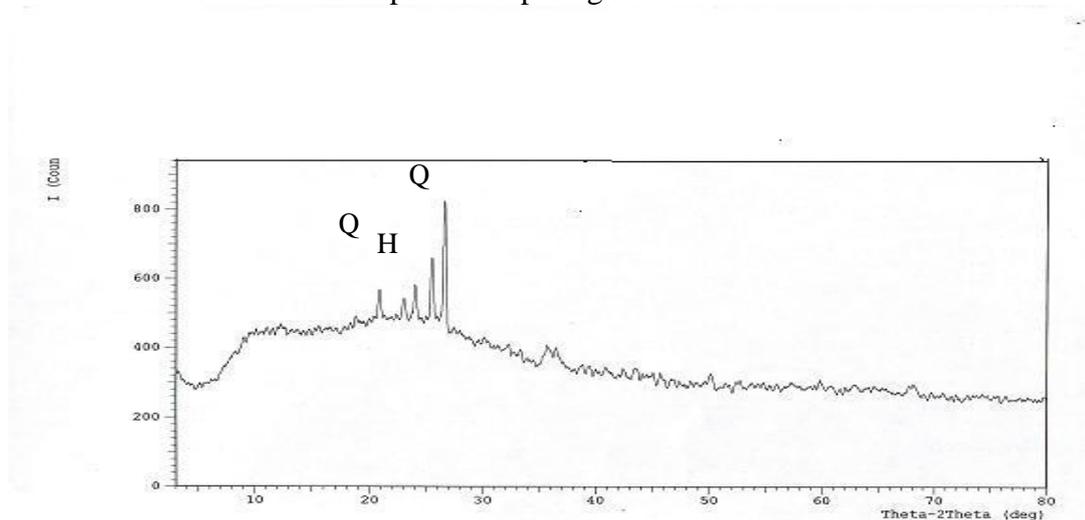
Tabel 4. Pb teradsorp (%) pada perlakuan abu layang dengan NaOH

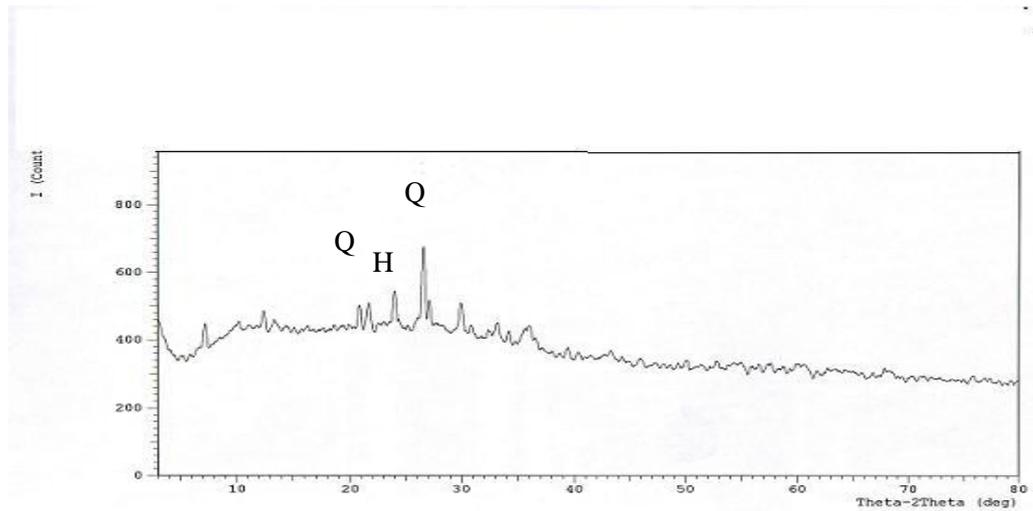
Perlakuan dengan NaOH	
suhu	40°C
waktu	2 jam
Konsentrasi H ₂ SO ₄	3 M
Kadar karbon	10,8 %
Aplikasi untuk adsorpsi Pb	
Konsentrasi awal Pb	% Pb teradsorpsi
0,0010	58,24
0,0025	66,30
0,0050	79,60
0,0075	80,55
0,0100	81,18

Uji Kualitatif Abu Layang Batubara Teraktivasi

Penentuan jenis mineral dilakukan dengan menggunakan difraksi sinar x, mineral penyusun sampel ditunjukan oleh daerah munculnya puncak 2 θ spectra hasil analisis difraksi sinar x dicocokkan dengan data JCPDS (Joint Commite on Powder Diffraction Standars), sehingga jenis mineral akan diketahui.

Metode difraksi sinar X dilakukan untuk mengamati mineral yang terdapat pada abu layang sebelum dan sesudah perlakuan dengan H₂SO₄ dan NaOH. Difraktrogram abu layang sebelum diaktivasi dan sesudah diaktivasi dapat dilihat pada gambar 2.





Gambar.2 Difraktrogram Abu layang setelah perlakuan : 1) dengan H₂SO₄, 2) dengan NaOH (Q: kuarsa, H: Hematit , M : Magnetite)

Pada abu layang yang diaktivasi dengan H₂SO₄ 40%, memperlihatkan puncak-puncak tajam pada harga 2θ : 26,6254⁰; 2θ: 25,5039⁰; 2θ : 24,0146⁰; 20,8276⁰; 2θ : 22,9950⁰; 2θ : 35,6400⁰. Pada puncak-puncak 2θ : 26,6254⁰; 2θ: 25,5039⁰; 2θ : 20,8276⁰; 2θ : 22,9950⁰; 2θ : 35,6400⁰ menunjukkan adanya mineral kuarsa (JCPDS: 79-1910), (JCPDS: 81-1665), (JCPDS:83-0539), (JCPDS:79-1913), (JCPDS: 80-2157), sedangkan pada puncak 2θ : 24,0146⁰ menunjukkan adanya mineral hematite (Fe₂O₃), (JCPDS:83-0539).

Abu layang yang diaktivasi dengan NaOH 3 M memperlihatkan puncak-puncak tajam pada harga 2θ : 26,6113⁰; 2θ: 24,0004⁰; 2θ: 29,9500⁰; 2θ: 27,1350; 2θ : 7,1655⁰; 2θ : 21,6525⁰, pada puncak 2θ : 26,6113⁰; 2θ: 24,0004⁰; 2θ: 27,1350⁰; 21,6525⁰, menunjukkan adanya mineral kuarsa (JCPDS: 83-0539), (JCPDS: 72-0469), (JCPDS: 83-0541), (JCPDS: 79-0957), sedangkan pada puncak 2θ: 29,9500⁰; 2θ : 7,1655⁰ menunjukkan adanya mineral magnetite (JCPDS: 76-0957).

Puncak utama pada abu layang sebelum dan sesudah perlakuan didominasi dengan mineral kuarsa yang merupakan komponen utama abu layang, puncak kuarsa dan hematite pada abu layang yang diaktivasi dengan H₂SO₄ 40% menunjukkan peningkatan intensitas, yang berarti terjadi peningkatan kristalinitas, sedangkan abu layang yang diaktivasi dengan NaOH terjadi penurunan intensitas pada puncak kuarsa. Hal ini menunjukkan terjadinya perubahan fase kristalin menjadi amorf.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan sebelumnya dapat diambil kesimpulan sebagai berikut. Pertama, perlakuan dengan H₂SO₄ akan menurunkan kandungan unburned carbon dalam abu layang. Semakin besar konsentrasi H₂SO₄ maka kadar carbon semakin berkurang. Dalam uji kemampuan adsorpsi Pb, adanya karbon dapat menurunkan kemampuan adsorpsi. Kedua, perlakuan dengan NaOH akan menurunkan tingkat kristalinitas abu layang. Abu layang yang semakin amorf ini (tingkat kristalinitasnya rendah) mempunyai kemampuan adsorpsi Pb yang semakin tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyono, B. 2007. *Warga Sekitar PLTU, 95 Persen Alami Infeksi Pernafasan*. Harian Suara Merdeka. 4 Desember 2007.
- Herry P. 1993. *Abu Terbang dan Pemanfaatannya*. Makalah Seminar Nasional Batu Bara Indonesia. UGM Yogyakarta . 7-8 September 1993
- Jumaeri. 1995. *Studi Tentang Pemanfaatan Abu Layang Sebagai Adsorben Zat Warna dalam Larutan Air*. Tesis. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Mattigold, S. V., et.al. 1990. Geochemical factors controlling the mobilization of inorganic constituents from fossil fuel combustion residues: