

**PENYISIHAN KONSENTRASI TIMBAL (Pb) MENGGUNAKAN  
ADSORBENT ABU ENDAPAN BATU BARA  
(STUDI KASUS : AIR LIMBAH INDUSTRI  
PERCETAKAN SEMARANG)**

Nurandani Hardyanti, Syafrudin  
PS Teknik Lingkungan FT Undip

**Abstract**

*Offset industries produced waste water contained lead contaminant and had pollution potential for environment. One of method to remove waste water contained lead was used bottom ash as adsorbent. This research was to know the ability of bottom ash to reduce lead in artificial waste water with concentration of lead was 20.64 mg/l in the batch and continuous processes. For the batch processes, bottom ash was used as independent variable of 0, 1, 3, 5, and 7 weight gram and concentration of lead 20.64 mg/l as dependent variable. The results showed that the highest removal efficiency up to 72.09–90.84%.while in continuous process experimental used column with diameter of 2 inch, discharge of 760 ml/minute, and influent concentration of 15 mg/l, 20mg/l, and 25 mg/l. Highest efficiency of removing lead was 73%-92.93%. with velocity constants was 0.416-0.490 ml/mg.second while operational capacity was 0.069-0.081 mg/g.*

*Keywords : offset, adsorption, waste water, lead, coal bottom ash*

**PENDAHULUAN**

Limbah cair industri percetakan terdiri dari : tinta bekas, bahan pelarut, bahan pencair, dan bahan pengering. Limbah cair pada industri percetakan banyak mengandung bahan kimia berbahaya seperti alkohol atau aseton dengan esternya dan juga mengandung logam berat seperti timbal, krom, mangan, kobalt (Herlambang,dkk., 2002). Sedangkan menurut PP 85 Tahun 1999 jenis Pb yang terdapat pada industri percetakan adalah Pb organik dan PbNO<sub>3</sub> (timbal nitrat).

Untuk mengatasi permasalahan limbah cair industri percetakan yang mengandung logam berat Pb, maka dilakukan penelitian tentang uji kemampuan abu endapan batubara yang berbentuk butiran yang merupakan sisa pembakaran batu bara dari industri sebagai media

adsorbent terhadap senyawa logam berat Pb yang terdapat pada industri percetakan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas dari alternatif uji kemampuan abu endapan batu bara dalam menyisihkan logam berat Pb dengan proses adsorpsi secara batch dan pada kolom kontinu.

Abu endapan mempunyai karakteristik butiran partikel sangat berpori pada permukaannya. Abu endapan tersusun dari silika, alumina, besi, dengan sedikit kalsium, magnesium, sulfat, phosphor dan komponen yang lain. Namun komponen utamanya adalah silika, alumina dan besi.

Adsorpsi adalah proses mengumpulkan benda-benda terlarut yang terdapat dalam larutan antara permukaan 2 fase benda yang

berbeda. Proses adsorpsi dapat juga disebut transfer massa yang terjadi antara 2 fase biasanya terjadi antara fase cairan ke fase padatan. Adsorpsi tidak hanya terjadi pada fase cairan ke padatan tetapi dapat juga terjadi pada fase gas ke fase padat (Sugiharto, 1978).

Sistem adsorpsi secara batch mempunyai kelebihan dan kekurangan dalam aplikasinya. Kelebihan dari sistem batch adalah pengoperasiannya yang sederhana dan tidak memerlukan tenaga ahli. Sedangkan kekurangan dari sistem ini adalah efisiensinya yang rendah.

Partikel *adsorbent* (abu endapan batubara) ditempatkan di dalam sebuah larutan *adsorbat* (larutan Pb dengan konsentrasi tertentu) dan diaduk untuk mendapatkan kontak yang merata sehingga terjadi proses adsorpsi. Konsentrasi larutan awal ( $C_0$ ) nantinya akan berkurang dan bergerak ke konsentrasi kesetimbangan ( $C_e$ ) setelah beberapa waktu tertentu. Waktu untuk mencapai kesetimbangan biasanya setelah 1-4 jam proses pengadukan selesai (Reynold, 1982). Pada proses adsorpsi 90% kesetimbangan akan terjadi setelah 2 jam. Lebih dari 2 jam dapat dipastikan lebih dari 90% kesetimbangan sudah terbentuk. Makin lama waktu kontakannya maka makin setimbang larutan tersebut. (Ekenfelder, 2000)

Sistem batch dilakukan untuk mengetahui karakteristik *adsorbat* dan *adsorbent* (abu endapan batu bara) yang dinyatakan dalam hubungan antara penurunan *adsorbat* (kadar logam berat  $Pb^{2+}$ ) dan berat *adsorbent* dalam suatu koefisien dari persamaan yang ada.

Selain dengan proses batch, adsorpsi juga dapat dilakukan dengan sistem kontinu. Pada sistem kontinu *adsorbent* selalu berkontak dengan *adsorbat* yang selalu mengalir. Ukuran partikel *adsorbent* yang sering digunakan dalam proses adsorpsi

dengan sistem kontinu biasanya 8-40 Mesh (Sundstrom dan Klei, 1979). Filtration unit yang digunakan sebesar 2-5 gpm/ft<sup>2</sup> dengan ukuran *adsorbent* 8-30 Mesh dan untuk ukuran *adsorbent* yang biasanya digunakan pada hamparan terfludisasi adalah 12-40 Mesh dengan filtration unit sebesar 6-10 gpm/ft<sup>2</sup> (Reynold, 1982).

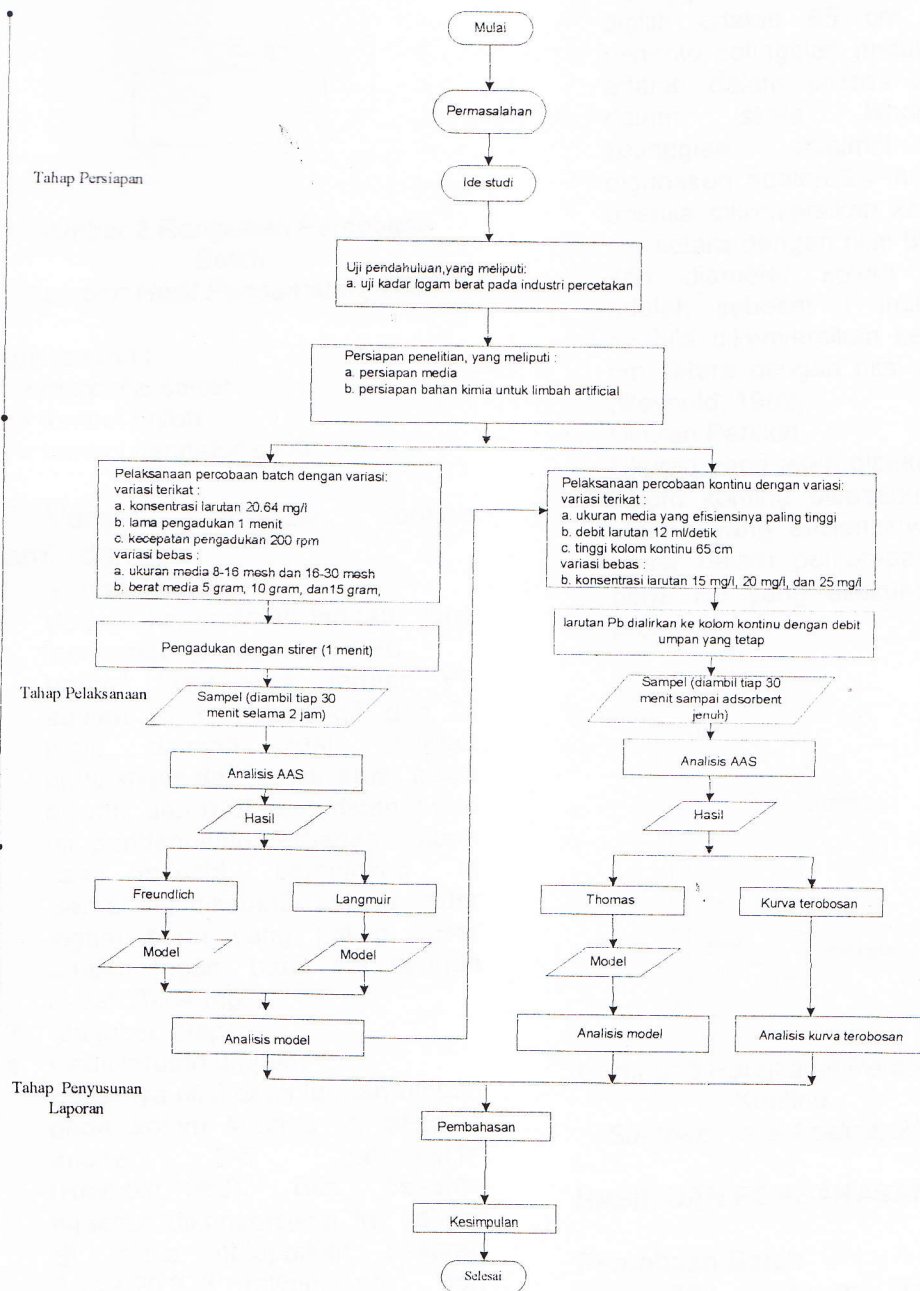
## METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 1. Adapun rangkaian percobaan pada percobaan batch terlihat pada gambar 2 dan rangkaian percobaan kontinu terlihat pada gambar 3.

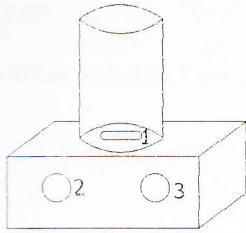
Variasi percobaan batch terdiri dari:

1. Variabel berubah
  - a. Variasi ukuran partikel.  
Ukuran partikel yang akan diambil adalah 8-16 Mesh dan ukuran 16-30 Mesh. Pengambilan ukuran media diatas di dasarkan pada ukuran media yang sering digunakan pada proses kontinu yaitu 8-30 Mesh, hal ini dikarenakan ukuran media yang efisiensinya paling besar pada proses batch akan digunakan pada kontinu. (Reynold, 1982)
  - b. Variasi berat media *adsorbent*  
Berat media yang dipilih adalah 0 gram, 1 gram, 3 gram, 5 gram, dan 7 gram. Variasi berat ini diambil untuk memvariasikan nilai m di dalam persamaan proses batch yaitu persamaan Freundlich dan Langmuir
2. Variabel tetap
  - a. Lama pengadukan.  
Lama pengadukan yang ditetapkan adalah 1 menit.
  - b. Kecepatan pengadukan.  
Kecepatan pengadukan yang ditetapkan adalah 200 rpm.
  - c. Konsentrasi logam berat.  
Konsentrasi larutan Pb yang digunakan adalah 20.64 mg/l

dimana nilai tersebut didasarkan dari nilai yang didapat dari uji pendahuluan terhadap limbah cair industri percetakan.



Gambar 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian  
Sumber: Hasil Analisa, 2006



Gambar 2 Rangkaian Percobaan Batch  
Sumber: Hasil Pengamatan, 2006

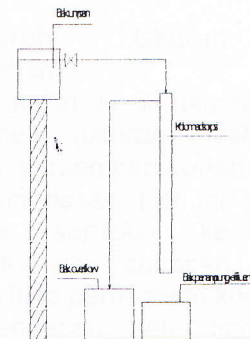
Keterangan :

- 1 = magnetic stirrer
- 2 = tombol on/off
- 3 = tombol pengatur suhu

Variasi percobaan kontinu terdiri dari:

1. Variabel berubah
  - a. Variasi konsentrasi larutan yang mengandung logam berat Pb.  
Variasi konsentrasi larutan Pb adalah 15 mg/l, 20 mg/l, dan 25 mg/l. dimana nilai tersebut didasarkan dari batas atas, batas bawah, dan nilai yang didapat dari uji pendahuluan terhadap limbah cair industri percetakan di Semarang diketahui bahwa kadar logam berat yang paling besar adalah logam berat Pb dengan kadar 20.64 mg/l.
2. Variabel tetap
  - a. Debit larutan umpan.  
Besarnya nilai debit larutan umpan pada kolom kontinu ini berkisar antara 2-5 gal/menit.ft<sup>2</sup> (Reynold,1982). Bila besaran tersebut dikonversikan ke satuan SI maka didapatkan besaran 8,149-20,373 ml/menit.cm<sup>2</sup>. dari nilai tersebut dibagi dengan luas kolom kontinu sebesar 38,5 cm<sup>2</sup> maka didapat debit umpan sebesar 313,7365 ml/menit untuk batas bawahnya dan 784,3605 ml/menit untuk batas atasnya. Dari kriteria desain tersebut diambil

- b. Ketinggian media kolom kontinu.  
Ketinggian media kolom yang dipilih adalah 65 cm. alasan penentu ketinggian media diatas adalah dalam proses adsorpsi dalam skala laboratorium ketinggian minimal yang digunakan adalah 24 inchi yang apabila dikonversikan ke satuan cm setara dengan nilai 60,94 cm dan diameter kolom minimal adalah sebesar 1 inchi yang apabila dikonversikan ke satuan cm setara dengan nilai 2.54 cm (Reynold, 1982)
- c. Ukuran Partikel  
Ukuran yang akan dipakai dalam kolom kontinu didasarkan pada ukuran yang efisiensinya paling besar dalam penyerapan logam berat Pb yang dilakukan pada proses batch



Gambar 3 Rangkaian Percobaan Kontinu  
Sumber: Hasil Analisa, 2006

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Percobaan Batch

Abu endapan batu bara dengan ukuran 8-16 Mesh di dapatkan model persamaan Freundlich untuk abu endapan batu bara sebagai berikut:

$$\frac{x}{m} = 0.000346 C_e^{0.2566}$$

Sedangkan untuk abu endapan batu bara dengan ukuran 16-30 Mesh, didapatkan model persamaan Freundlich untuk sebagai berikut:

$$\frac{x}{m} = 0.000375 C_e^{0.253}$$

Salah satu faktor yang ikut menentukan kemampuan adsorpsi adalah karakteristik kimia *adsorbent*nya. Abu endapan batu bara yang kali ini digunakan memiliki kandungan silika dan karbon yang cukup tinggi. Untuk mendapatkan kualitas adsorbent yang paling efektif adalah dengan membakarnya sehingga diperoleh abu endapan batu bara yang berbentuk amorf. Hal ini dikarenakan pada bentuk amorf akan diperoleh volume pori yang paling baik sehingga nantinya jumlah total  $Pb^{2+}$  yang dijerap akan lebih banyak.

Pada ukuran media 8-16 Mesh dan 16-30 Mesh dapat dilihat bahwa adsorpsi yang terjadi lebih cocok menggunakan isoterm Freundlich. Penggunaan isoterm ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi fisik karena isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa ada distribusi pada adsorbent yang mempunyai afinitas berbeda untuk setiap adsorbat, hal ini menyebabkan terjadinya gaya van der Waals antar molekul, dimana molekul bebas berpindah ke permukaan yang lain. (Treyball, 2002)

Dari percobaan untuk masing-masing ukuran media didapat nilai  $n$  pada ukuran 8-16 Mesh sebesar 3.897 dan untuk ukuran media 16-30 Mesh didapat nilai  $n$  sebesar 3.952. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi dapat terjadi, karena syarat untuk dapat terjadinya adsorpsi adalah nilai  $n > 1$  (Sundtrom & Klei, 1979)

Faktor-faktor yang mempengaruhi pada eksperimen batch ini antara lain adalah : berat *adsorbent*, ukuran media *adsorbent*, dan waktu kontak.

### **Pengaruh Penambahan Berat Adsorbent**

Semakin banyak jumlah abu endapan batu bara yang ditambahkan, persen penurunan kadar Pb juga semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin banyaknya jumlah abu endapan batu bara yang ditambahkan berarti semakin banyak pula pori-pori dalam abu endapan batu bara yang dapat menyerap ion  $Pb^{2+}$  dalam larutan  $Pb(NO_3)_2$ . Sehingga jumlah ion  $Pb^{2+}$  menjadi berkurang.

Penambahan berat abu endapan batu bara yang paling berpengaruh adalah pada berat abu 7 gram dimana penurunan kadar  $Pb^{2+}$  adalah 83.96% untuk abu endapan batu bara dengan ukuran 8-16 Mesh dan penurunan kadar  $Pb^{2+}$  adalah 90.84% untuk abu endapan batu bara dengan ukuran 16-30 Mesh.

### **Pengaruh Ukuran Media Adsorbent**

Semakin kecil ukuran diameter *adsorbent* (ukuran Mesh semakin besar), persen penurunan kadar  $Pb^{2+}$  semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin kecil ukuran diameter abu endapan batu bara berarti luas permukaan kontak antara abu endapan batu bara dengan larutan  $Pb(NO_3)_2$  semakin besar. Hal ini sesuai dengan Benefield dan Larry (1982), bahwa semakin kecil ukuran media yang digunakan maka akan semakin memperluas permukaan bidang kontak sehingga akan mempercepat proses adsorpsi yang terjadi. Dengan luas permukaan yang semakin besar maka kemungkinan terjadinya penyerapan ion  $Pb^{2+}$  juga semakin besar. Hal ini ditunjukkan oleh penurunan kadar  $Pb^{2+}$  yang lebih banyak.

Pada percobaan batch diperoleh hasil bahwa ukuran abu

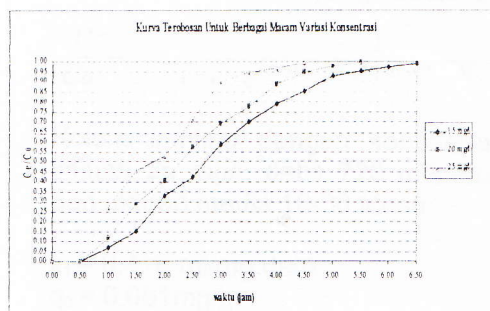
endapan batu bara yang paling optimal dalam penyisihan ion  $Pb^{2+}$  ialah ukuran 16-30 Mesh dengan pencapaian efisiensi 72.09%-90.84% sedangkan untuk ukuran media 8-16 Mesh efisiensinya mencapai 62.23%-83.96%, sehingga abu endapan batu bara dengan ukuran 16-30 Mesh akan digunakan dalam percobaan kolom. Berikut ini adalah grafik pengaruh ukuran media *adsorbent* terhadap penyisihan  $Pb^{2+}$ .

#### Pengaruh Waktu Kontak

Salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi ion  $Pb^{2+}$  adalah waktu kontak antara abu endapan batu bara dan larutan  $Pb(NO_3)_2$ . Pada eksperimen batch kali ini dilakukan pengadukan dengan menggunakan stirer selama 1 menit dengan tujuan menambah kontak antara abu endapan batu bara dan larutan  $Pb(NO_3)_2$  sehingga penurunan konsentrasi  $Pb^{2+}$  dalam larutan dapat cepat teradi. Selain karena pengadukan dengan stirer, penurunan konsentrasi  $Pb^{2+}$  pada 30 menit pertama cukup tinggi dikarenakan abu endapan batu bara yang digunakan masih segar dan belum mengalami kejenuhan. Abu endapan batu bara mulai mengalami kejenuhan pada menit ke 120. Hal ini dapat dilihat dengan semakin berkurangnya penurunan konsentrasi  $Pb^{2+}$  dan nantinya akan mengalami kesetimbangan. Pada saat inilah abu endapan batu bata yang digunakan sudah tidak efektif lagi.

#### Eksperimen Kolom Kontinu

Perbandingan pola adsorpsi dapat diketahui dengan membuat kurva terobosan dari percobaan kontinu yang dilakukan.



Gambar 4 Kurva Terobosan untuk Berbagai Macam Variasi Konsentrasi Influen

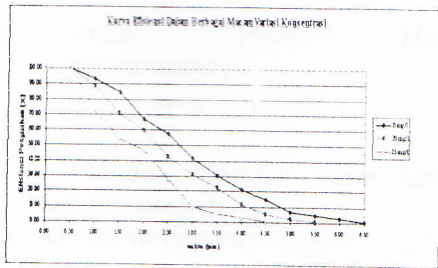
Sumber : Hasil Penelitian, 2006

Dari kurva terobosan diatas dapat dilihat bahwa kurva terobosan untuk konsentrasi 25 mg/l lebih curam dibandingkan kurva terobosan untuk konsentrasi 15 mg/l dan 20 mg/l maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi influen maka semakin curam pula kurva terobosan yang dihasilkannya. Kurva terobosan yang curam disebabkan karena adanya zone perpindahan massa yang pendek. Karena semakin pendek zona perpindahan massa maka akan semakin cepat mencapai titik tembus dan titik jenuh. Menurut Mc Cabe (1990), semakin pendek zona aktif menunjukkan bahwa penggunaan media adsorbent sudah tidak efisien untuk dipakai. Berikut ini adalah waktu titik tembus dan titik jenuh untuk berbagai variasi influen.

Tabel 1. Waktu Titik Tembus dan Titik Jenuh Untuk Berbagai Variasi Influen

Co (mg/l)	Persamaan	Waktu titik tembus (jam)	Waktu titik jenuh (jam)
15	$y = 0,0897x - 0,1196$	1,38	5,5
20	$y = 0,1039x - 0,1206$	1,21	4,5
25	$y = 0,1251x - 0,1098$	0,928	3,5

Sumber : Hasil Penelitian, 2006



Gambar 5. Kurva Efisiensi untuk Berbagai Macam Variasi Konsentrasi Influen

Sumber : Hasil Penelitian, 2006

Dari gambar kurva efisiensi diatas dapat dilihat adanya penambahan waktu pada efisiensi penyisihan bila konsentrasi influent dalam larutan bertambah kecil. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi larutan akan menyebabkan peningkatan kemampuan adsorpsi abu endapan batu bara terhadap ion  $Pb^{2+}$  dalam larutan.

#### Perhitungan $k_1$ dan $q_0$

Kolom kontinu dengan konsentrasi influen 15 mg/l, debit 720 ml/menit, dan ukuran media 16-30 Mesh:

$$k_1 = 0.490 \text{ ml/mg.detik}$$

$$q_0 = 0.069 \text{ mg/g}$$

Persamaan Thomas yang dihasilkan:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + e^{0.790 / Q (0.069 \cdot M - C_0 \cdot V)}}$$

Kolom kontinu dengan konsentrasi influen 20 mg/l, debit 720 ml/menit, dan ukuran media 16-30 Mesh:

$$k_1 = 0.429 \text{ ml/mg.detik}$$

$$q_0 = 0.072 \text{ mg/g}$$

Persamaan Thomas yang dihasilkan:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + e^{0.429 / Q (0.072 \cdot M - C_0 \cdot V)}}$$

Kolom kontinu dengan konsentrasi influen 25 mg/l, debit 720 ml/menit, dan ukuran media 16-30 Mesh:

$$k_1 = 0.416 \text{ ml/mg.detik}$$

$$q_0 = 0.081 \text{ mg/g}$$

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + e^{0.416 / Q (0.081 \cdot M - C_0 \cdot V)}}$$

Dari perhitungan diatas maka dapat disimpulkan bahwa untuk konsentrasi  $Pb^{2+}$  sebesar 25 mg/l mempunyai kapasitas adsorpsi yang lebih besar jika dibandingkan dengan konsentrasi  $Pb^{2+}$  sebesar 15 mg/l dan 20 mg/l. Tetapi memiliki kecepatan adsorpsi yang lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi  $Pb^{2+}$  sebesar 15 mg/l dan 20 mg/l. Nilai kapasitas adsorpsi yang lebih besar pada konsentrasi  $Pb^{2+}$  25 mg/l mengakibatkan media *adsorbent* cepat mengalami jenuh, sehingga titik jenuh lebih cepat tercapai dibandingkan dengan konsentrasi  $Pb^{2+}$  sebesar 15 mg/l dan 20 mg/l.

#### KESIMPULAN

Efisiensi penyisihan  $Pb^{2+}$  terbaik pada eksperimen batch diperoleh pada abu endapan batu bara dengan ukuran media 16-30 Mesh; dengan berat media 7 gram yaitu sebesar 72.09% - 90.84%. Efisiensi penyisihan  $Pb^{2+}$  pada eksperimen kontinu dengan ukuran media 16-30 mesh sebesar 73% - 92.93%.

Percobaan adsorpsi dengan eksperimen batch mengikuti persamaan isotherm Freundlich.

a. Untuk 8-16 Mesh, persamaannya:

$$\frac{x}{m} = 0.000346 C_e^{0.2566}$$

- b. Untuk 16-30 Mesh, persamaannya:

$$\frac{x}{m} = 0.000375 C_e^{0.253}$$

Model adsorpsi pada kolom kontinu adalah:

- a. Untuk konsentrasi awal 15 mg/l:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + e^{0.490 / Q (0.069 M - C_0 V)}}$$

- b. Untuk konsentrasi awal 20 mg/l:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + e^{0.429 / Q (0.072 M - C_0 V)}}$$

- c. Untuk konsentrasi awal 25 mg/l:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + e^{0.416 / Q (0.081 M - C_0 V)}}$$

Titik tembus dan titik jenuh pada percobaan kontinu sebagai berikut :

Co (mg/l)	Persamaan	Waktu titik tembus (jam)	Waktu titik jenuh (jam)
15	y = 0,0897 x - 0,1196	1,38	5,5
20	y = 0,1039 x - 0,1206	1,21	4,5
25	y = 0,1251 x - 0,1098	0,928	3,5

Sumber : Hasil Penelitian, 2006

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2006. *Coal Bottom Ash and Boiler Slag Material Description*.  
<http://www.tfhr.gov/hnr20/recycle/waste/cbabs1.htm> diakses tanggal 20 Mei 2006.
- Benefield, L.D., Weand. B.L., 1982. *Process Chemistry For Water and Wastewater Treatment*. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Herlambang, Arie. dkk. 2002. *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri*. BPPT. Jakarta.
- McCabe, Warren.L.1993. *Unit Operation of Chemical Engineering*.Fifth Edition.Mc Graw Hill.Singapore

Reynolds, Tom. D. 1982. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. Wadsworth Inc. California.

Sugiharto. 1978. *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Universitas Indonesia. Jakarta.

Sundstrom, D.W. and Klei, H.E. 1979. *Waste Water Treatment*. Prentice Hall Inc. Engellwood Cliffs. New Jersey.

Treybal, Robert E. 2002. *Mass Transfer Operations*. Mc Graw Hill. Singapore.