

## Adsorpsi Logam Kadmium Dari Air Dengan Karbon Aktif Melalui Sistem Kontinu

Tilani Hamid S dan Bachtiar Firdaus

Jurusan Teknik Gas Dan Petrokimia

Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok-16424

### Abstrak

Kandungan logam Kadmium yang diizinkan dalam air minum, sesuai dengan ketetapan baku mutu air minum Pemda DKI – Jakarta sekitar 0.01 mg/L. Sedangkan "air buatan" mengandung kadmium 363,6 mg / L air. Tujuan penelitian adalah mengurangi kadar Kadmium dalam air buatan sesuai dengan baku mutu melalui proses adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif granular 8 – 10 mm sebagai adsorben. Sistem kontinu digunakan untuk menyesuaikan dengan keadaan sebenarnya dan dalam penelitian ini waktu kontak yang terjadi selama proses adsorpsi dan diamati juga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi kesetimbangan. Karbon aktif yang digunakan dipanaskan pada temperature 100 ° C selama 24 jam, dan luas permukaan bertambah dari 555,6 m<sup>2</sup> /gr menjadi 597,6 m<sup>2</sup> /gr. Sistem mencapai kurva terobosan setelah 14 jam untuk waktu kontak 10 menit dan untuk waktu kontak 20 menit diperoleh kurva terobosan 18 jam.

### Abstract

The maximum Cadmium content in tap water based on Drinking Water Standard Quality of DKI Local Government, is 0,01 mg/L. This experiment is aimed to reduce Cadmium content by adsorption process using 8- 10 mm granular activated Carbon. By using continuous system to adopt the real condition and the contact time during isothermal adsorption and the time needed to achieve equilibrium conditions are observed. The granular carbon is heated at 100 ° C for 24 hours and the surface areas change from 555,6 m<sup>2</sup> /gr to 597,6 m<sup>2</sup> / gr. The system reaches penetration curve after 14 hours for 10 minutes contact time and 18 hours for 20 minutes

### 1. Pendahuluan

Setiap makhluk hidup tidak dapat melepaskan ketergantungannya akan air demi kelangsungan hidupnya. Air dibutuhkan makhluk hidup untuk menjalankan proses biologis dan biokimia dalam tubuhnya, untuk menjaga kelembaman tubuhnya dan lain sebagainya. Tingkat kebutuhan akan air ini menjadi lebih tinggi lagi pada manusia. Kegiatan manusia yang sangat beraneka ragam menyebabkan tuntutan terhadap kualitas air yang makin baik menjadi semakin tinggi.

Pencemaran lingkungan dapat menyebabkan kualitas air yang semakin turun. Pencemaran pada air menyebabkan tercemarnya persediaan air dan kebutuhan air bersih. Masalah pencemaran ini dapat

disebabkan oleh limbah-limbah rumah tangga maupun limbah buangan industri-industri yang mengandung logam-logam berat seperti merkuri, timbal, nikel, besi, tembaga, dan kadmium. Semua logam tersebut sangat berbahaya akan kesehatan manusia.

Penelitian ini adalah adsorpsi kadmium dari air yang mengalir secara kontinu dalam skala laboratorium dengan menggunakan karbon granular 8 – 10 mm yang diaktivasi pada 100 °C selama 24 jam, sehingga luas permukaannya akan bertambah. Dengan waktu kontak yang ditentukan dapat diketahui laju alir dari air yang mengalir didalam kolom.

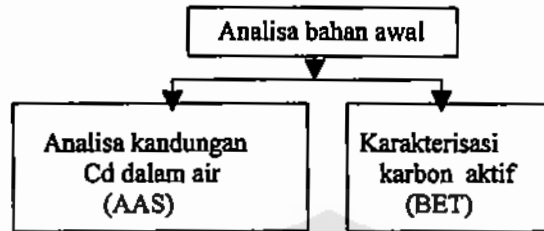
Selanjutnya dapat diketahui kurva terobosan yaitu pada saat karbon aktif telah mengalami kejenuhan pada waktu kontak yang ditentukan.

## 2. Metode Penelitian

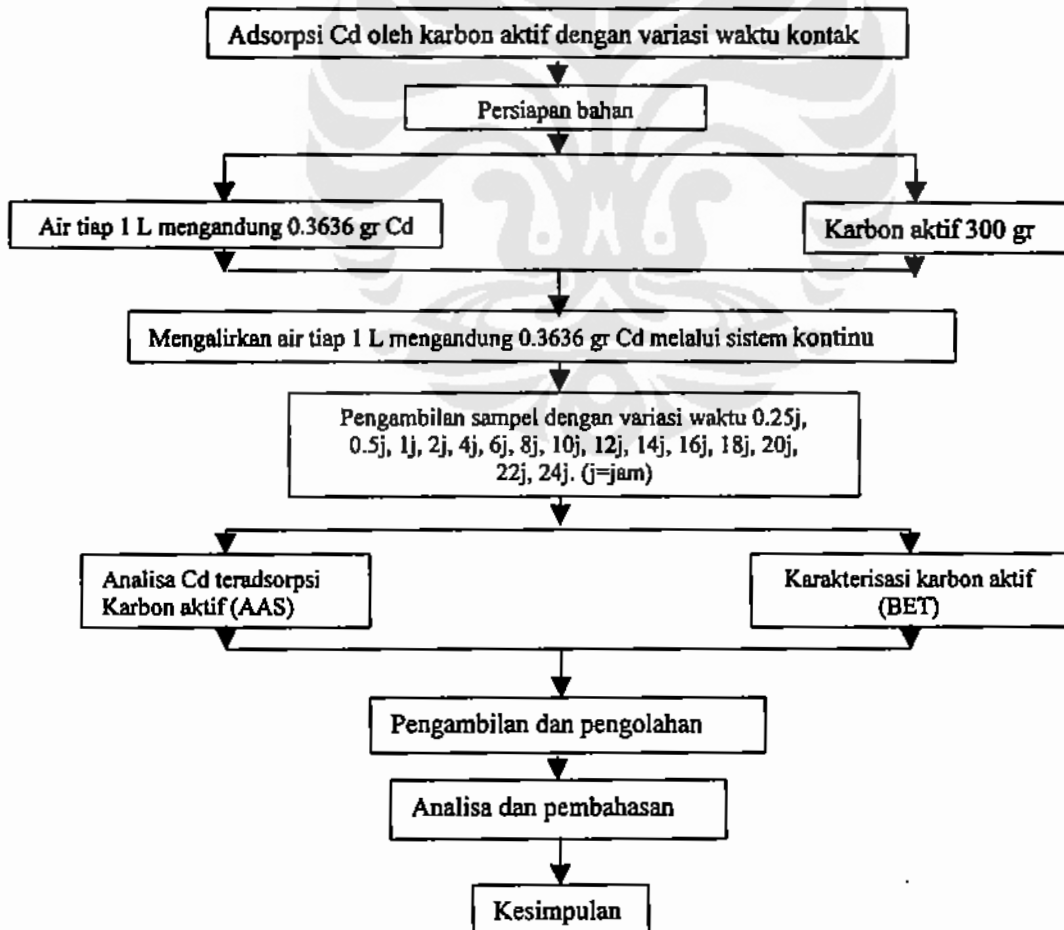
Penelitian ini adalah adsorpsi kadmium dari air dengan menggunakan karbon aktif pada kondisi isothermal melalui sistem kontinu. Air yang mengandung kadmium di buat dalam skala laboratorium. Dimulai dengan karakterisasi karbon aktif

menentukan luas permukaan dilanjutkan proses aktivasi dan penggunaan karbon aktif sebagai adsorben untuk menyerap kandungan logam berat kadmium dalam air. Percobaan dilakukan di laboratorium jurusan Teknik Gas dan Petrokimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

### Diagram alir Persiapan



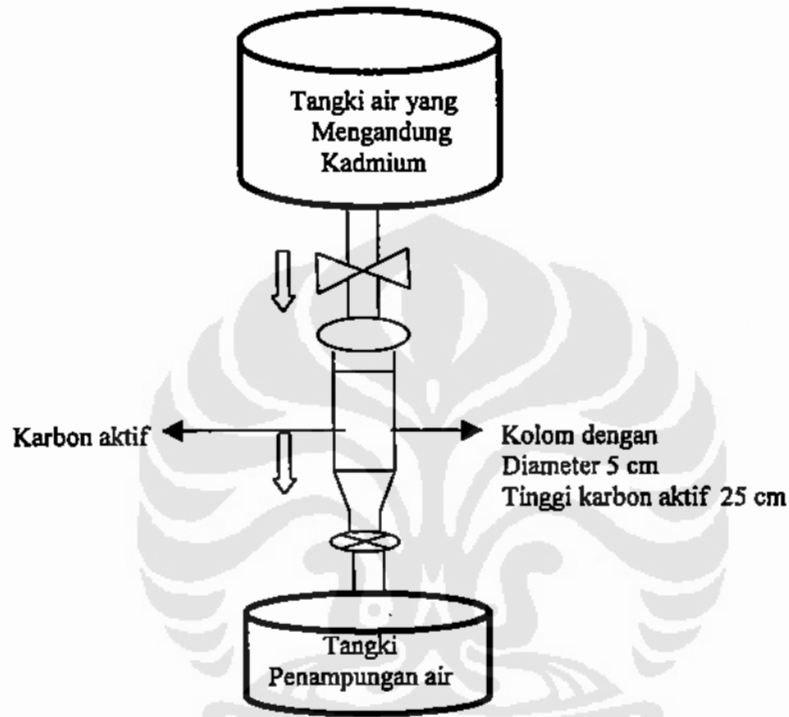
### Diagram alir pengujian



Gambar 1. Diagram alir persiapan dan proses adsorpsi kadmium

Pengujian adsorpsi kadmium dengan karbon aktif ini dilakukan dengan variasi waktu kontak yang berbeda, yaitu dengan waktu kontak 10 menit dan waktu kontak 20 menit. Waktu kontak ( $\square$ ) adalah volume

bed ( $V$ ) dibagi laju alir ( $F$ ). Di mana kecepatan alirannya masing-masing berurutan sebesar  $49.06 \text{ cm}^3/\text{menit}$  dan  $24.50 \text{ cm}^3/\text{menit}$ .



Gambar 2. Adsorpsi kadmium dengan sistem kontinu

Tabel dibawah ini menerangkan kondisi operasi proses adsorpsi, sebagai berikut :

**Tabel 1.**  
Kondisi operasi adsorpsi cadmium

Waktu kontak (menit)	F aliran ( $\text{cm}^3/\text{mnt}$ )	Tinggi karbon (cm)	Dia meter bed (cm)	Bed volume ( $\text{Cm}^3$ )	Berat karbon (gr)
10	49.06	25	5	490.625	300
20	24.50	25	5	490.625	300

## 3. Hasil Penelitian

**Tabel 2.**  
Data hasil penelitian untuk waktu kontak 10 menit

No	Waktu (menit)	C Effluent	Cd Teradsorp	% Adsorp	A1t	A2t	$Q = \frac{F(A1t - A2t)}{W}$
1	0	0	0	0	0	0	0
2	15	0.02	363.58	0.9999	5454	0.15	0.89188
3	30	0.08	363.52	0.9997	10908	0.9	1.78367
4	60	2.05	361.55	0.9943	21816	32.85	3.56227
5	120	5.14	358.46	0.9858	43632	248.55	7.09464
6	240	9.38	354.22	0.9742	87264	1119.75	14.08745
7	360	16.25	347.35	0.9553	130896	2657.55	20.97126
8	480	33.11	330.49	0.9089	174528	5619.15	27.62222
9	600	123.6	240.00	0.6600	218160	15021.75	33.21987
10	720	147.5	216.10	0.5943	261792	31287.75	37.69512
11	840	166.4	197.20	0.5423	305424	50121.75	41.75042
12	960	169.4	194.20	0.5341	349056	70269.75	45.59084
13	1080	172.2	191.40	0.5264	392688	90765.75	49.37435
14	1200	176.8	186.80	0.5137	436320	111705.75	53.08525
15	1320	179.1	184.50	0.5074	479952	133059.75	56.72844
16	1440	181.3	182.30	0.5013	523584	154683.75	60.32748

**Tabel 3.**  
Data hasil penelitian untuk waktu kontak 20 menit

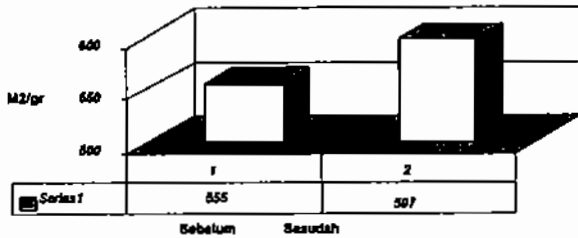
No	Waktu (menit)	C Effluent	Cd Teradsorp	% Adsorp	A1t	A2t	$Q = \frac{F(A1t - A2t)}{W}$
1	0	0	0	0	0	0	0
2	15	0.02	363.58	0.9999	5454	0.15	0.89188
3	30	0.05	363.55	0.9998	10908	0.675	1.78371
4	60	0.67	362.93	0.9981	21816	11.475	3.56576
5	120	2.25	360.67	0.9919	43632	99.075	7.11908
6	240	5.40	358.20	0.9851	87264	1017.075	14.10424
7	360	8.20	355.40	0.9774	130896	1833.075	21.10609
8	480	12.10	351.50	0.9667	174528	3051.075	28.04219
9	600	17.50	346.10	0.9518	218160	4827.075	34.88704
10	720	21.30	342.30	0.9414	261792	7155.075	41.64162
11	840	25.90	337.70	0.9287	305424	9987.075	48.31378
12	960	115.70	247.90	0.6817	349056	18483.075	54.05969
13	1080	124.60	239.00	0.6573	392688	32901.075	58.83715
14	1200	127.80	235.80	0.6485	436320	48045.075	63.49589
15	1320	129.20	234.40	0.6446	479952	63465.075	68.10949
16	1440	132.10	231.50	0.6366	523584	79143.075	72.68090

A1t dan A2t = merupakan kadmium yang teradsorpsi yang dinyatakan sebagai luas (lampiran)  
F = laju alir air ; W = berat karbon aktif.

#### 4. Pembahasan

##### 4.1. Pengaruh aktivasi pada luas permukaan karbon

Karakterisasi luas permukaan karbon aktif dilakukan dengan alat BET dan hasilnya sebagai berikut ( gambar 3.):



Gambar 3 . Luas permukaan karbon aktif sebelum dan sesudah aktivasi

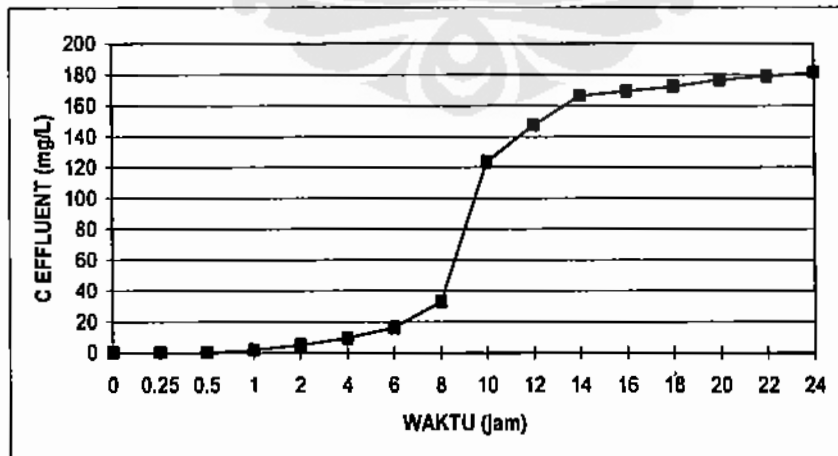
Besarnya persentase pertambahan luas permukaan karbon aktif sebelum dan sesudah aktivasi sebesar 7.5 %. Dimana sebelum aktivasi luas permukaan sebesar 555.5 m<sup>2</sup>/gr dan sesudah aktivasi luas permukaan sebesar 597.6 m<sup>2</sup>/gr. Selama

proses aktivasi dari produk antara (intermediate) atau chars yang belum diaktifkan, tersusun secara tidak merata akan terlepas sedemikian rupa sehingga permukaan kristal-kristal menjadibersentuhan dengan bahan pengaktif.

##### 4.2. Hubungan jumlah kadmium (Cd) teradsorpsi dengan waktu kontak 10 menit.

Hubungan massa kadmium teradsorpsi dengan variasi waktu kontak 10 menit pada proses adsorpsi kadmium dari dalam air menggunakan karbon aktif, dapat dilihat pada gambar 4 .

Kondisi operasi sebagai berikut: Waktu kontak=10 menit, W=Berat karbon aktif=300 gram, F=Laju alir aliran=49.06 cm<sup>3</sup>/mnt, Tinggi karbon aktif (dalam kolom)=25 cm, Diameter kolom=5 cm, Suhu operasional= Suhu kamar, Tekanan=1 atm, dan Konsentrasi awal= 363.6 mg/L



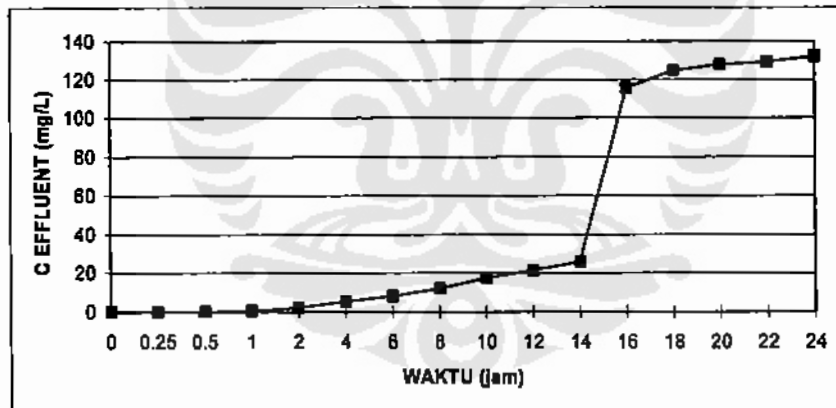
Gambar 4. Hubungan waktu dengan jumlah kadmium teradsorpsi pada waktu kontak 10 menit

Pada operasi adsorpsi dengan waktu kontak 10 menit, dapat kita lihat bahwa *break through point*-nya pada jam ke-14. Untuk rentang waktu 0-14 jam pada waktu kontak 10 menit, jumlah kadmium yang diadsorpsi cenderung naik, dengan kata lain laju adsorpsinya besar. Hal ini disebabkan karena pada waktu kontak tersebut kadmium mulai memasuki pori-pori makro yang berdiameter besar, untuk menuju pori-pori meso. Sedangkan pada rentang waktu 14-24 jam, massa kadmium teradsorpsi cenderung stabil karena adsorpsi kemungkinan terjadi pada permukaan pori mikro sehingga kadmium yang teradsorpsi terhalang oleh kadmium yang telah teradsorpsi terlebih dahulu. Pengamatan secara fisik di laboratorium pada jam ke 14-15, karbon aktif yang terdapat pada kolom mulai nampak berwarna keabu-abuan, hal ini diduga bahwa karbon aktif yang telah mengabu-abu mulai jenuh.

Pada operasi adsorpsi di dunia industri maka waktu proses adsorpsi yang dipakai adalah waktu sebelum titik *break point* yaitu pada jam ke-6 karena setelah itu proses adsorpsi telah sangat menurun. Setelah itu proses adsorpsi mengalami regenerasi untuk melakukan proses desorpsi yang dilanjutkan dengan proses adsorpsi kembali.

### 5. Hubungan waktu dengan jumlah kadmium teradsorpsi pada waktu kontak 20 menit

Kondisi operasi : Waktu kontak=20 menit, W=Berat karbon aktif=300 gram, F=Laju alir aliran= 24.50 cm<sup>3</sup>/mnt, Tinggi karbon aktif (dalam kolom)=25 cm, Diameter kolom=5 cm, Suhu operasional=Suhu kamar, Tekanan=1 atm, dan Konsentrasi awal= 363.6 mg/L.



Gambar 5 . Hubungan waktu dengan jumlah kadmium teradsorpsi pada waktu kontak 20 menit

Pada operasi adsorpsi untuk waktu kontak 20 menit, dapat kita lihat bahwa *break through point*-nya didapat pada jam ke-18. Untuk rentang waktu 0-18 jam pada waktu kontak 20 menit, jumlah kadmium yang teradsorpsi cenderung naik, dengan kata lain laju adsorpsinya besar. Hal ini disebabkan karena pada waktu kontak tersebut kadmium mulai memasuki pori-pori makro yang berdiameter besar untuk menuju pori-pori meso. Sedangkan pada waktu kontak 18-24 jam, perubahan tingkat

penyerapan kadmium berjalan lambat yang disebabkan pori-pori pada karbon aktif hampir terisi seluruhnya oleh kadmium dan sudah mencapai titik jenuh.

Pada operasi adsorpsi di dunia industri maka waktu proses adsorpsi yang dipakai adalah waktu sebelum titik *break point* yaitu pada jam ke-12 karena setelah itu proses adsorpsi telah sangat menurun. Setelah itu proses adsorpsi mengalami regenerasi untuk melakukan

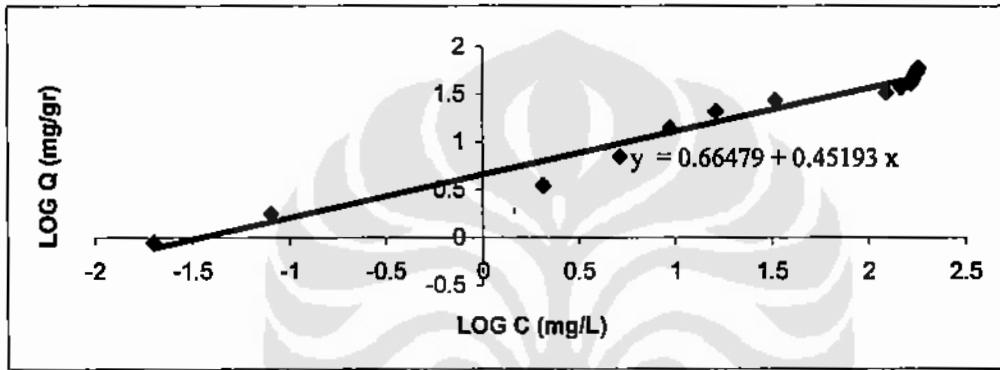
proses desorpsi yang dilanjutkan dengan proses adsorpsi kembali.

Dari pernyataan di atas dapat di lihat pengaruh perbedaan waktu kontak pada adsorpsi kadmium. Hal ini ditunjukkan dengan data yaitu pada waktu kontak 20 menit kecenderungan stabil adsorpsi kadmium dimulai pada jam ke-18. Sedangkan pada waktu kontak 10 menit kecenderungan stabilnya lebih cepat 4 jam yaitu pada jam ke-14 dan dapat

dilihat bahwa meningkatnya waktu kontak akan menaikkan jumlah kadmium yang terserap.

#### 6. Konstanta kesetimbangan untuk adsorpsi kadmium

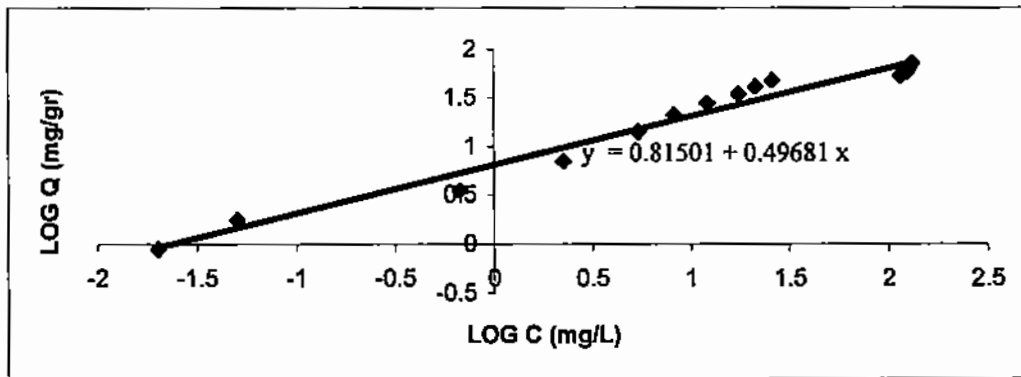
Untuk menentukan konstanta kesetimbangan adsorpsi kadmium, maka digunakan permodelan Freundlich, dengan melakukan linierisasi permodelan tersebut didapat gambar seperti di bawah ini:



Gambar 5. Freundlich Isothermal Untuk Adsorpsi Kadmium Pada Waktu Kontak 10 Menit

Adsorpsi isothermal dengan permodelan Freundlich memperoleh konstanta kesetimbangan adsorpsi untuk waktu

kontak 10 menit sebesar 4.622, sedangkan untuk waktu kontak 20 menit memperoleh konstanta kesetimbangan sebesar 6.531.



Gambar 6. Freundlich Isothermal Untuk Adsorpsi Kadmium Dengan Waktu Kontak 20 Menit

Pada *break through point*, penyerapan kadmium oleh karbon aktif mulai jenuh. Dengan persamaan Freundlich yang dihasilkan pada waktu kontak 10 dan 20 menit, maka pada waktu kontak 10 menit akan memerlukan karbon aktif sebesar 4.23 gram/liter air, sedangkan untuk waktu kontak 20 menit dibutuhkan berat karbon aktif sebesar 3.58 gram/liter air pada kondisi jenuh.

Pada penelitian ini, dengan menggunakan metode Freundlich dapat menentukan berat karbon aktif yang seharusnya dapat dipakai untuk mengadsorpsi kadmium dari konsentrasi awal 363.6 mg/L menjadi 0.01 mg/L sesuai dengan baku mutu, akan memerlukan karbon aktif sebesar 630.49 gram/L air pada waktu kontak 10 menit dan pada waktu kontak 20 menit akan dibutuhkan karbon aktif sebesar 548.55 gram/L air.

**Tabel 4.**  
Berat karbon aktif yang dibutuhkan

Waktu Kontak	$K_f$	W Karbon Kondisi Jenuh		W Karbon kondisi operasional menuju baku mutu	
10 menit	4.6215	4.23 gr/L air		630.49 gr/L air	
20 menit	6.5314	3.58 gr/L air		548.55 gr/L air	
C awal (mg/L)		363.6	363.6	363.6	363.6
C akhir (mg/L)		166.4	115.7	0.01	0.01
Waktu Kontak		10 menit	20 menit	10 menit	20 menit

Dari tabel 4 di atas dapat dilihat semakin besar jumlah kadmium yang akan diadsorpsi maka akan semakin besar jumlah karbon aktif yang akan digunakan secara umum. Perbedaan waktu kontak mengakibatkan perbedaan karbon aktif yang digunakan, semakin lama waktu kontak maka akan semakin sedikit karbon aktif yang digunakan, hal ini disebabkan lamanya waktu kontak akan menyempurnakan interaksi kadmium pada air dengan karbon aktif.

## 7. Kesimpulan

Dari hasil penelitian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Break through* pada waktu kontak 10 menit didapat pada jam ke-14 dan *break through* pada waktu kontak 20 menit didapat pada jam ke-18.
2. Dengan permodelan Freundlich diperoleh konstanta kesetimbangan adsorpsi ( $K_f$ ) untuk waktu kontak 10 menit sebesar 4.622, sedangkan untuk waktu kontak 20 menit diperoleh

konstanta kesetimbangan adsorpsi ( $K_f$ ) sebesar 6.531.

3. Untuk menurunkan konsentrasi kadmium dari kondisi penelitian (363.6 mg/L) menjadi standar baku (0.01 mg/L) diperlukan karbon aktif sebesar 630.49 gram untuk waktu kontak 10 menit dan sebesar 548.55 gram untuk waktu kontak 20 menit.
4. Semakin lama waktu kontak yang terjadi maka akan sedikit karbon aktif yang dipergunakan pada konsentrasi yang sama.

## Daftar Pustaka

1. Frederick S. Backer, Charles E. Miller. A.J. Repik, E.D. Tolles, "Activated Carbon", Encyclopedia of Chemical Engineering, vol 4, 1015-1037, 1980.
2. Figueredo, J.L., Molijn, J.A., "Carbon AND Coal Gasification Science and Technology", Martinus Nijhoff Publishers, Boston, 1986.
3. Kirk Othmer, "Adsorption", Encyclopedia of Chemical Tech., Vol.1, Wiley Interscience, 1994.



4. <http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/Adsorption.htm>
5. Coulson, J.M., and Richardson, J.F., "Chemical Engineering", vol.2, Pergamont Press, New York, 1997.
6. Weast, Robert C, and Astle, Melvin J, "Handbook of Chemistry and Physics", 62<sup>nd</sup> edition, CRC Press, Inc., Florida, 1981.
7. LaGrega, Michael D, and Buckingham, Philip L, "Hazardous Waste Management", 2<sup>nd</sup> edition, McGraw Hill, New York, 2001.
8. Zauda, Amru, : Adsorpsi timbal dari "Air PAM" dengan karbon aktif pada sistem batch, jurusan Gas dan Petrokimia FTUI, Depok, Juni 2000.
9. Gultom, Michael B.M., : Adsorpsi timbal dari "Air PAM" dengan karbon aktif pada sistem kontinu, jurusan Gas dan Petrokimia FTUI, Depok, Juli 2000.
10. Keputusan Gubernur DKI Jakarta, "Penetapan peruntukan dan baku mutu air sungai/badan air serta baku mutu limbah cair di wilayah DKI Jakarta", nomor 582, Jakarta, 1985.

#### Lampiran

##### Contoh Perhitungan

1. Menghitung jumlah  $Cd^{2+}$  dalam  $Cd(NO_3)_2 \cdot 4 H_2O$   

$$Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O \rightarrow Cd^{2+} + 2 NO_3^- + 4 H_2O$$

1 gram

mol  $Cd(NO_3)_2 \cdot 4 H_2O$   
 $= 1 \text{ gram} \times (1 \text{ mol}/308 \text{ gram})$   
 $= 3.2467 \times 10^{-3} \text{ mol}$

mol  $Cd^{2+} = \text{mol } Cd(NO_3)_2 \cdot 4 H_2O$   
 $= 3.2467 \times 10^{-3} \text{ mol}$

berat  $Cd^{2+}$   
 $= 3.2467 \times 10^{-3} \times (112 \text{ gram}/1 \text{ mol})$   
 $= 0.3636 \text{ gram}$
2. Menentukan jumlah kadmium dalam kolom
  - Jumlah ion kadmium total (kumulatif) masuk kolom dapat dihitung sebagai luasan  $A1t$  (gr.menit/L)

Di mana:  $C_{in}$  = Konsentrasi awal kadmium ;  $t$  = waktu adsorpsi

Contoh perhitungan:

$$C_{in} = C_{out \ t=0} = 363.6 \text{ mg/L (ppm)} ;$$

$$t = 15 \text{ menit}$$

$$\text{Maka } A1t = 363.6 \times 15 = 5454 \text{ gr.menit/L}$$

- Jumlah kadmium total (kumulatif) keluaran kolom (merupakan kadmium yang tidak teradsorpsi) sebagai luasan  $A2t$  (gr.menit/L)

$$A2t_i = \left[ \frac{(C_i + C_{i+1})}{2} \right] \times (t_{i+1} - t_i) + A2t_0$$

Di mana:

$C_i$  = konsentrasi kadmium ( $C_{out}$ ) pada saat  $t_i$  (gr/L)

$t_i$  = waktu adsorpsi saat  $i$  (menit)

Contoh perhitungan

$$C_1 = 0 \text{ gr/l} ; t_1 = 0 \text{ menit} ;$$

$$C_2 = 0.02 ; t_{i+1} = 15 \text{ menit}$$

Maka

$$A2t = \left[ \frac{(0+0.02)}{2} \right] \times (15-0) + 0$$

$$= 0.15 \text{ gr.menit/L}$$

Konsentrasi ion kadmium keluaran kolom ( $C_{out}$ ) diplot terhadap waktu ( $t$ ) sehingga terbentuk suatu kurva. Daerah di bawah kurva menyatakan jumlah kadmium yang tidak teradsorpsi yang merupakan luasan  $A2t$ , sedangkan jumlah kadmium yang teradsorpsi merupakan selisih dari jumlah kadmium total masuk kolom ( $A1t$ ) dan jumlah kadmium tak teradsorpsi ( $A2t$ ).

- Kapasitas adsorpsi kadmium

$$Q = F (A1t - A2t) / W$$

Maka kapasitas adsorpsi yang terjadi:

$$Q = [49.06(5454 - 0.15)] / 300$$

$$= 0.89188 \text{ mg kadmium/gr karbon aktif}$$

3. Contoh menghitung slope dan intercept dari persamaan Freundlich (waktu kontak 20 menit)

C (mg/L)	Q (mg/gr)	Log C	Log Q
0.02	0.89188	-1.699	-0.0497
0.05	1.78371	-1.301	0.25132
0.67	3.56576	-0.1739	0.55215
2.25	7.11908	0.35218	0.85242
5.4	14.1042	0.73239	1.14935
8.2	21.1061	0.91381	1.32441
12.1	28.0422	1.08279	1.44781
17.5	34.887	1.24304	1.54266
21.3	41.6416	1.32838	1.61953
25.9	48.3138	1.4133	1.68407
115.7	54.0597	2.06333	1.73287
124.6	58.8372	2.09552	1.76965
127.8	63.4959	2.10653	1.80275
129.2	68.1095	2.11126	1.83321
132.1	72.6809	2.1209	1.86142

Persamaan Freundlich:

$$Q = K_f \times C^{1/n} \rightarrow \text{Log } Q = \text{Log } K_f + 1/n \text{ Log } C$$

$$\rightarrow Y = a + b X$$

$$a = \frac{(\sum XY)(\sum X)(\sum Y)}{(\sum (X^2)) - (\sum X)^2} ;$$

$$b = \frac{(\sum Y)(\sum (X^2)) - (\sum X)(\sum XY)}{(\sum (X^2)) - (\sum X)^2}$$

maka dari persamaan tersebut didapat:

$$a = 0.81501 ; b = 0.49681$$

dapat ditentukan berat karbon aktif pada kondisi yang diinginkan:

$Q = X/m =$  berat kadmium yang terserap /  
berat karbon yang  
dipergunakan.

C = Konsentrasi (mg/L)

$$\text{Log } Q = \text{Log } K_f + 1/n \text{ Log } C ;$$

$$\text{Log } (X/m) = \text{Log } K_f + 1/n \text{ Log } C$$

Contoh pada standar baku dengan waktu kontak 20 menit:

$$\text{Log } (363.59/m) = 0.81501 + 0.49681 \text{ Log } 0.01 ;$$

$$\text{Log } (363.59/m) = -0.17861$$

$$363.59/m = 0.66281$$

$$\text{maka } m = 548.55 \text{ gr}$$