

## ADSORPSI KADMIUM (II) DAN KROMIUM (III) DALAM AIR OLEH LIMBAH LUMPUR AKTIF

Tj Setiadi, M. Kusmaya dan M.B Halim \*)

### Abstrak

Proses pengolahan limbah dengan menggunakan sistem lumpur aktif pada sisi lain menimbulkan permasalahan baru, yaitu persoalan pengolahan lumpur (*wastage sludge*). Meningkatnya penggunaan sistem ini menyebabkan meningkat pula jumlah lumpur yang harus diolah. Hal tersebut meningkatkan beban ekonomi bagi industri yang menggunakan sistem pengolahan limbah secara lumpur aktif. Pemanfaatan lumpur aktif sebagai adsorben tentunya mengurangi beban ekonomi pengolahan lumpur. Disamping itu pemanfaatan tersebut memberikan nilai tambah bagi industri karena dapat dijual dan digunakan pada proses penghilangan logam berat dalam suatu air limbah sebagai pengganti karbon aktif ataupun adsorben lain. Tujuan penelitian ini adalah menentukan kapasitas maksimum adsorpsi sebagai suatu parameter untuk mengkuantifikasi keefektifan aktivitas suatu adsorben lumpur aktif dalam mengadsorpsi logam berat kadmium dan kromium dari suatu air limbah industri. Dalam penelitian ini, variabel yang divariasikan adalah konsentrasi adsorbat yaitu, kadmium dan kromium dalam rentang 0,97 – 13,68 mg/L. Variabel lain yang divariasikan adalah pH (dalam rentang 1 - 14) dan 3 jenis lumpur aktif yaitu lumpur slurry, lumpur cake, dan lumpur powder. Hasil dari penelitian yang dilakukan menunjukkan lumpur aktif tipe cake memberikan tingkat jumlah logam teradsorpsi paling tinggi dibandingkan dengan lumpur slurry ataupun powder. Waktu kesetimbangan adsorpsi Cd (II) dan Cr (III) menggunakan adsorben lumpur aktif adalah 24 jam. Persentase efisiensi penghilangan (*removal*) logam berat Cd(II) dengan menggunakan lumpur aktif tipe cake untuk rentang konsentrasi 0,97-11,85 mg/l ada pada rentang yang cukup tinggi yaitu 88,44-95,38%. Demikian juga dengan persentase efisiensi penghilangan logam berat Cr(III) untuk rentang konsentrasi 1,66-13,68 mg/l memberikan angka yang sangat tinggi yaitu 98,26-99,73%. Nilai pH optimum untuk adsorpsi logam Cd(II) dan Cr(III) oleh lumpur aktif terjadi pada pH antara 6,0 dan 8,0. Persamaan isoterm yang sesuai untuk adsorpsi Cd(II) dan Cr(III) menggunakan lumpur aktif adalah model isoterm Langmuir, dengan demikian merupakan adsorpsi satu lapis. Khusus untuk adsorpsi Cd(II), prosesnya juga mengikuti model isoterm Freundlich. Kapasitas adsorpsi maksimum ( $q_m$ ) untuk Cd(II) menggunakan lumpur aktif adalah 6,25 mg/g adsorben, sedangkan untuk Cr(III) adalah 6,13 mg/g adsorben. Tetapan Langmuir,  $b$ , untuk logam Cd(II) adalah 1,06 l/mg dan untuk Cr(III) adalah 23,99 l/mg.

**Kata kunci :** adsorpsi; kadmium; krom; lumpur aktif; model isoterm

### Pendahuluan

Indonesia mempunyai visi untuk meraih status sebagai negara maju pada tahun 2020, hal ini ditunjukkan dengan pertumbuhan yang sangat cepat di bidang industri sejak tahun 1980-an yang mengakibatkan pertambahan volum limbah industri termasuk air limbah yang mengandung logam berat. Tanpa pengolahan dan metoda disposal yang tepat terhadap limbah tersebut, mengakibatkan logam berat terakumulasi dan masuk dalam rantai makanan.

Industrialisasi yang berkembang secara cepat di Indonesia harus diimbangi dengan modernisasi yang berorientasi pada pengelolaan lingkungan hidup. Kebijakan manajemen yang efektif untuk menciptakan inovasi-inovasi proses pengelolaan air limbah harus

dikembangkan secara berkelanjutan untuk mencegah dan mengendalikan pencemaran logam berat.

Proses pengolahan limbah dengan menggunakan sistem lumpur aktif pada sisi lain menimbulkan permasalahan baru, yaitu persoalan pengolahan lumpur (*wastage sludge*). Meningkatnya penggunaan sistem ini menyebabkan meningkat pula jumlah lumpur yang harus diolah. Hal tersebut meningkatkan beban ekonomi bagi industri yang menggunakan sistem pengolahan limbah secara lumpur aktif. Pemanfaatan lumpur aktif sebagai adsorben tentunya mengurangi beban ekonomi pengolahan lumpur. Disamping itu pemanfaatan tersebut memberikan nilai tambah bagi industri karena dapat dijual dan digunakan pada proses penghilangan

\*) Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesa 10, Bandung 40132, Indonesia  
Faks: 62-22-250 1438; Email: tjandra@che.itb.ac.id



logam berat dalam suatu air limbah sebagai pengganti karbon aktif ataupun adsorben lain.

Studi tentang isoterm adsorpsi terhadap larutan kadmium dan kromium menunjukkan hasil yang berbeda-beda (Beveridge dkk, 1981; Chang dkk, 1997; Chu dkk, 1997; Butter dkk, 1998). Dengan dipelajarinya model isoterm adsorpsi diharapkan akan dapat diungkapkan tentang kapasitas adsorpsi dan jenis adsorpsi (adsorpsi fisika, adsorpsi kimia atau gabungan kedua jenis adsorpsi tersebut) dari suatu adsorben terhadap adsorbat.

Permasalahannya adalah apakah peristiwa adsorpsi menggunakan adsorben lumpur aktif sama dengan peristiwa adsorpsi pada karbon aktif, *algae*, atau adsorben-adsorben lainnya mengingat perbedaan karakteristik zat-zat tersebut. Selain itu apakah lumpur aktif yang digunakan akan mengikuti salah satu model isoterm adsorpsi yang telah ada atau mempunyai model tersendiri, mengingat lumpur aktif tersebut mempunyai struktur dan komposisi yang berbeda dengan adsorben lain tersebut di atas.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menentukan kapasitas maksimum adsorpsi sebagai suatu parameter untuk mengkuantifikasi keefektifan aktivitas suatu adsorben lumpur aktif dalam mengadsorpsi logam berat kadmium dan kromium dari suatu air limbah.

Dipilihnya kadmium dan kromium sebagai logam model karena keduanya sering ditemukan dalam kandungan air limbah pada berbagai industri terutama industri elektroplating. Kadmium dan kromium merupakan bahan yang sangat beracun, sehingga menuntut perhatian yang lebih besar dalam hal proses penghilangannya. Sedangkan adsorben yang digunakan dalam penghilangan logam kadmium dan kromium ini adalah lumpur aktif yang berasal dari industri tekstil.

### Metodologi Penelitian

Penelitian untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum dari Lumpur aktif terhadap penyerapan logam berat kromium dan kadmium yang dilakukan, mengikuti metodologi yang disusun sebagai berikut:

- Mempersiapkan dan memberikan perlakuan awal pada sampel lumpur aktif.
- Menentukan berat kering lumpur aktif yang digunakan dengan metode gravimetri
- Mempersiapkan larutan logam kromium dan kadmium dalam berbagai konsentrasi (ppm) yang telah ditentukan
- Melakukan percobaan adsorpsi isotermal dengan lumpur aktif sebagai adsorben dan logam kromium dan kadmium sebagai adsorbatnya
  - menentukan waktu tercapainya kesetimbangan adsorpsi
  - memvariasikan pH larutan

- melakukan filtrasi untuk memperoleh larutan logam residual (filtrat) dan ikatan sel-logam
- melakukan analisa konsentrasi logam yang terkandung pada filtrat menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*)

e. Melakukan interpretasi data

### Bahan-bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lumpur aktif sebagai adsorben dan logam kadmium dan kromium.

#### a. Lumpur aktif

Lumpur aktif yang digunakan tidak mempunyai spesifikasi tertentu. Lumpur aktif tersebut berasal dari hasil kegiatan pengolahan air limbah suatu industri tekstil yang berada di Rancaekek, Bandung Timur. Ada 3 jenis lumpur yang digunakan yaitu Lumpur *Slurry* (kandungan air 93,5% w/w), Lumpur *Cake* (kandungan air 78% w/w), dan Lumpur *Powder* (kandungan air 20% w/w).

#### b. Larutan Logam Kadmium dan Kromium

Larutan logam dibuat dengan melarutkan  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  (produksi *Wakopure Chemical Industries, Ltd*) dan  $3(\text{CdSO}_4) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  (produksi *May & Baker Laboratory Chemicals*) dalam air hasil distilasi.

### Variasi dan prosedur percobaan

Penelitian ini dilakukan dengan variabel yang tetap yaitu temperatur kamar (pada proses adsorpsi) dan putaran *shaker* dipertahankan pada 100 rpm. Variabel yang divariasikan adalah konsentrasi adsorbat, dalam hal ini kadmium dan kromium, pada rentang 0,97 – 13,68 mg/L. Variabel lain yang divariasikan adalah pH (dalam rentang 1 - 14) dan 3 jenis lumpur aktif yaitu lumpur *slurry*, lumpur *cake*, dan lumpur *powder*. Lumpur *powder* merupakan lumpur *cake* yang telah mengalami pemanasan dalam *rotary dryer* pada temperatur sekitar 250 °C.

Lumpur sejumlah massa tertentu disuspensikan dalam 500 mL air distilasi pada erlenmeyer 1 liter. Kemudian ditambahkan larutan Kadmium atau Kromium dengan konsentrasi yang bervariasi ke dalam masing masing suspensi. Suspensi tersebut diatur pH nya dengan menambahkan HCl atau NaOH untuk mendapatkan pH yang diinginkan. Selanjutnya erlenmeyer ditempatkan dalam *shaker* dengan putaran 100 rpm pada temperatur kamar.

Waktu penempatan suspensi dalam *shaker* tergantung dari waktu keseimbangan adsorpsi masing-masing lumpur. Saat kesetimbangan adsorpsi tercapai, *shaker* dihentikan dan suspensi dikeluarkan dari *shaker*, kemudian diambil contoh (*sample*) sebanyak 10 mL. Contoh kemudian disentrifugasi pada 5200 x g selama 30 menit. Setelah itu contoh disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan padatnya, sedangkan filtratnya ditampung. Kemudian terhadap filtrat dilakukan analisis



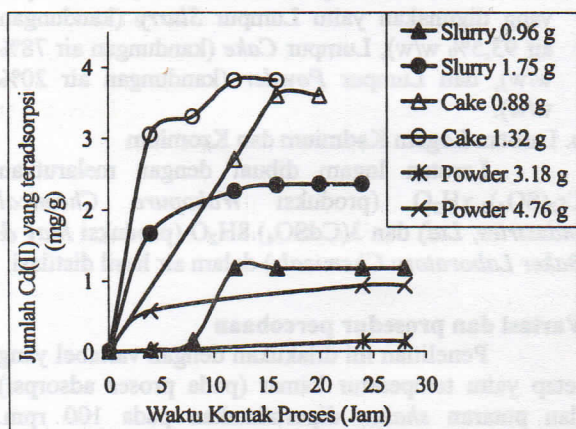
kandungan logam dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*).

**Hasil dan Pembahasan**

Bagian ini akan dibagi menjadi lima (5) bagian, dimulai dengan menentukan jenis lumpur yang cocok, pengaruh jumlah adsorben, dan pH. Kemudian dilanjutkan dengan analisis fenomena adsorpsi.

**Pengaruh tipe dan massa lumpur, waktu kontak proses, dan konsentrasi awal adsorbat terhadap kesetimbangan**

Pada bagian awal dari penelitian adalah menentukan pengaruh tipe dan jumlah lumpur (adsorben) terhadap kesetimbangan. Data percobaan tersebut disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh Waktu Kontak Proses, Tipe dan Massa Lumpur dalam Adsorpsi Cd(II)

Dari Gambar 1 terlihat bahwa perbedaan tipe dan massa lumpur menunjukkan perbedaan kapasitas adsorpsinya. Dari tiga tipe lumpur yang digunakan, yaitu *cake*, *slurry*, dan *powder*, penggunaan lumpur aktif tipe *cake* memberikan tingkat jumlah logam teradsorpsi paling tinggi (kapasitas adsorpsi yang paling tinggi). Bila diurut secara cermat urutan kapasitas adsorpsi tersebut adalah: *cake*>*slurry*>*powder*.

Adsorben yang digunakan pada penelitian ini adalah lumpur aktif yang merupakan suatu kumpulan (*aggregates*) mikroba dalam sistem pengolahan air limbah. Terdapat dua *sorption site* utama dalam lumpur aktif yaitu senyawa polimer ekstraseluler (SPE) dan dinding sel dari mikroba yang terkandung di dalamnya (Flemming, 1995). Adsorpsi logam yang terjadi dalam SPE diperkirakan karena adanya reaksi pertukaran ion karena SPE mengandung sejumlah besar gugus fungsional bermuatan negatif seperti gugus-gugus karboksil, fosfat dan sulfat (Sutherland, 1984). Sedangkan adsorpsi logam yang terjadi dalam dinding sel mikroba merupakan hasil reaksi kompleks antara ion logam dan muatan komponen dinding sel. Beveridge dan Koval (1981) menyimpulkan bahwa gugus karboksil pada peptidoglikan, gugus polar pada

fosfolipid, gugus anionik dalam lipopolisakarida, dan gugus asam polipeptida merupakan beberapa muatan komponen penyusun dinding sel. Kandungan air dalam SPE akan dapat melindungi gugus-gugus aktif yang potensial yang bisa menjembatani makromolekul-makromolekul yang ada melalui interaksi elektrostatis, ikatan Hidrogen, dan gaya dispersi London (Flemming dkk., 2000).

Hal tersebut di ataslah yang menjadi penyebab lumpur aktif tipe *slurry* dan *cake* yang banyak mengandung air (masing-masing 93,5% dan 78% w/w) mempunyai kemampuan adsorpsi logam lebih tinggi daripada lumpur tipe *powder* yang merupakan lumpur aktif kering (kandungan air 20% w/w). Pada lumpur *powder* sebagian besar air telah hilang pada proses pemanasan, sehingga gugus fungsional telah rusak.

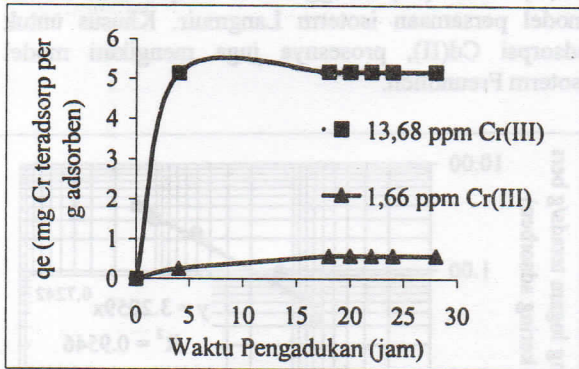
Pada jenis *slurry* dan *cake*, ketika lumpur aktif mulai berkurang kandungannya, kebanyakan dari gugus aktif ini akan saling berinteraksi. Hal ini disebabkan oleh masih adanya kandungan air yang menyatukan mereka, yang menyebabkan pula terjadinya kohesi yang lebih kuat. SPE kemudian akan nampak sebagai suatu struktur filamen akibat proses pengurangan air yang terjadi. Selain itu, gaya adhesi terhadap substrat ataupun logam kation akan meningkat karena gaya-gaya ini juga didasarkan pada mekanisme yang sama seperti kohesi. Hal inilah yang menyebabkan lumpur aktif yang mulai berkurang kandungannya seperti halnya lumpur tipe *cake* mempunyai kemampuan mengikat logam lebih tinggi daripada lumpur aktif encer seperti halnya lumpur tipe *slurry*.

Untuk setiap tipe lumpur aktif yang digunakan sebagai adsorben, kenaikan massa lumpur mengakibatkan jumlah logam teradsorpsi meningkat. Dari Gambar 1 juga dapat dilihat bahwa lumpur *cake* sebanyak 1,32 gram (berat kering) yang digunakan sebagai adsorben memberikan tingkat jumlah logam teradsorpsi yang paling tinggi. Hal inilah yang dijadikan alasan ditetapkannya jenis lumpur *cake* sebagai adsorben ditempuhan-tempuhan penelitian selanjutnya. Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak proses maka semakin banyak jumlah logam Cd (II) yang teradsorpsi oleh adsorben lumpur aktif.

Jumlah logam teradsorpsi mencapai keadaan konstan pada saat tercapainya waktu kesetimbangan adsorpsi. Dari Gambar 1 dan 2 dapat dilihat bahwa waktu kesetimbangan adsorpsi logam Cd(II) dan Cr (III) dengan menggunakan lumpur aktif relatif sama yaitu 24 jam. Gambar 2 menunjukkan bahwa waktu kesetimbangan tidak tergantung pada konsentrasi awal adsorbat (konsentrasi awal logam). Peningkatan konsentrasi awal adsorbat (konsentrasi awal logam) menyebabkan kenaikan jumlah logam teradsorpsi per satuan berat adsorben (mg/g). Kurva jumlah logam teradsorpsi vs waktu kontak proses merupakan kurva yang tunggal, *smooth*, dan kontinyu hingga mencapai



keadaan jenuh (setimbang), menunjukkan kemungkinan *monolayer coverage* ion logam pada permukaan adsorben.



Gambar 2. Pengaruh Waktu Kontak Proses dan Konsentrasi Awal Adsorbat

**Pengaruh Konsentrasi Awal Adsorbat terhadap Efisiensi Penghilangan (Removal) pada Massa Adsorben Tetap**

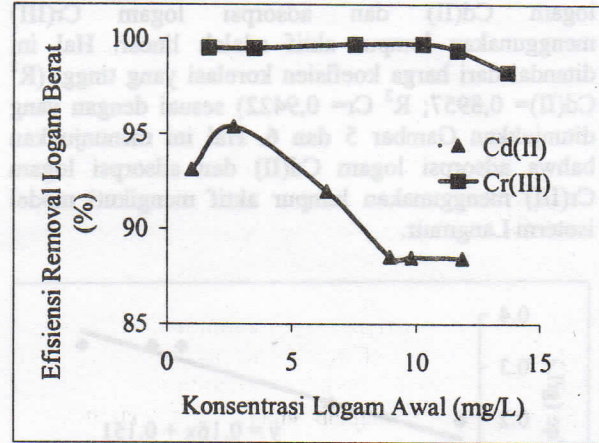
Hasil penelitian yang ditampilkan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi awal adsorbat (baik Cd(II) maupun Cr(III)) maka semakin menurun tingkat efisiensi penghilangan ion logam oleh adsorben lumpur aktif. Hal ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Ruthven (1984), bahwa proses adsorpsi dipengaruhi oleh konsentrasi solut atau adsorbat, tetapi tidak tergantung pada gradien konsentrasi. Disamping itu diperkirakan bahwa dalam larutan yang relatif lebih encer jarak antara satu molekul dengan molekul lainnya lebih berjauhan sehingga interaksi antara satu molekul dengan molekul yang lainnya lebih kecil. Dengan demikian gangguan ikatan antara molekul solut (adsorbat) yang telah berikatan dengan adsorben lebih sedikit. Hal ini terutama apabila adsorpsi berlangsung secara fisika, tetapi apabila proses adsorpsi berlangsung secara kimia fenomenanya kemungkinan berbeda.

Persentase efisiensi penyisihan logam berat Cd(II) ada pada rentang yang cukup tinggi yaitu 88,44-95,38%. Demikian juga sama halnya dengan persentase efisiensi penghilangan logam berat Cr(III), memberikan angka yang sangat tinggi yaitu 98,26-99,73%. Hal ini menunjukkan bahwa lumpur aktif tipe *cake* ini efektif untuk mengadsorpsi logam Cd(II) dan logam Cr(III) pada konsentrasi yang relatif rendah.

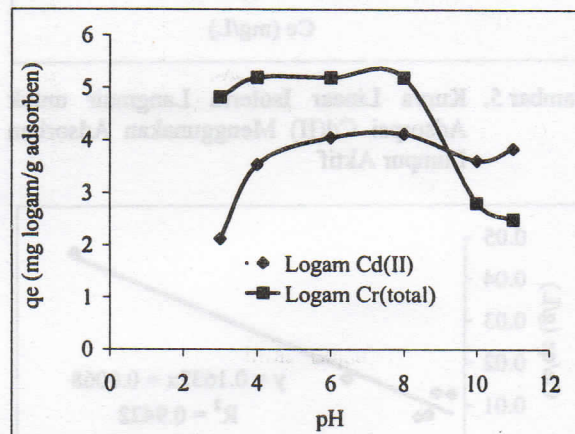
**Pengaruh pH terhadap Konsentrasi Logam Berat yang teradsorpsi**

Derajat keasaman larutan, pH, berpengaruh terhadap daya adsorpsi ion logam kadmium dan kromium oleh lumpur aktif. Dari Gambar 4 terlihat bahwa pH yang optimum untuk adsorpsi logam kadmium dan kromium oleh lumpur aktif terjadi pada pH antara 6,0 dan 8,0 (Gambar 4). Dari Gambar 4

juga dapat dilihat untuk logam Cr(III) bahwa kenaikan pH menyebabkan meningkatnya daya adsorpsi, setelah dicapai pH optimum kembali daya adsorpsinya menurun. Namun berbeda dengan logam kromium, untuk logam Cd(II) setelah dicapai pH optimum daya adsorpsinya menurun sementara dan selanjutnya kembali meningkat.



Gambar 3. Efisiensi Penghilangan Logam Cd(II) dan Cr(III) Menggunakan Lumpur *Cake*



Gambar 4. Pengaruh pH terhadap Konsentrasi Logam yang Teradsorpsi

Ketergantungan pH pada pengikatan logam kation umumnya terjadi pada saat pusat aktif pengikatan logam (seperti gugus karboksilat dan gugus amina) dapat mengikat proton juga. Sehingga ion logam dan proton bersaing untuk pusat aktif yang sama. Hal inilah yang mungkin menjelaskan bahwa daya adsorpsi logam meningkat seiring berkurangnya konsentrasi proton dalam larutan yang menjadi kompetitor bagi ion logam untuk memperebutkan pusat aktif pengikatan logam pada adsorben.

**Hasil Adsorpsi Isotermal**

Kapasitas adsorpsi suatu adsorben ( $q_e$ , dalam mg/g adsorben) umumnya bergantung pada

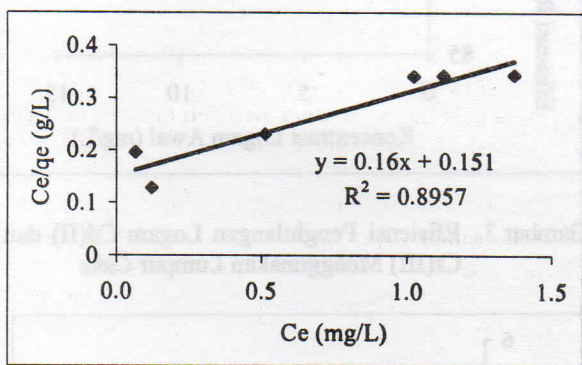


konsentrasi senyawa yang teradsorpsi pada saat kesetimbangan ( $C_e$ ). Adsorpsi umum digunakan untuk mengkorelasikan dua parameter tersebut. Dua adsorpsi isotermal yang paling banyak digunakan adalah:

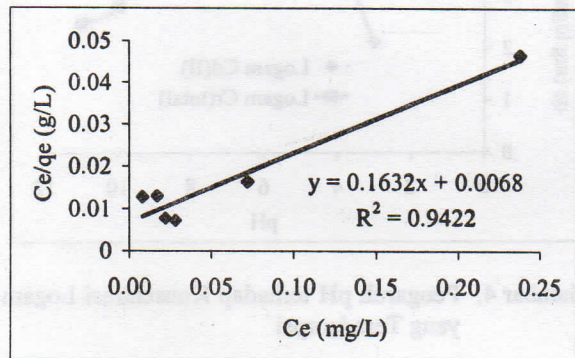
Isoterm Freundlich :  $q_e = k.C_e^{1/n}$

Isoterm Langmuir :  $q_e = q_m.b.C_e/(1+(b.C_e))$

Pengaluran data  $C_e/q_e$  vs  $C_e$  untuk adsorpsi logam Cd(II) dan adsorpsi logam Cr(III) menggunakan lumpur aktif adalah linear. Hal ini ditandai dari harga koefisien korelasi yang tinggi ( $R^2$  Cd(II)= 0,8957;  $R^2$  Cr= 0,9422) sesuai dengan yang ditunjukkan Gambar 5 dan 6. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi logam Cd(II) dan adsorpsi logam Cr(III) menggunakan lumpur aktif mengikuti model isoterm Langmuir.



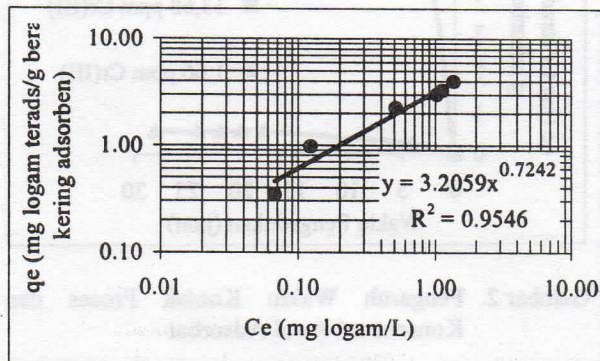
Gambar 5. Kurva Linear Isoterm Langmuir untuk Adsorpsi Cd(II) Menggunakan Adsorben Lumpur Aktif



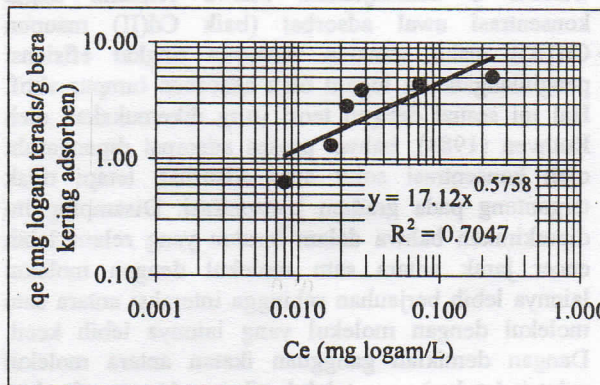
Gambar 6. Kurva Linear Isoterm Langmuir untuk Adsorpsi Cr(III) Menggunakan Adsorben Lumpur Aktif

Pengaluran data  $\log q_e$  terhadap  $\log C_e$  untuk adsorpsi logam Cd(II) menggunakan lumpur aktif (Gambar 7) menunjukkan bahwa proses adsorpsi tersebut juga mengikuti model isoterm Freundlich. Hal ini ditandai dengan harga koefisien korelasi yang cukup tinggi ( $R^2 = 0,9546$ ). Hasil lain (Gambar 8) menunjukkan model isoterm Freundlich kurang memberikan hasil yang memuaskan untuk adsorpsi logam Cr(III). Ini ditandai dengan harga koefisien korelasi yang rendah ( $R^2 = 0,7047$ ).

Dengan demikian dari hasil di atas secara umum persamaan isoterm yang sesuai untuk adsorpsi Cd(II) dan Cr(III) menggunakan lumpur aktif adalah model persamaan isoterm Langmuir. Khusus untuk adsorpsi Cd(II), prosesnya juga mengikuti model isoterm Freundlich.



Gambar 7. Kurva Linear Isoterm Freundlich untuk Adsorpsi Cd(II) Menggunakan Adsorben Lumpur Aktif



Gambar 8. Kurva Linear Isoterm Freundlich untuk Adsorpsi Cr(III) Menggunakan Adsorben Lumpur Aktif

Dari kesesuaian isoterm ini juga terungkap bahwa peristiwa adsorpsi antara lumpur aktif dengan senyawa kadmium dan kromium merupakan adsorpsi kimia-fisika lapisan tunggal. Hal ini mengingat adsorpsi oleh mikroba (*biosorption*), lumpur aktif yang digunakan sebagai adsorben merupakan suatu kumpulan (*aggregates*) mikroba dalam sistem pengolahan air limbah, merupakan reaksi kompleks kimia-fisik yang tidak langsung antara logam terlarut dengan muatan komponen sel, erat kaitannya dengan pertukaran ion. Pada beberapa studi ditemukan bahwa akumulasi logam terjadi pada permukaan sel atau dalam matriks dinding sel. Akumulasi di permukaan merupakan hasil reaksi kompleks antara ion logam dan muatan komponen dinding sel. Beveridge dan Koval (1981) menyimpulkan bahwa gugus karboksil pada peptidoglikan, gugus polar pada fosfolipid,



gugus anionik dalam lipopolisakarida, dan gugus asam polipeptida merupakan beberapa muatan komponen penyusun dinding sel.

**Kapasitas Adsorpsi**

Konstanta-konstanta isotermal yang diperoleh dari persamaan isoterm Langmuir yang menjadi parameter kapasitas adsorpsi adalah  $q_m$  dan  $b$ . Parameter  $q_m$  merupakan konstanta atau tetapan yang menunjukkan massa solut teradsorpsi pada saat massa adsorben jenuh (menunjukkan adsorpsi satu lapis, *monolayer*) dengan satuan mg/g atau dengan kata lain kapasitas adsorpsi maksimum suatu adsorben. Sedangkan  $b$  adalah konstanta yang menunjukkan energi ikatan antara solut dan adsorben (l/mg). Harga  $q_m$  dan  $b$  diperoleh dari gradien dan *intercept* pengaluran data antara  $C_e/q_e$  vs  $C_e$ .

Tabel 1. Konstanta Isotermal Langmuir dan Freundlich Lumpur Aktif

Logam	Freundlich Isotherm			Langmuir Isotherm		
	$k_f$	N	$R^2$	$q_m$ (mg/g)	$b$ (L/mg)	$R^2$
Cd <sup>2+</sup>	3,025	1,3808	0,9546	6,25	1,06	0,8957
Cr <sup>3+</sup>	17,12	1,7367	0,7047	6,13	23,99	0,9422

Dari hasil penelitian (dapat dilihat pada Tabel 1) diperoleh harga  $q_m$  untuk adsorpsi Cd(II) menggunakan lumpur aktif adalah 6,25 mg/g. Hal ini berarti 1 gram (berat kering) lumpur aktif mampu mengadsorpsi logam Cd(II) sebanyak 6,25 mg.

Tabel 2. Kapasitas Adsorpsi Maksimum ( $q_m$ ) Cd(II) dan Cr(III) Beberapa Material

Logam	$q_m$ (mg/g)	Adsorben	Referensi
Cd (II)	7,83	Karbon aktif	Pooi, L. Y (1999)
Cd (II)	900	SPE	Y. Liu dkk (2001)
Cd (II)	121	Alga	Yu dkk (1999)
Cd (II)	22	Peat	Wase dkk (1997)
Cd (II)	146	Resin	Liu dan Tang (1999)
Cd (II)	6,25	Lumpur aktif	Hasil penelitian ini
Cr (III)	878	SPE	Y. Liu dkk (2001)
Cr (III)	33	Sekam padi	Wase dkk (1997)
Cr (III)	31	Resin	Liu dan Tang (1999)
Cr (III)	1,75	Karbon aktif	Pooi, L. Y (1999)
Cr(III)	6,13	Lumpur aktif	Hasil penelitian ini

Sementara itu dari literatur, harga  $q_m$  untuk adsorpsi Cd(II) pada beberapa material lain seperti alga, *peat*, resin, karbon aktif, dan SPE (senyawa polimer ekstraseluler) dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum adsorben lumpur aktif jauh lebih kecil dibandingkan dengan alga, *peat*, resin dan SPE. Harga  $q_m$  untuk adsorpsi Cd(II) seperti yang telah dilaporkan

oleh Pooi, L. Y (1999) adalah 7,83 mg/g untuk karbon aktif. Hal ini berarti adsorben lumpur aktif memiliki kapasitas adsorpsi maksimum yang tidak jauh berbeda.

Dari hasil penelitian (dapat dilihat pada Tabel 1) diperoleh harga  $q_m$  untuk adsorpsi Cr(III) menggunakan lumpur aktif adalah 6,13 mg/g. Hal ini berarti 1 gram (berat kering) lumpur aktif mampu mengadsorpsi logam Cr(III) sebanyak 6,13 mg. Sementara itu dari literatur, harga  $q_m$  untuk adsorpsi Cr(III) pada beberapa material lain seperti sekam padi, resin, karbon aktif, dan SPE (senyawa polimer ekstraseluler) dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum adsorben lumpur aktif jauh lebih kecil dibandingkan dengan sekam padi, resin, dan SPE. Namun, berbeda dengan adsorbat Cd(II), lumpur aktif merupakan adsorben yang lebih baik dibandingkan dengan adsorben karbon aktif jika adsorbat yang terdapat dalam larutan adalah Cr(III). Hal ini ditunjukkan dari nilai  $q_m$  yang dimiliki adsorben lumpur aktif lebih besar yaitu 6,13 mg/g dibandingkan nilai  $q_m$  yang dimiliki adsorben karbon aktif yaitu 1,75.

Melihat kapasitas adsorpsi dan kisaran yang optimal dari kinerja adsorpsi lumpur aktif terhadap logam Cd(II) dan Cr(III), maka lumpur aktif ini kemungkinan dapat digunakan sebagai adsorben untuk penghilangan logam berat Cd(II) dan Cr(III) yang terdapat pada limbah industri. Walaupun kapasitas adsorpsi lumpur aktif lebih kecil daripada adsorben-adsorben yang telah disebutkan tadi, khususnya dengan adsorben seperti SPE, resin, alga, dan karbon aktif, akan tetapi kemungkinan dari segi ekonomis dan kompleksitas pembuatan adsorbennya lebih menguntungkan. Seperti misalnya pembuatan SPE yang membutuhkan metode ekstraksi dan filtrasi membran pada lumpur aktif atau biofilm sehingga mengakibatkan perlunya biaya dan menambah kompleksitas dari proses pembuatan adsorbennya. Hal itu juga berlaku bagi dua adsorben sintetik yaitu resin dan karbon aktif yang berharga cukup mahal. Sedangkan lumpur aktif tidak memerlukan proses-proses yang spesifik dalam proses persiapannya sebagai adsorben.

Sedangkan konstanta-konstanta isotermal yang diperoleh dari persamaan isoterm Freundlich yang menjadi parameter kapasitas adsorpsi adalah  $K_f$  dan  $n$ . Harga  $K_f$  dan  $n$  ditentukan dari gradien dan *intercept* pengaluran data antara  $\log q_e$  vs  $\log C_e$ . Seperti yang terlihat pada Tabel 1, harga  $K_f$  dan  $n$  untuk adsorpsi Cd(II) oleh lumpur aktif adalah masing-masing 3,025 dan 1,3808. Sedangkan untuk adsorpsi Cr(III) oleh lumpur aktif, harga  $K_f$  dan  $n$  adalah masing-masing 17,12 dan 1,7367.

Kedua harga  $K_f$  dan  $1/n$  ini penting dalam memilih suatu adsorben sebagai media pemisah, dimana  $K_f$  adalah kapasitas adsorpsi menyeluruh dan



1/n merupakan faktor heterogenitas yang menunjukkan kekuatan energi ikatan antara partikel solut (adsorbat) dan adsorben. Dalam proses adsorpsi, semakin besar harga n dan  $K_f$  semakin layak pemakaian adsorben tersebut secara ekonomi.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan uraian pembahasan dapat disimpulkan :

- 1) Dari tiga tipe lumpur yang digunakan, yaitu *cake*, *slurry*, dan *powder*, penggunaan lumpur aktif tipe *cake* memberikan tingkat jumlah logam teradsorpsi paling tinggi (kapasitas adsorpsi yang paling tinggi). Bila diurut secara cermat urutan kapasitas adsorpsi tersebut adalah: *cake* > *slurry* > *powder*.
- 2) Untuk setiap tipe lumpur aktif yang digunakan sebagai adsorben, kenaikan massa lumpur mengakibatkan jumlah logam teradsorpsi meningkat.
- 3) Waktu kesetimbangan adsorpsi logam Cd(II) dan Cr(III) dengan menggunakan lumpur aktif relatif sama yaitu 24 jam.
- 4) Persentase efisiensi penghilangan logam berat Cd(II) dengan menggunakan lumpur aktif tipe *cake* untuk rentang konsentrasi 0,97-11,85 mg/l ada pada rentang yang cukup tinggi yaitu 88,44-95,38%. Demikian juga sama halnya dengan persentase efisiensi penghilangan logam berat Cr(III) untuk rentang konsentrasi 1,66-13,68 mg/l memberikan angka yang tinggi yaitu 98,26-99,73%. Hal ini menunjukkan bahwa lumpur aktif tipe *cake* ini efektif untuk mengadsorpsi logam Cd(II) dan logam Cr(III) pada konsentrasi yang rendah.
- 5) Nilai pH optimum untuk adsorpsi logam Cd(II) dan Cr(III) oleh lumpur aktif terjadi pada pH antara 6,0 dan 8,0.
- 6) Persamaan isoterm yang sesuai untuk adsorpsi Cd(II) dan Cr(III) menggunakan lumpur aktif adalah model isoterm Langmuir, dengan demikian merupakan adsorpsi satu lapis. Khusus untuk adsorpsi Cd(II), prosesnya juga mengikuti model isoterm Freundlich.
- 7) Kapasitas adsorpsi maksimum ( $q_m$ ) untuk Cd(II) menggunakan lumpur aktif adalah 6,25 mg/g adsorben, sedangkan untuk Cr(III) adalah 6,13 mg/g adsorben. Tetapan Langmuir, b, untuk logam Cd(II) adalah 1,06 l/mg dan untuk Cr(III) adalah 23,99 l/mg.

### Daftar Pustaka

Beveridge, T.J. dan Koval, S.F., (1981), "Binding of metals to cell envelopes of *Escherichia coli* K-12", *Application Environmental Microbiology*, 42, hal. 325-335.

- Butter, T.J., Evison, L.M., Hancock, I.C., Holland, F.S., Matis, K.A., Philipson, A., Sheikh A.I., dan Zouboulis, A.I., (1998), "The Removal and Recovery of Cadmium from Dilute Aqueous Solutions by Biosorption and Electrolysis at Laboratory Scale", *Water Research*, 32(2), hal. 400-406.
- Chang, J.S., Law, R., dan Chang, C.C., (1997), "Biosorption of Lead, Copper and Cadmium by Biomass of *Pseudomonas aeruginosa* PU21", *Water Research*, 31(7), hal. 1651-1658.
- Chu, K.H., Hashim, M.A., Phang, S.M., dan Samuel V.B., (1997), "Biosorption of Cadmium by Algal Biomass: Adsorption and Desorption Characteristics", *Water Science and Technology*, 35(7), hal. 115-122.
- Flemming, H.C., (1995), "Sorption sites in biofilms", *Water Science and Technology*, 32(8), hal. 27-34.
- Flemming, H.C., Wingender, J., Mayer, C., Köstgens, V., dan Borchard, W., (2000), "Cohesiveness in Biofilm Matrix Polymers", in Lappin-Scott, H.M., Gilbert, P., Wilson, M., dan Allison, D. (Ed.), *Community Structure and Co-operation in Biofilms*, SGM Symposium 59, Cambridge University Press, hal. 87-105
- Liu, R. dan Tang, H., (1999), "Removal of Heavy Metal from Solution", *Proc. Of Urban Pollut. Control Tech.*, Hongkong, Oktober 13-16, hal. 203-207.
- Liu, Y., Lam, M.C., dan Fang, H.H.P., (2001), "Adsorption of Heavy Metals by EPS of Activated Sludge", *Water Science and Technology*, 43(6), hal. 59-66.
- Ning, T.H., (1999), "Removal of Copper by Marine Algal Biomass Immobilised in Polyvinyl Alcohol Beads", *A Dissertation Submitted for the Degree of Master of Philosophy of Institute of Postgraduate Studies and Research*, University of Malaya, Malaysia.
- Pooi, L.Y., (1999), "Adsorption of Chromium (III) and Cadmium (II) on Activated Carbon", *A Dissertation Submitted for the Degree of Master of Philosophy of Institute of Postgraduate Studies and Research*, University of Malaya, Malaysia.
- Sutherland, I.W., (1984), "Microbial Exopolysaccharides - Their Role in Microbial Adhesion in Aqueous Systems", *CRC Critical Review Microbiology*, 10, hal. 173 - 201.
- Suzuki, M., (1997), "Role of adsorption in water environment processes", *Water Science and Technology*, 35(7), hal. 1-11.
- Wase, D.A.J., Forster, C.F., dan Ho, Y.S., (1993), "Low-cost Biosorbent Batch Processes", in Wase, J. dan Forster (Ed.), *Biosorbents for Metal Ions*. Taylor & Francis, Great Britain, hal. 141-163.
- Yu, Q., Matheickal, J.T., Yin, P., dan Kaewasarn, P., (1999), "Heavy Metal Uptake Capacities of Common Marine Macro Algal Biomass", *Water Research*, 33(6), hal. 1534-1537.