

## PENYISIHAN LOGAM BERAT DARI LIMBAH CAIR LABORATORIUM DENGAN METODE PRESIPITASI DAN ADSORPSI

Suprihatin<sup>\*)</sup> dan Nastiti Siswi Indrasti

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian,  
Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: [suprihatin@indo.net.id](mailto:suprihatin@indo.net.id)

---

### Abstrak

Limbah cair laboratorium (misalnya sisa analisis parameter *chemical oxygen demand*/COD) mengandung logam berat terlarut (merkuri (Hg), perak (Ag), dan krom (Cr)) dalam konsentrasi tinggi dan berpotensi mencemari lingkungan. Limbah cair laboratorium umumnya dihasilkan dalam jumlah relatif sedikit tetapi limbah ini bersifat sangat toksik. Untuk mencegah timbulnya masalah akibat limbah tersebut diperlukan suatu metode pengolahan yang sesuai dengan karakteristik limbah tersebut. Dalam penelitian ini metode presipitasi dan adsorpsi diteliti untuk penyisihan logam Hg, Ag, dan Cr terlarut untuk menentukan kondisi optimum proses, tingkat penyisihan dan kualitas hasil pengolahan yang dapat dicapai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat penyisihan Cr sekitar 97% dapat dicapai pada pH 10, dan tingkat penyisihan Hg dan Ag 97-99% pada pH 12. Meskipun presipitasi dapat menurunkan konsentrasi logam berat terlarut cukup signifikan, tetapi konsentrasi logam Hg, Ag, dan Cr terlarut dalam filtrat presipitasi masih relatif tinggi (0,73-2,62 mg/L) dan membutuhkan penanganan lebih lanjut. Metode adsorpsi dengan karbon aktif untuk mengolah lebih lanjut filtrat dapat menurunkan konsentrasi logam berat terlarut tersebut hingga sekitar 0-0,05 mg/L, tergantung pada jenis logam serta jenis dan dosis arang aktif.

### Abstract

**Removal of Heavy Metals from Liquid Laboratory Waste Using Precipitation and Adsorption Methods.** Liquid laboratory waste (such as residue of chemical oxygen demand/COD analysis) contains high concentration of heavy metals (mercury/Hg, silver/Ag and chrome/Cr) and has a high potential to pollute the environment. The liquid waste generated by laboratories is generally in small quantity, but it is extremely toxic. It is urgently in need to find out an appropriate method to reduce the problems according to the liquid waste characteristics. In this research work, precipitation and adsorption methods were evaluated to remove Hg, Ag, and Cr from liquid laboratory waste, covering determination of optimum process conditions, levels of removal and achievable treated waste quality. Results showed that a Cr removal of 97% was obtained by pH 10, and Hg and Ag removals of 97-99% were reached by pH 12. Although heavy metals removals using precipitation was very significant, but the concentration of heavy metals in the treated waste was still high (0.73-2.62 mg/L) and need for further treatment. Applying activated carbon adsorption for further treatment of the effluent reduced dissolved heavy metals to 0-0.05 mg/L, depending on the type of heavy metals as well as the type and dosing of activated carbon.

*Keywords: activated carbon adsorption, heavy metals removal, liquid laboratory waste, precipitation*

---

### 1. Pendahuluan

Salah satu jenis polutan yang banyak mendapat perhatian dalam pengelolaan lingkungan adalah logam berat. Pembuangan limbah terkontaminasi oleh logam berat ke dalam sumber air bersih (air tanah atau air permukaan) menjadi masalah utama pencemaran karena sifat toksik dan takterdegradasi secara biologis (*non-*

*biodegradable*) logam berat. Jenis logam berat yang tergolong memiliki tingkat toksisitas tinggi antara lain adalah Hg, Cd, Cu, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, Zn, dan Mn [1-3].

Salah satu sumber polutan logam berat adalah limbah cair laboratorium, misalnya limbah cair dari residu analisis parameter *chemical oxygen demand* (COD).

Limbah cair ini memiliki nilai pH ekstrem rendah (~1,4) dan kadar logam berat terlarut sangat tinggi (konsentrasi Hg: 77,6-392 mg/L). Limbah cair ini hingga saat ini belum mendapat perhatian yang memadai. Dari sisi jumlah, limbah cair yang dihasilkan oleh suatu laboratorium umumnya memang relatif sedikit, akan tetapi limbah cair ini tercemar berat oleh berbagai jenis bahan kimia toksik. Secara kolektif dan dalam kurun waktu yang lama dapat berdampak nyata pada lingkungan apabila tidak dikelola secara memadai.

Karena sifatnya, limbah laboratorium tergolong dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun/B3 [4-5] dan memerlukan penanganan secara khusus. Akan tetapi, dalam prakteknya limbah cair laboratorium hingga saat ini belum dikelola sesuai dengan persyaratan yang berlaku. Limbah cair laboratorium sering dibuang langsung ke saluran drainase tanpa pengolahan yang memadai. Dengan anggapan bahwa praktek pembuangan limbah cair laboratorium tersebut terjadi di institusi pendidikan, penelitian dan pengembangan baik instansi pemerintah maupun swasta, maka kegiatan akademik dan penelitian semacam ini sangat berpotensi mencemari lingkungan mengingat kegiatan laboratorium umum berlangsung secara rutin dalam kurun waktu yang sangat lama.

Praktek pembuangan limbah cair laboratorium ke lingkungan tanpa pengolahan yang memadai disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain belum adanya teknik pengolahan yang efektif dengan biaya terjangkau. Beberapa laboratorium telah menerapkan praktek pengelolaan dengan cara memisahkan dan mengumpulkan limbah cair berbahaya dan beracun terpisah dari limbah cair yang tidak berbahaya. Akan tetapi, setelah terkumpul dalam jumlah banyak, masalah sering muncul berkaitan dengan cara pengolahan/pembuangan limbah tersebut. Alternatif untuk mengirim limbah tersebut ke tempat pengolahan limbah B3 milik pihak ketiga sering menghadapi masalah prosedur dan biaya.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan metode sederhana yang efektif untuk menyisahkan logam berat terlarut (Hg, Ag, dan Cr) dari limbah cair laboratorium dengan metode kombinasi presipitasi dan adsorpsi dengan karbon aktif, mencakup kondisi proses, tingkat penyisihan dan kualitas hasil olahan yang dapat dicapai. Meskipun teknik penyisihan logam berat dengan metode presipitasi dan adsorpsi telah banyak dikenal, tetapi informasi dari penelitian ini dapat bermanfaat dalam pengelolaan limbah cair laboratorium.

## 2. Metode Penelitian

Bahan untuk penelitian terdiri atas limbah cair laboratorium, karbon aktif, larutan basa (NaOH), larutan asam ( $H_2SO_4$ ), dan bahan kimia untuk analisis. Karbon aktif yang digunakan untuk penelitian adalah karbon

aktif teknis bentuk granular dan bubuk (*powder*). Limbah cair laboratorium yang digunakan untuk penelitian adalah limbah cair sisa analisis parameter COD. Akibat dari penggunaan berbagai bahan kimia dalam analisis tersebut, sisa analisis COD bersifat sangat asam dan mengandung logam berat Hg, Ag, dan Cr dalam konsentrasi tinggi. Karakteristik penting limbah cair tersebut disajikan dalam Tabel 1. Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah jar test, *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dan peralatan laboratorium untuk analisis parameter karakteristik limbah cair.

Pengolahan limbah cair yang diteliti pada prinsipnya terdiri atas dua tahap, yaitu tahap presipitasi dan adsorpsi karbon aktif pada skala laboratorium. Pada tahap presipitasi, faktor pH diteliti pada 6 taraf antara 2 hingga 12, dan pada tahap adsorpsi diteliti dua jenis adsorben (karbon aktif granular dan bubuk) dan 9 taraf dosis arang aktif antara 0 sampai 160 g/L. Parameter yang diamati difokuskan pada perubahan konsentrasi logam Hg, Ag, dan Cr terlarut, serta konsentrasi logam tersebut dalam hasil olahan. Analisis konsentrasi logam dilakukan dengan AAS sesuai dengan metode *American Public Health Association* (APHA) [6] di laboratorium yang terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN).

**Pengaturan pH.** Pada tahap awal penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui pola perubahan pH akibat penambahan sejumlah tertentu basa atau asam. Dengan diketahuinya pola perubahan tersebut, maka dapat diketahui jumlah asam atau basa yang diperlukan untuk membuat larutan memiliki nilai pH tertentu. Untuk meningkatkan pH ditambahkan natrium hidroksida (NaOH) 50% (w/v) dan untuk menurunkan pH digunakan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) 1 N.

**Presipitasi.** Presipitasi dilakukan dengan menambahkan NaOH untuk menyisahkan logam berat terlarut. Dalam konteks ini diinginkan sebanyak mungkin terbentuk padatan logam hidroksida sehingga dapat dipisahkan dari cairan secara fisik, misalnya dengan sedimentasi.

**Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Laboratorium yang Digunakan untuk Penelitian**

Parameter	Satuan	Nilai	Metode Analisis
pH	---	1,3-1,4	APHA 20th ed. 4500+H, 1998 [6]
COD	mg/L	320-360	APHA 20th ed. 5220 C, 1998 [6]
Hg	mg/L	77,6-391,6	APHA 20th ed. 3111B, 1998 [6]
Ag	mg/L	2,6-9,1	APHA 20th ed. 3500 Cr B, 1998 [6]
Cr	mg/L	11,3-21,9	APHA 20th ed. 3111 B, 1998 [6]

Percobaan presipitasi dilakukan dengan penambahan NaOH, yaitu dengan penambahan sejumlah larutan NaOH 50% (w/v) ke dalam 300 mL contoh limbah cair sambil diaduk hingga diperoleh nilai pH 2, 4, 6, 8, 10, atau 12. Pengaruh peningkatan pH terhadap penurunan konsentrasi logam berat (Hg, Ag dan Cr) dihitung dengan menggunakan Pers. (1) dan Pers. (2):

$$\Delta c = c - c_0 \quad (1)$$

$$\eta = \frac{c_0 - c}{c_0} \times 100\% \quad (2)$$

dengan  $\Delta c$  reduksi konsentrasi (mg/L),  $\eta$  persentase reduksi (%),  $c_0$  konsentrasi awal (mg/L), dan  $c$  konsentrasi hasil pengolahan (mg/L).

**Adsorpsi.** Penelitian adsorpsi dilakukan dengan menggunakan karbon aktif teknis bentuk granular dan bubuk secara curah (*batch*). Sejumlah tertentu karbon aktif dicampurkan ke dalam 100 mL limbah cair dalam erlenmeyer 250 mL sehingga diperoleh 9 taraf dosis karbon aktif antara 0 hingga 160 g/L. Penelitian adsorpsi dilakukan dengan menggunakan contoh filtrat hasil presipitasi pada suhu 32-33 °C dan pH 10. Untuk menjamin adsorpsi telah mencapai kesetimbangan, adsorpsi dilakukan dalam kurun waktu yang berlebih, yaitu selama 12 jam [7]. Selama proses adsorpsi dilakukan pengadukan (pengocokan) dengan shaker. Setelah itu, contoh limbah cair difiltrasi untuk memisahkan partikel karbon aktif, dan selanjutnya konsentrasi logam dalam filtrat dianalisis menggunakan AAS sesuai metode APHA [6] untuk menentukan konsentrasi logam berat Hg, Ag, dan Cr.

Penyisihan logam berat dengan adsorpsi selanjutnya dievaluasi dengan bantuan model adsorpsi isotherm Freundlich (ATV [7]; Tumin *et al.* [1], Esmaili *et al.* [8]). Model Freundlich merupakan model empirik yang menyatakan hubungan antara massa adsorben yang ditambahkan ( $M$ ), massa adsorbat yang teradsorpsi ( $X$ ) dan konsentrasi sisa adsorbat pada kondisi kesetimbangan ( $c$ ):

$$\frac{X}{M} = k \cdot c^{1/n} \quad (3)$$

dengan  $k$  dan  $n$  merupakan konstanta untuk kombinasi jenis adsorben-adsorbat. Nilai  $k$  dan  $n$  berkaitan dengan kapasitas dan intensitas adsorpsi. Pers. (3) di atas dapat dinyatakan dalam bentuk logaritmik:

$$\log \frac{X}{M} = \log k + n \cdot \log c \quad (4)$$

dengan  $X/M$  adalah massa teradsorpsi per unit massa adsorben (mg adsorbat/g adsorben) dan  $c$  menunjukkan konsentrasi adsorbat cairan dalam kondisi

kesetimbangan (mg/L). Penyajian data hasil penelitian dalam bentuk grafik hubungan antara  $\log (X/M)$  vs  $\log c$  akan diperoleh garis lurus dan dari persamaan garis tersebut dapat ditentukan nilai konstanta  $k$  dan  $n$ .

Limbah cair laboratorium mengandung berbagai jenis logam berat terlarut dan masing-masing logam tersebut saling berkompetisi untuk meraih tempat pada adsorben. Masing-masing logam memiliki perilaku adsorpsi berbeda pada suatu jenis adsorben. Dalam kasus sistem multikomponen, sering digunakan parameter agregat untuk mendeskripsikan perilaku adsorpsi [7]. Dalam penelitian ini, penerapan model isotherm Freundlich kuantitas logam yang teradsorpsi ( $X$ ) menggunakan penjumlahan reduksi konsentrasi logam Hg, Ag, dan Cr terlarut dalam limbah cair.

### 3. Hasil dan Pembahasan

**Pengaturan pH.** Nilai pH digunakan untuk mendeskripsikan sifat keasaman limbah cair, yaitu untuk mendeskripsi konsentrasi ion  $H^+$  dalam limbah cair:  $pH = -\log [H^+]$ . Limbah cair yang bersifat sangat asam atau sangat basa akan merusak properti (bersifat korosif) dan mengganggu organisme. Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, limbah cair dari laboratorium yang diteliti memiliki pH 1,3-1,4 dan berpotensi merusak lingkungan. Oleh karena itu limbah tersebut harus dinetralkan sebelum dibuang ke lingkungan. Baku mutu buangan cair untuk parameter pH adalah 6,5-9,0 [9].

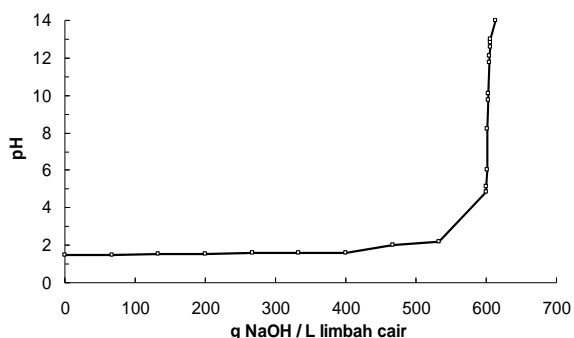
Untuk meningkatkan pH dapat digunakan berbagai jenis basa. Namun karena nilai pH limbah cair laboratorium sangat rendah, penggunaan kapur untuk peningkatan pH tidak sesuai untuk kasus ini. Hal penting yang perlu diketahui adalah pola perubahan pH tidak linier dengan jumlah penambahan basa sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Untuk menaikkan pH sejumlah 1 L limbah cair dari pH 1,4 menjadi 6-14 diperlukan sekitar 600 g NaOH. Sebaliknya, untuk menurunkan kembali limbah cair tersebut dari pH 14 menjadi pH 7 diperlukan sekitar 40 mL  $H_2SO_4$  1 N (Gambar 2). Dengan bantuan Gambar 1 dan 2, jumlah larutan basa atau asam untuk keperluan praktis pengaturan pH dapat diketahui dengan mudah.

Perlu mendapat penekanan disini bahwa limbah cair laboratorium menunjukkan karakteristik bufer tinggi terhadap perubahan pH. Penambahan NaOH hingga sekitar 600 g/L hampir tidak mengubah nilai pH limbah cair (Gambar 1). Hal ini terjadi karena limbah cair laboratorium mengandung kombinasi berbagai macam garam dan asam dari bahan kimia yang ditambahkan dalam analisis COD [6], yaitu kalium bikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ), asam sulfat pekat ( $H_2SO_4$ ), raksa sulfat ( $HgSO_4$ ), perak sulfat ( $Ag_2SO_4$ ), ferosulfat ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ), dan fero ammonium sulfat ( $Fe(NH_4)_2(SO_4) \cdot 6H_2O$ ). Garam dan asam ini dalam limbah cair tersebut

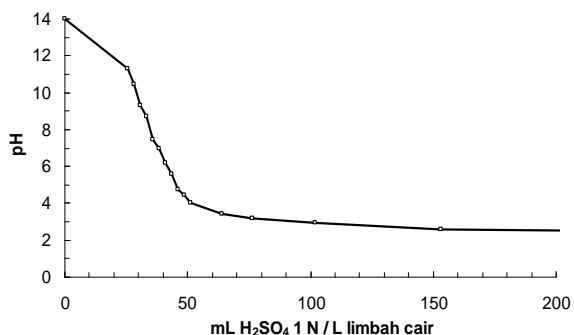
terdisosiasi menjadi ion-ion penyusunnya, dan membentuk resistensi terhadap perubahan pH akibat penambahan NaOH. Baru setelah melebihi kapasitas bufer, penambahan NaOH dalam jumlah relatif sedikit dapat meningkatkan pH limbah cair secara signifikan.

Sebagai hasil dari presipitasi logam berat terlarut adalah dihasilkannya residu berupa endapan. Endapan ini banyak mengandung logam berat dan memerlukan penanganan lebih lanjut. Namun, dengan presipitasi volume limbah cair dapat direduksi dan residu (limbah padat/semipadat) dapat ditangani dengan cara relatif sederhana, misalnya dengan pengeringan dan solidifikasi (pencampuran dengan semen).

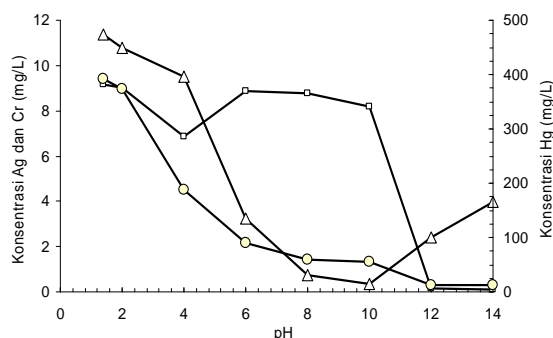
**Presipitasi.** Kelarutan berbagai jenis logam sangat ditentukan oleh pH larutan. Kecuali logam perak, pola umum kelarutan logam menurun dengan meningkatkan pH larutan dan setelah mencapai tingkat kelarutan minimum kemudian meningkat lagi dengan meningkatnya pH [10]. Karakteristik ini digunakan sebagai dasar penyisihan logam terlarut dalam limbah cair, yaitu dengan cara pengaturan pH limbah cair sehingga logam-logam membentuk fase padatan atau endapan yang relatif lebih mudah dipisahkan secara fisik misalnya dengan cara sedimentasi.



Gambar 1. Pola Perubahan pH Akibat Penambahan Basa (Natrium hidroksida)



Gambar 2. Pola Perubahan pH Akibat Penambahan Asam (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N)

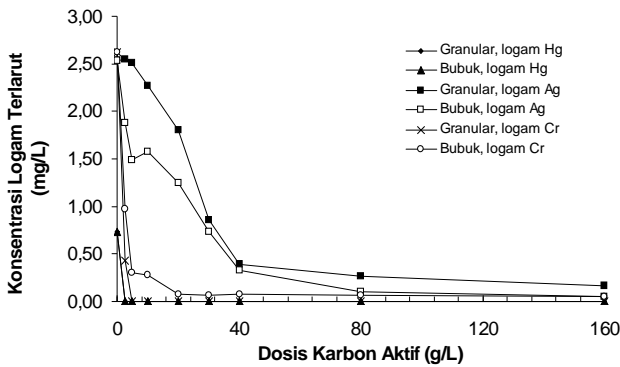


Gambar 3. Konsentrasi Logam Hg (○), Ag (◻) dan Cr (Δ) pada berbagai pH

Gambar 3 menunjukkan pengaruh pH pada kelarutan logam Hg, Ag, dan Cr. Secara umum, kelarutan logam tersebut menurun dengan meningkatnya pH larutan, kecuali logam Cr. Tingkat penyisihan dan konsentrasi minimum logam terlarut tergantung pada jenis logam dan pH cairan. Tingkat penyisihan tertinggi logam Cr (97%) dicapai pada pH 10, dan selanjutnya kelarutan logam Cr meningkat kembali dengan peningkatan pH. Tingkat penyisihan tertinggi untuk logam Hg dan Ag (97-99%) baru dicapai pada pH 12. Penurunan konsentrasi Ag secara nyata baru teramati pada pH lebih dari 12.

**Adsorpsi.** Meskipun presipitasi dapat menurunkan konsentrasi logam cukup signifikan (hingga 99%), tetapi konsentrasi logam masih relatif tinggi. Penelitian Mamusing [11] menunjukkan penambahan koagulan (alum dan PAC) tidak dapat menurunkan kadar logam berat dalam filtrat hasil presipitasi. Salah satu alternatif untuk menurunkan lebih lanjut kadar logam adalah adsorpsi. Penelitian adsorpsi logam berat dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis adsorben, misalnya arang aktif [1,12], biosorben [2,3,13,14], zeolit [15], atau serat lignoselulosik [16]. Dalam penelitian ini dilakukan dengan karbon aktif komersial untuk mengolah lebih lanjut supernatan hasil presipitasi, dimana kandungan logam Hg, Ag, dan Cr masih cukup tinggi (0,73-2,62 mg/L).

Gambar 4 menunjukkan pengaruh dosis karbon aktif terhadap reduksi konsentrasi logam untuk jenis karbon aktif granular dan bubuk. Semakin tinggi dosis karbon aktif menyebabkan semakin tinggi tingkat penyisihan logam terlarut. Hal ini terjadi karena semakin banyak karbon aktif yang ditambahkan semakin luas permukaan karbon aktif yang berperan dalam mengadsorpsi logam terlarut. Secara umum, dapat dikatakan bahwa adsorpsi dapat digunakan untuk menurunkan lebih lanjut kadar logam Hg, Ag, dan Cr dalam filtrat hasil presipitasi. Tingkat efisiensi penurunan konsentrasi dan konsentrasi minimum yang dapat dicapai tergantung pada jenis logam dan dosis karbon aktif. Pada dosis karbon aktif



Gambar 4. Pengaruh Dosis Karbon Aktif pada Penurunan Kadar Logam

tinggi, tidak teramati adanya perbedaan nyata kemampuan reduksi logam berat oleh kedua jenis karbon aktif. Terutama pada dosis karbon aktif rendah (< 30 g/L), misalnya untuk kasus Ag, karbon aktif bubuk menunjukkan kemampuan lebih tinggi dalam mereduksi logam terlarut. Perbedaan jenis karbon aktif ini berimplikasi pada perbedaan luas permukaan aktif karbon aktif, yang mana keduanya mempengaruhi laju difusi logam berat terlarut ke dalam pusat karbon aktif (ATV [7]). Untuk dosis karbon aktif relatif tinggi (> 30 g/L) dan lama waktu adsorpsi tinggi (> 12 jam), dimana kesetimbangan telah tercapai, perbedaan laju difusi atau laju penurunan konsentrasi logam terlarut tersebut tidak teramati pada logam Hg dan Cr. Dalam kasus ini, jumlah logam teradsorpsi secara kuantitas sama untuk kedua jenis karbon aktif yang diteliti. Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi dengan karbon aktif dapat menurunkan konsentrasi logam berat hingga 0-0,05 mg/L.

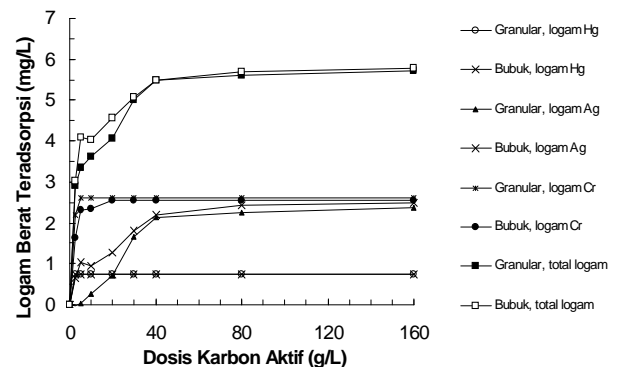
Dosis karbon aktif menentukan kuantitas logam yang teradsorpsi. Semakin banyak karbon aktif yang ditambahkan per satuan volume limbah cair akan meningkatkan massa logam berat terlarut yang teradsorpsi, akan tetapi massa logam yang teradsorpsi per satuan berat karbon aktif menurun. Gambar 5 dan 6 menunjukkan perilaku adsorpsi logam berat terlarut dalam limbah cair laboratorium. Dari gambar tersebut terlihat bahwa teramati adanya kompetisi antar jenis logam dalam berdifusi menuju ke dalam pori-pori karbon aktif. Logam Hg dan Cr menunjukkan sifat lebih mudah teradsorpsi dibandingkan dengan logam Ag. Pada dosis karbon aktif yang sama, lebih banyak logam Hg dan Cr yang teradsorpsi dibandingkan dengan logam Ag. Hal ini terkait dengan karakteristik hubungan antara logam-logam tersebut dengan karbon aktif. Fenomena adsorpsi suatu jenis logam dipengaruhi oleh keberadaan jenis logam lain juga telah dilaporkan di literatur. Kapoor *et al.* [2] melaporkan biosorpsi Pb, Cd dan Cu oleh biomassa *Aspergillus niger* menunjukkan urutan Pb > Cu > Cd, sedangkan Erdem *et al.* [15] adsorpsi oleh zeolit memperlihatkan urutan Co > Cu > Zn > Mn.

Hasil penelitian Kim [3] tentang efek inhibisi ion-ion logam (Pb, Cd, dan Cr) pada penyisihan logam dengan kulit kepiting menunjukkan bahwa Cr dan Pb dapat disisihkan dengan mudah apabila dalam sistem ion tunggal dan ion ini memiliki efek inhibisi pada penyisihan ion lainnya. Akan tetapi, Cd tidak dapat dengan mudah disisihkan dalam sistem ion logam campuran dan pengaruh lemah terhadap penghambatan penyisihan logam lainnya.

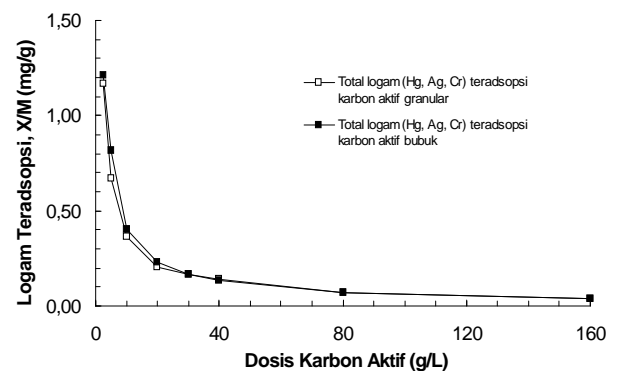
Penyajian data adsorpsi hasil penelitian dalam bentuk grafik hubungan antara log (X/M) vs log c sesuai dengan Pers. (3) dan Pers. (4) menghasilkan hubungan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7. Dari hasil tersebut diperoleh persamaan linear dan nilai konstanta k = 0,1365 dan n = 1,142 untuk karbon aktif granular, serta k = 0,1563 dan n = 1,028 untuk karbon aktif bubuk. Dengan nilai k dan n tersebut Pers. (3) dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{X}{M} = k.c^{1/n} = 0,1365.c^{0,876} \text{ karbon aktif granular} \quad (5)$$

$$\frac{X}{M} = k.c^{1/n} = 0,1563.c^{0,973} \text{ karbon aktif bubuk} \quad (6)$$



Gambar 5. Pengaruh Dosis Karbon pada Massa Logam Teradsorpsi



Gambar 6. Pengaruh Dosis Karbon Aktif pada Massa Logam yang Teradsorpsi per Satuan Bobot Karbon Aktif

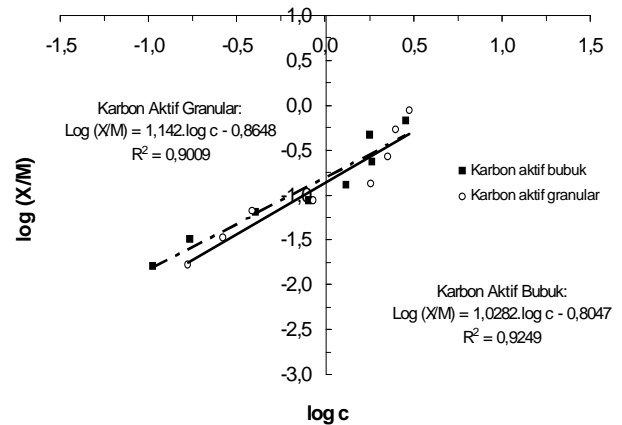
Model di atas dapat digunakan untuk mendapatkan secara cepat informasi tentang perilaku adsorpsi berbagai jenis bahan terlarut maupun berbagai jenis adsorben. Kebutuhan adsorben dapat diperkirakan untuk keperluan praktis. Sebagai ilustrasi, kebutuhan karbon aktif granular untuk menurunkan konsentrasi logam berat ( $c_0$ ) 6 mg/L menjadi konsentrasi ( $c$ ) 0,1 mg/L dapat diperkirakan dengan cara sebagai berikut. Sesuai dengan Pers. (5), untuk mencapai konsentrasi 0,1 mg/L diperoleh nilai adsorpsi logam berat ( $X/M$ ) 0,018 mg/g karbon aktif granular. Hal ini berarti bahwa untuk mengolah 1 L limbah cair diperlukan,  $X/(X/M)$ , sekitar 324 g karbon aktif granular.

Ilustrasi tersebut menunjukkan kebutuhan karbon aktif sangat ditentukan oleh kapasitas adsorpsi oleh adsorben. Untuk suatu jenis adsorbat tertentu, kapasitas adsorpsi pada kondisi kesetimbangan dipengaruhi karakteristik permukaan adsorben. Penelitian Khalkhali dan Omidvari [12] menunjukkan bahwa penjeratan ion merkuri dari cairan oleh karbon aktif dapat ditingkatkan dengan cara ‘pengkayaan’ (*impregnation*) karbon aktif dengan bahan kimia yang sesuai misalnya senyawa mengandung sulfur. Penelitian lain menunjukkan bahwa afinitas karbon aktif logam berat, misalnya  $Ni^{2+}$ , dapat ditingkatkan dengan modifikasi permukaan karbon aktif dengan cara oksidasi dengan hidrogen peroksida, ammonium persulfat dan asam nitrat [17].

Sebagaimana ditunjukkan pada Pers. (7) kebutuhan karbon aktif per satuan volume limbah cair ( $M$ ) sangat ditentukan oleh konsentrasi logam awal ( $c_0$ ) dan konsentrasi logam dalam limbah cair hasil pengolahan ( $c$ ) yang diharapkan. Semakin rendah konsentrasi logam dalam hasil olahan yang diharapkan dan semakin tinggi konsentrasi logam dalam limbah cair yang diolah, semakin tinggi jumlah karbon aktif yang diperlukan per satuan volume limbah cair. Minimisasi kebutuhan karbon aktif dapat dilakukan dengan cara praperlakukan limbah cair, misalnya dengan cara presipitasi.

$$\frac{X}{M} = k \cdot c^{1/n} = \frac{(c_0 - c)}{M} \rightarrow M = \frac{c_0 - c}{k \cdot c^{1/n}} \quad (7)$$

Dari uraian di atas dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa limbah cair laboratorium dapat diolah dengan metode presipitasi dan dilanjutkan dengan adsorpsi. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai alat yang sangat membantu dalam menentukan efektivitas dan kebutuhan biaya pengolahan limbah cair dari laobartotium. Optimasi lebih lanjut unit operasi adsorpsi dapat dilakukan, misalnya dengan mengevaluasi pengaruh parameter nilai pH, lama waktu kontak, dan temperatur. Untuk limbah cair yang dihasilkan secara kontinu dalam jumlah besar, kajian secara sinambung dapat dilakukan untuk optimasi proses.



Gambar 7. Isoterm Freundlich untuk Adsorpsi Campuran Logam Hg, Ag, dan Cr dengan Menggunakan Karbon Aktif Bentuk Granular dan Bubuk

Perlu dicatat bahwa metode presipitasi dan adsorpsi tidak menghilangkan logam berat, tetapi hanya mengubah logam berat terlarut menjadi bentuk padat. Sebagai akibat dari penyisihan logam berat terlarut dihasilkan residu berupa endapan logam hidroksida dan arang aktif bekas, yang keduanya mengandung logam berat dalam kadar tinggi. Residu ini bersifat toksik dan memerlukan penanganan secara khusus (misalnya dengan cara pengeringan dan solidifikasi). Meskipun demikian, paling tidak, presipitasi dan adsorpsi logam berat terlarut mengurangi persoalan pengelolaan limbah cair laboratorium, yang berimplikasi pada reduksi biaya pengelolaan karena jumlah limbah yang harus dikelola jauh lebih sedikit.

#### 4. Simpulan

Tingkat penyisihan Cr setinggi 97% dicapai pada pH 10, dan tingkat penyisihan Hg dan Ag antara 97-99% dapat dicapai pada pH 12. Adsorpsi menurunkan lebih lanjut kadar logam Hg, Ag dan Cr dalam filtrat hasil presipitasi. Tingkat efisiensi penurunan konsentrasi dan konsentrasi minimum yang dapat dicapai tergantung pada jenis logam dan dosis karbon aktif. Tergantung pada jenis logam serta jenis dan dosis arang aktif, adsorpsi dengan karbon aktif dapat menyisihkan logam Hg, Ag, dan Cr terlarut dari 0,73-2,62 mg/L hingga konsentrasi sekitar 0-0,05 mg/L. Logam Hg dan Cr relatif lebih mudah teradsorpsi dibandingkan dengan logam Ag. Dosis karbon aktif menentukan kuantitas logam yang teradsorpsi. Semakin banyak karbon aktif yang ditambahkan per satuan volume limbah cair akan meningkatkan massa logam berat terlarut yang teradsorpsi, akan tetapi massa logam yang teradsorpsi per satuan berat karbon aktif menurun. Hasil penelitian dapat dideskripsikan dengan model isotherm Freundlich.

Metode presipitasi dan adsorpsi dapat digunakan untuk mengolah limbah cair laboratorium (misalnya sisa analisis parameter COD) skala kecil di tingkat laboratorium penghasil limbah tersebut, sehingga pencemaran lingkungan akibat dari logam berat limbah cair laboratorium dapat dihindari. Optimasi lebih lanjut pada unit operasi adsorpsi dapat dilakukan, misalnya optimasi parameter nilai pH, lama waktu kontak, dan temperatur. Untuk limbah cair yang dihasilkan secara kontinu dalam jumlah besar dan perlu diolah secara kontinu, kajian secara sinambung perlu dilakukan untuk optimasi proses.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Sdr. Jamhari, STP. atas bantuannya dalam penyiapan sampel limbah cair dan persiapan pekerjaan laboratorium.

### Daftar Acuan

- [1] N.D. Tumin, A.L. Chuah, Z. Zawani, S.A. Rashid, *Journal of Engineering Science and Technology*, 3/2 (2008) 180.
- [2] A. Kapoor, T. Vararaghavan, D.R. Cullimore, *Bioresource Technology* 70 (1999) 95.
- [3] D.S. Kim, *Bioresource Technology* 87 (2003) 355 [<http://www.sciencedirect.com>].
- [4] Peraturan Pemerintah No. 18, tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, Jakarta, 1999.
- [5] Peraturan Pemerintah No. 85, tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, Jakarta, 1999.
- [6] APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20<sup>th</sup>, ed. American Public Health Association (APHA), Washington DC, 1998.
- [7] ATV, *Industrieabwasser, Grundlage*. 4. Auflage. Ernst & Sohn, Berlin, 1999 (in German).
- [8] A. Esmaceli, S. Ghasemi, A. Rustaiyan, *J. Agric. & Environ. Sci.* 3/6 (2008) 810.
- [9] Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51/MENLH/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Jakarta, 1995.
- [10] D.M. Ayres, A.P. Davis, P.M. Gietka, *Removing Heavy Metals from Wastewater*, Engineering Research Center Report. University of Maryland, [http://www.mtes.org/documents/pmg\\_metal\\_precip\\_man1.pdf](http://www.mtes.org/documents/pmg_metal_precip_man1.pdf), 1994.
- [11] E.A.L. Mamusung, Magister Thesis, Sekolah Pascasarana Institut Pertanian Bogor, 2009.
- [12] R.A. Khalkhali, R. Omidvari, *Polish Journal of Environmental Studies*, 14/2 (2005) 185.
- [13] W.C. Leung, M.F. Wong, H. Chua, W. Lo, P.H.F. Yu, C.K. Leung, *Water Science and Technology*, 41/12 (2000) 233.
- [14] B. Silva, H. Figueiredo, C. Quintelas, I.C. Neves, T. Tavares, *Materials Science Forum Vols. 587-588 (2008) 463*, <http://www.scientific.net>.
- [15] E. Erdem, N. Karapinar, R. Donat, *Journal of Colloid and Interface Science* 280 (2004) 309
- [16] B.G. Lee, R.M. Rowell, *Journal Natural Fibers* 1/1 (2004) 97, <http://haworthpress.com/web/JNF>.
- [17] A.E. Vasu, *E-Journal of Chemistry* 5/4 (2008) 814, <http://www.e-journals.net>.