



## Sistem Integrasi Koagulasi dan Adsorpsi dalam Reduksi Logam Berat (Cr<sup>6+</sup> dan Cu<sup>2+</sup>) pada Limbah Cair Industri Tekstil

Judy R.B. Witono, Angela M, Agnes Y, dan Carissa C

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Katolik Parahyangan  
Jl. Ciumbuleuit 94 Bandung 40141

\*E-mail: judy@unpar.ac.id; angela.tanubrata@gmail.com; agnesyuliani31@gmail.com;  
clementinecarissa30@gmail.com

### Abstract

The activated sludge method is the mostly method used in textile industry wastewater treatment. This method can not eliminate the heavy metal ion, needs a huge area and skillfull operators. Therefore, this research will developed a physical and chemical integration method, i.e. coagulation method (with alum and FeSO<sub>4</sub>) and adsorption method (with activated fly ash). In this research we used an artificial wastewater contains metal salt solution of Cr(VI) and Cu(II). Fly ash adsorbent were made by carbonization at temperature 400°C and 600°C in 1 hour, and activated with 12M, 9M and 6M HCl and NaOH. The variable observed in the coagulation method was the mass ratio of alum : FeSO<sub>4</sub> (1:0; 1:1; 0:1). The performance of the system was measured based on the concentration reduction of Cr(VI) and Cu(II) by spectrophotometry. The best adsorbent for Cr(VI) is fly ash which carbonized at 600°C and activated by 12 M HCl (49.48% reduction), while for Cu(II) is at 400°C and 12 M NaOH (91.16% reduction). The best coagulant for Cr(VI) is FeSO<sub>4</sub> (28.21% reduction), while for Cu is a mixture of alum:FeSO<sub>4</sub> (75.83% reduction). The integration of coagulation-adsorption process is suitable only for reducing ion Cu<sup>2+</sup> (99.72%).

**Keywords:** adsorption, fly ash, heavy metals, coagulation.

### Pendahuluan

Industri tekstil semakin berkembang, tetapi tidak didampingi dengan kemajuan dalam penanganan limbah indsutri tekstil. Limbah cair indsutri tekstil terdiri dari pewarna dan zat kimia lainnya termasuk logam berat. Pengolahan limbah cair industri tekstil di Bandung umumnya menggunakan metode lumpur aktif, akan tetapi tidak dapat mereduksi kandungan logam berat dan zat warna yang tinggi secara sempurna. Oleh sebab itu, metode fisika dan kimia dinilai lebih efektif. Metode fisika dan kimia yang digunakan adalah adsorpsi dengan adsorben *fly ash*. *Fly ash* merupakan limbah dari proses pembakaran di pabrik yang berbentuk partikel halus. *Fly ash* dipilih sebagai adsorben karena mengandung senyawa karbon, silika, alumina dan besi oksida, serta memiliki luas permukaan yang besar, mudah didapatkan dan murah. Dengan penggunaan *fly ash* sebagai adsorben, maka terdapat keuntungan lain yaitu dapat mengurangi limbah yang dihasilkan oleh proses pembakaran. Sebagai *pretreatment* dapat dilakukan proses koagulasi sehingga dapat mengurangi beban adsorpsi.

Gupta et al. (2003) menggunakan *bagasse* dan *fly ash* yang diaktivasi dengan asam peroksida pada temperatur 60°C selama 24 jam untuk adsorpsi logam Cd dan Ni. Sebanyak 99,9% logam dapat diadsorpsi pada pH 6-6,5 dengan konsentrasi logam 12-14 mg/L, jumlah adsorben 10 g/L dan temperatur 50°C selama 60-80 menit. Mikendova et al. (2010) menggunakan *fly ash* yang diaktivasi dengan NaOH untuk adsorpsi fosfor. Kondisi aktivasi terbaik diperoleh dengan NaOH 6 M menggunakan rasio massa *fly ash* : NaOH sebesar 1: 10. Sebanyak 24,91 mg fosfor/ g adsorben dapat diadsorpsi menggunakan 5 g adsorben untuk 50 mL larutan fosfor dengan konsentrasi 6 g/L pada temperatur ruang. Luo et al. (2011) menggunakan *fly ash* untuk adsorpsi logam Cu. Sebanyak 99,6% logam Cu dapat diadsorpsi (50 mg Cu/ g adsorben) menggunakan 2,1 g adsorben pada pH 6 dan temperatur ruang. Talokar (2011) menggunakan *fly ash*, *bagasse*, *wheat straw dust*, *coconut coir*, *saw dust* dan karbon aktif untuk adsorpsi logam Cr(VI). Sekitar 90% logam Cr dapat diadsorpsi pada pH 2, konsentrasi logam 5 mg/L, jumlah adsorben 2 g/L, dan waktu kontak 30 menit.

Pathe et al. (2004) menggunakan koagulan kapur, alum, *ferrous sulphate*, besi (III) klorida dengan tambahan polielektrolit pada limbah cair. Sebanyak 92% TSS, 54,68% COD, dan 56% BOD dapat direduksi dengan rasio alum : *ferrous sulphate* : polielektrolit sebesar 400:600:0,5 pada pH 9,7. Pengadukan yang digunakan adalah





pengadukan cepat pada 100 rpm selama 20 menit, pengadukan lambat pada 30 rpm selama 30 menit, dan waktu pengendapan selama 60 menit.

Pada penelitian ini adsorben dibuat dari *fly ash* yang dikarbonisasi pada temperatur 400°C dan 600°C, dan diaktivasi dengan HCl dan NaOH pada konsentrasi 6 dan 12 M. Koagulasi dilakukan menggunakan koagulan alum, FeSO<sub>4</sub>, dan kombinasi alum:FeSO<sub>4</sub>. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari metode pengolahan limbah cair tekstil secara fisika khususnya dengan metoda adsorpsi dan koagulasi, mendapatkan jenis koagulan, temperatur karbonisasi dan metode aktivasi yang dapat mereduksi logam berat (Cr dan Cu) secara optimum.

## Metodologi

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash*, CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, NaOH, HCl 37%, akuades, alum, FeSO<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> 25%, EDTA, HCl 32%. Alat yang digunakan adalah *furnace tubular*, oven, motor pengaduk dengan *impeller* turbin. Analisa konsentrasi logam berat dilakukan menggunakan spektrotometer UV/Vis. Pemanasan pada saat aktivasi adsorben dan analisa konsentrasi logam dilakukan menggunakan *hot plate*.

Pembuatan adsorben dilakukan dengan mengkarbonisasi *fly ash* pada temperatur 400°C dan 600°C dengan *furnace tubular* selama 1 jam. *Fly ash* kemudian diaktivasi dengan konsentrasi zat pengaktif (HCl dan NaOH) sebesar 6 dan 12 M. Campuran dipanaskan selama 1 jam pada temperatur 55°C dan dikontakkan selama 23 jam. Adsorben difiltrasi dan dicuci hingga netral kemudian dikeringkan dengan oven pada temperatur 105 °C.

Uji kinerja adsorben dilakukan dengan mencampurkan limbah artifisial dan adsorben yang diperoleh. Limbah artifisial dibuat dengan melarutkan 0,1414 g Cr atau 0,2319 g Cu dalam akuades hingga 100 mL. Sebanyak 5 g adsorben dicampurkan dengan 100 mL limbah artifisial dan diaduk selama 1 jam. Konsentrasi logam dianalisa dengan spektrofotometer. Berdasarkan hasil ini, dapat diperoleh adsorben terbaik untuk masing-masing logam.

Analisa konsentrasi logam Cu dilakukan dengan mencampurkan 10 mL sampel dan 2 mL NH<sub>3</sub> 25% sehingga dihasilkan kompleks berwarna biru. Analisa konsentrasi logam Cu dilakukan dengan mencampurkan 10 mL sampel dengan 5 tetes HCl 32%, kemudian ditambahkan 3 mL EDTA lalu dipanaskan hingga terbentuk kompleks berwarna violet. Untuk menentukan konsentrasi logam, diperlukan persamaan kurva standar yang diukur pada panjang gelombang maksimum.

Koagulasi dilakukan dengan mencampurkan koagulan dan limbah artifisial dengan rasio massa sebesar 2:1. Koagulasi dilakukan dengan pengadukan cepat pada 200 rpm selama 20 menit dan pengadukan lambat pada 50 rpm selama 30 menit, kemudian dibiarkan tersedimentasi selama 60 menit. Analisa kandungan logam dilakukan dengan spektrofotometer. Berdasarkan hasil ini, dapat diperoleh koagulan terbaik untuk masing-masing logam.

Pada integrasi proses koagulasi dan adsorpsi, terlebih dahulu dilakukan koagulasi limbah artifisial menggunakan jenis koagulan terbaik untuk masing-masing logam. Limbah cair hasil koagulasi ini kemudian diambil sebanyak 100 mL dan dilakukan proses adsorpsi menggunakan adsorben terbaik untuk masing-masing logam. Proses koagulasi dan adsorpsi dilakukan pada kondisi operasi yang sudah dijelaskan sebelumnya.

## Hasil dan Pembahasan

### Pembuatan Adsorben dan Uji Kinerja Adsorben

Pembuatan adsorben dilakukan melalui proses karbonisasi untuk membentuk pori dan meningkatkan daya adsorpsi, kemudian dilakukan proses aktivasi kimia untuk memperluas porositas adsorben, meningkatkan daya adsorpsi dan selektivitas adsorben. Hasil uji kinerja adsorben dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2. Pada adsorben tanpa aktivasi, temperatur karbonisasi 600°C menghasilkan adsorben dengan daya adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan karbonisasi 400°C, baik untuk Cr maupun Cu yang disebabkan permukaan partikel semakin hancur dan membentuk lebih banyak pori (Olafadehan et al., 2012).

Logam Cr dapat teradsorpsi lebih baik oleh adsorben dengan aktivasi HCl karena permukaan adsorben mengandung ion H<sup>+</sup> yang memiliki daya tarik elektrostatis yang besar terhadap logam Cr dalam bentuk anion, akan tetapi daya adsorpsi logam Cr menjadi rendah saat digunakan adsorben teraktivasi NaOH karena ion OH<sup>-</sup> akan tolak menolak dengan anion Cr dan menghalangi proses adsorpsi (Olayinka et al., 2009). Logam Cu dapat teradsorpsi lebih baik oleh adsorben dengan aktivasi NaOH karena ion OH<sup>-</sup> pada permukaan adsorben memiliki daya tarik yang besar terhadap logam Cu dalam bentuk kation, sedangkan aktivasi NaOH menghasilkan adsorben dengan daya adsorpsi Cu yang rendah karena mengandung ion H<sup>+</sup> yang tolak menolak dengan kation Cu (Kehinde et al., 2009).

Pada adsorben terbaik logam Cr yaitu hasil aktivasi dengan HCl, temperatur karbonisasi 600°C menghasilkan adsorben dengan daya adsorpsi logam Cr yang lebih tinggi dibandingkan karbonisasi 400°C (tabel 1). Semakin tinggi konsentrasi HCl yang digunakan dalam proses aktivasi, adsorben yang dihasilkan memiliki daya adsorpsi logam Cr yang semakin tinggi. Hal ini disebabkan lebih banyaknya bagian dalam *fly ash* yang hancur dan meningkatkan volume pori sehingga menghasilkan daya adsorpsi yang lebih besar (Bada and Potgieter-Vermaak, 2008). Selain itu, kandungan ion H<sup>+</sup> pada adsorben semakin banyak sehingga semakin mudah mengadsorpsi logam



Cr. Adsorben terbaik untuk logam Cr adalah hasil karbonisasi 600°C dengan aktivasi HCl 12 M dengan presentase adsorpsi sebesar 49,48%.

**Tabel 1.** Hasil Uji Kinerja Adsorben terhadap Logam Cr

No	Karbonisasi	Aktivasi	% Adsorpsi
1	400 °C	Asam (HCl) 12 M	34,61
2		6 M	34,94
3		Basa (NaOH) 12 M	-1,41
4		6 M	4,27
5		Tanpa aktivasi	6,01
6	600 °C	Asam (HCl) 12 M	49,48
7		9 M	41,99
8		6 M	34,25
9		Basa (NaOH) 12 M	16,47
10		6 M	7,67
11	Tanpa aktivasi	11,46	

**Tabel 2.** Hasil Uji Kinerja Adsorben terhadap Logam Cu

No	Karbonisasi	Aktivasi	% Adsorpsi
1	400 °C	Asam (HCl) 12 M	-8,08
2		6 M	-8,23
3		12 M	91,16
4		Basa (NaOH) 9 M	81,21
5		6 M	61,24
6	Tanpa aktivasi	59,01	
7	600 °C	Asam (HCl) 12 M	-1,16
8		6 M	-2,08
9		12 M	81,94
10		Basa (NaOH) 6 M	34,89
11		Tanpa aktivasi	71,54

Pada adsorben terbaik logam Cu yaitu adsorben teraktivasi NaOH, karbonisasi pada temperatur 400°C menghasilkan adsorben dengan daya adsorpsi logam Cu yang lebih tinggi dibandingkan pada 600°C (tabel 2). Hal ini dapat disebabkan oleh kondisi aktivasi yang ekstrim pada temperatur karbonisasi 600°C sehingga dapat merusak struktur pori pada adsorben. Rouquerol et al. (2002) menyatakan bahwa waktu aktivasi adsorben dengan NaOH dapat dikurangi dengan meningkatkan temperatur yang digunakan. Dalam penelitian ini, waktu aktivasi yang digunakan untuk adsorben dengan karbonisasi 400°C sama dengan adsorben karbonisasi 600°C. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan struktur pori pada adsorben karbonisasi 600°C karena waktu aktivasi yang terlalu lama. Semakin tinggi konsentrasi NaOH yang digunakan dalam proses aktivasi, adsorben yang dihasilkan memiliki daya adsorpsi logam Cr yang semakin tinggi. Hal ini disebabkan lebih banyaknya dinding *fly ash* yang hancur dan membentuk pori yang semakin banyak serta meningkatkan luas permukaan adsorben. Selain itu, kandungan ion OH<sup>-</sup> pada permukaan adsorben semakin banyak, sehingga dapat mengadsorpsi lebih banyak logam Cu. Adsorben terbaik untuk logam Cu adalah hasil karbonisasi 400°C teraktivasi NaOH 12 M dengan presentase adsorpsi sebesar 91,16%.

Adsorpsi logam Cr dengan adsorben teraktivasi NaOH memberikan hasil adsorpsi yang rendah bahkan terdapat beberapa hasil yang negatif, demikian pula untuk adsorpsi logam Cu dengan adsorben teraktivasi HCl. Hal ini disebabkan terjadinya tolak menolak antara ion logam dan muatan pada permukaan adsorben seperti yang telah dibahas sebelumnya sehingga logam tidak dapat teradsorpsi. Beberapa elemen logam yang terdapat pada permukaan *fly ash* dapat larut saat proses adsorpsi, terutama dengan adanya pengadukan sehingga dapat mengganggu analisa kandungan logam. Menurut penelitian oleh Liu et al. (2008), dapat terjadi pelarutan sejumlah elemen logam (seperti Cu, Cr, Cd, Pb, Zn, Fe, Mg, Ca dan Ni) dari *fly ash* pada saat dilakukan pencucian. Pada hasil EDS, kandungan Cu, Cr, Cd, Pb, Zn dan Ni tidak terbaca karena jumlahnya sangat sedikit dibandingkan senyawa lain sehingga persentase massanya sangat kecil. Dalam analisa logam Cr, digunakan EDTA sebagai pengkompleks dimana EDTA dapat membentuk kompleks pula dengan Cu, Mn, Ca, Ba, Zn, Cd, Hg, Al, Sn, Pb, Bi, Cr, Mo, Fe, Co, Mg, Ni dan Pd (Husain, 2007). Dalam analisa logam Cu, digunakan NH<sub>3</sub> sebagai pengkompleks dimana NH<sub>3</sub> dapat membentuk kompleks pula dengan Cu, Cr, Co, Pt, Ag, Cd, Fe, Al, Hg dan Ni (Nalwa, 2000). Hal ini dapat mempengaruhi pengukuran konsentrasi logam oleh spektrofotometer sehingga konsentrasinya dapat bertambah.

Pada hasil uji adsorben (tabel 1 dan tabel 2), dapat dilihat bahwa kemampuan adsorpsi adsorben terhadap logam Cu lebih besar dibandingkan logam Cr. Hal ini dapat disebabkan kondisi adsorpsi optimum untuk logam Cr adalah

pada suasana asam (pH 1-2) sedangkan kondisi adsorpsi optimum untuk logam Cu adalah pada suasana netral hingga basa (pH > 5) (Koby et al., 2005), sehingga adsorpsi logam Cu berlangsung dengan optimum pada pH netral yang digunakan dalam operasi dibandingkan dengan adsorpsi logam Cr. Pada suasana asam, terjadi peningkatan ion  $H^+$  pada permukaan adsorben yang memiliki daya tarik terhadap anion Cr. Pada pH > 6 adsorpsi yang terjadi tidak signifikan karena terjadi kompetisi antara anion Cr dengan ion  $OH^-$  yang sama-sama bermuatan negatif untuk teradsorpsi oleh adsorben. Selain itu, Cu dapat berfungsi pula sebagai koagulan sehingga lebih mudah berikatan dengan senyawa pada permukaan adsorben dan lebih mudah teradsorpsi (Khopkar, 2004).

#### Penentuan Jenis Koagulan Terbaik

Koagulan terbaik untuk logam Cr adalah  $FeSO_4$  yang dapat mereduksi logam Cr hingga 28,21% (tabel 3). Koagulan yang berupa garam besi dan garam aluminium akan terhidrolisis dalam air menjadi hidrokomples bermuatan positif. Hidrokomples ini akan membentuk polimer hidrometal serta membentuk endapan  $Fe(OH)_2$  dan  $Al(OH)_3$ , disertai peningkatan konsentrasi ion  $H^+$  dalam larutan (Wang et al., 2005). Muatan positif ini akan menetralkan muatan negatif pada anion Cr sehingga dapat mengendap bersama dengan  $Fe(OH)_2$  maupun  $Al(OH)_3$ . Alum dapat bekerja secara optimum pada rentang pH 4-7, sedangkan pH optimum untuk  $FeSO_4$  adalah  $\geq 8,5$  (Wang et al., 2006). Dalam penelitian ini, digunakan pH 9,7 sehingga kinerja alum tidak optimum dibandingkan  $FeSO_4$  yang berada pada keadaan optimumnya. Koagulan kombinasi memberikan hasil reduksi yang relatif kecil yang dapat disebabkan oleh terdapatnya interaksi antara Fe dan Al sehingga kemampuan koagulan untuk mereduksi Cr menjadi turun.

Koagulan terbaik untuk logam Cu adalah kombinasi alum- $FeSO_4$  yang dapat mereduksi logam Cu hingga 75,83% (tabel 3). Saat dilakukan pengaturan pH, terjadi pengendapan logam Cu dalam bentuk  $Cu(OH)_2$ . Pada suasana basa, terjadi peningkatan ion  $OH^-$  pada permukaan endapan  $Cu(OH)_2$  sehingga saat koagulan dicampurkan, muatan positif pada koagulan akan menetralkan muatan negatif tersebut dan mengendap bersama-sama membentuk floks yang lebih besar. Koagulan  $FeSO_4$  dapat mereduksi logam Cu lebih banyak dibandingkan alum karena berada pada pH optimum seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Koagulan kombinasi memberikan hasil reduksi yang lebih besar dibandingkan masing-masing koagulan jika tidak dikombinasikan. Hal ini dapat disebabkan oleh adanya interaksi antara Fe dan Al. Pada koagulan tanpa kombinasi, hanya terjadi interaksi antara Fe-Cu atau Al-Cu saja. Saat dikombinasikan, dapat terjadi pula interaksi antara Fe-Al sehingga ikatan yang terbentuk menjadi semakin kompleks dan Cu yang terkoagulasi menjadi semakin banyak.

Logam Cu lebih mudah dikoagulasi dibandingkan logam Cr yang disebabkan terjadinya pengendapan Cu pada sehingga dapat membantu reduksi logam Cu, sedangkan logam Cr dalam bentuk anion sulit mengendap sehingga reduksi logam Cr hanya didasarkan pada proses koagulasi saja. Selain itu,  $CuSO_4$  merupakan salah satu koagulan yang efisien dalam membentuk floks (Khopkar, 2004).  $CuSO_4$  dapat digunakan sebagai koagulan untuk mengurangi COD dan warna pada limbah pabrik kertas. Oleh karena itu, dapat terlihat bahwa proses koagulasi menghasilkan persentase reduksi logam Cu yang jauh lebih besar dibandingkan logam Cr.

**Tabel 3.** Hasil Koagulasi

Koagulan	% Reduksi Cr	% Reduksi Cu
$FeSO_4$	28,21	67,74
$FeSO_4$ + Alum	8,93	75,83
Alum	1,72	50,33

#### Integrasi Proses Koagulasi dan Adsorpsi

Hasil integrasi proses koagulasi dan adsorpsi dapat dilihat pada tabel 4. Koagulasi tidak membantu reduksi logam Cr ketika diintegrasikan dengan proses adsorpsi, dimana reduksi logam Cr dengan integrasi proses koagulasi-adsorpsi (40,14%) lebih kecil dibandingkan proses adsorpsi saja (49,48%). Bahkan pada adsorben tanpa aktivasi, hasil reduksi Cr setelah adsorpsi (27,01%) lebih kecil dibandingkan sebelum dilakukan adsorpsi (28,21%) yang dapat disebabkan tidak terdapatnya logam Cr yang teradsorpsi melainkan terjadi pelarutan sejumlah elemen logam dari permukaan adsorben seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Hal ini dapat disebabkan tidak dilakukannya pengaturan pH sehingga limbah hasil koagulasi masih bersifat basa. Pada suasana basa, anion Cr akan bersaing dengan ion  $OH^-$  untuk teradsorpsi oleh adsorben yang mengandung ion  $H^+$ . Saat ion  $OH^-$  teradsorpsi, permukaan adsorben menjadi netral sehingga hasil adsorpsi menjadi rendah. Selain itu, terdapat sisa koagulan Fe dalam larutan, dimana Fe yang merupakan koagulan akan lebih mudah berikatan dengan permukaan adsorben sehingga daya adsorpsi terhadap Cr menjadi berkurang. Pada adsorben tanpa aktivasi, ion  $OH^-$  akan menempel pada permukaan adsorben yang netral sehingga memiliki muatan negatif yang akan tolak menolak dengan anion Cr.

Koagulasi dapat membantu reduksi logam Cu ketika diintegrasikan dengan proses adsorpsi dimana reduksi logam Cu dengan integrasi proses koagulasi-adsorpsi dapat mencapai 99,72%, bahkan 97% Cu dapat direduksi meskipun digunakan adsorben tanpa aktivasi kimia. Hal ini dapat disebabkan Cu teradsorpsi dengan optimum pada suasana basa dimana larutan mengandung ion  $OH^-$  sehingga muatan pada permukaan adsorben semakin negatif dan



semakin mudah mengadsorpsi Cu. Jumlah Cu yang terkoagulasi pun cukup besar sehingga hampir seluruh koagulan mengendap bersama Cu, maka hanya sedikit sekali Fe dan Al yang tersisa dalam larutan. Oleh karena itu, logam Cu dapat teradsorpsi dengan baik tanpa gangguan ion lain dalam larutan.

**Tabel 4.** Hasil Reduksi dengan Proses Adsorpsi dan Integrasi Koagulasi-Adsorpsi

Adsorben		Karbonisasi 600°C, HCl % Reduksi Cr		Karbonisasi 400°C, NaOH % Reduksi Cu	
		Adsorpsi	Koagulasi-Adsorpsi	Adsorpsi	Koagulasi-Adsorpsi
Konsentrasi	12 M	49,48	40,14	91,16	99,72
zat pengaktif	9 M	41,99	39,49	81,21	97,64
	6 M	34,25	38,57	61,24	97,53
Tanpa aktivasi		11,46	27,01	59,22	97,13

## Kesimpulan

Adsorben dengan temperatur karbonisasi 600°C memberikan daya adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan 400°C untuk *fly ash* tanpa aktivasi kimia. Zat pengaktifasi (HCl atau NaOH) dengan konsentrasi 12 M memberikan daya adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi 6 M, maupun tanpa aktivasi kimia. Adsorben terbaik untuk logam Cr(VI) adalah *fly ash* karbonisasi 600°C dengan aktivasi oleh HCl 12M dengan hasil reduksi 49,48%. Adsorben terbaik untuk logam Cu(II) adalah *fly ash* karbonisasi 400°C dengan aktivasi oleh NaOH 12M dengan hasil reduksi 91,17%. Koagulan terbaik untuk logam Cr(VI) adalah FeSO<sub>4</sub>, akan tetapi proses koagulasi tidak dapat membantu reduksi logam Cr(VI) saat diintegrasikan dengan proses adsorpsi dan hanya mereduksi 40,74% Cr. Koagulan terbaik untuk logam Cu(II) adalah kombinasi alum-FeSO<sub>4</sub>, dan proses koagulasi dapat membantu reduksi logam Cu hingga 99,72% saat diintegrasikan dengan proses adsorpsi.

Saran yang dapat diberikan adalah reduksi logam Cr(VI) dapat dilakukan dengan proses adsorpsi saja. Agar diperoleh hasil reduksi yang lebih baik, sebaiknya dilakukan pengaturan pH pada suasana asam dalam proses adsorpsi logam Cr(VI). Dapat dilakukan reduksi terlebih dahulu untuk anion logam Cr(VI) menjadi Cr(III) dalam bentuk kation, sehingga proses reduksi logam Cr dapat dilakukan bersamaan dengan logam lain dalam limbah yang pada umumnya bermuatan positif juga. Dalam proses koagulasi, dapat digunakan *coagulant aid* sehingga floks yang dihasilkan memiliki ukuran lebih besar dan lebih cepat mengendap. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk daya adsorpsi pada adsorben dan kemampuan reduksi pada koagulan, terhadap logam berat dan polutan lainnya terdapat dalam limbah tekstil. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk daya adsorpsi pada adsorben dan kemampuan reduksi pada koagulan, terhadap logam campuran dalam limbah.

## Daftar Pustaka

- Bada, S.O., et al., (2008), Evaluation and Treatment of Coal Fly Ash for Adsorption Application, *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 12, pp. 37-48
- Guptaa, V.K., et al., (2003), Removal of Cadmium and Nickel from Wastewater using Bagasse Fly Ash – A Sugar Industry Waste, *Water Research*, 37, pp. 4038-4044
- Husain, A., (2007), Theoretical Basis of Analysis: Complexometric Titrations, *Pharmaceutical Analysis*, 2007, pp. 3-19
- Kehinde, O.O., et al., (2009), Comparative Analysis of the Efficiencies of Two Low Cost Adsorbents in the Removal of Cr(VI) and Ni(II) from Aqueous Solution, *African Journal of Environmental Science and Technology*, 3, pp. 360-369
- Khopkar, S.M., (2004), Environmental Pollution Monitoring and Control, New Age International Ltd., New Delhi
- Kobya, M., et al., (2005), Adsorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solutions by Activated Carbon Prepared from Apricot Stone, *Biosource Technology*, 96, pp.1518-1521
- Liu, Y., et al., (2008), SEM/EDS and XRD Characterization of Raw and Washed MSWI Fly Ash Sintered at Different Temperatures, *Journal of Hazardous Materials*, 162, pp. 161-173
- Luo, J., et al., (2011), Removal of Cu<sup>2+</sup> from Aqueous Solution using Fly Ash, *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, 10:561-571
- Mikendová, B., et al., Phosphorus Removal from Water Using Fly Ash and Modified Fly Ash – Comparison of X-Ray Fluorescence Spectrometry and Standard Spectrophotometric Methods, *GeoScience Engineering*, 56, pp. 22-31
- Nalwa, S.H., (2000), Handbook of Nanostructured Materials and Nanotechnology, Academic Press, London, pp.53
- Olafadehan, O.A., et al., (2012), Treatment of Brewery Wastewater Effluent Using Activated Carbon Prepared from Coconut Shell, *International Journal of Applied Science and Technology*, 2, pp. 165-178
- Olayinka, O.K., et al., (2009), Removal of Chromium and Nickel Ions from Aqueous Solution by Adsorption on Modified Coconut Husk, *African Journal of Environmental Science and Technology*, 3, pp. 286-293





- Pathe, P.P., et al., (2005), Physico-chemical Treatment of Wastewater From Clusters of Small Scale Cotton Textile Units, *Environmental Technology*, 26:3, pp. 313-328
- Rouquerol, F., et al., (2014), Adsorption by Powders and Porous Solids : Principles, Methodology and Applications, Second Edition, Elsevier, Oxford, pp. 331-332
- Talokar, A.Y., (2011), Studies on Removal of Chromium from Waste Water by Adsorption Using Low Cost Agricultural Biomass as Adsorbent, *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 2, pp. 452-456
- Wang, L., et al., (2006), Advanced Physicochemical Treatment Processes, Humana Press, New Jersey, pp. 112-124,135-136
- Wang, L., et al., (2005), Physicochemical Treatment Processes, Humana Press, New Jersey, pp. 124-125





## Lembar Tanya Jawab

**Moderator : Abdullah Effendi (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)**

**Notulen : Widayati (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)**

1. Penanya : Zainus Salimin (National Nuclear Energy Agency, PUSPIPTEK, Jakarta)  
Pertanyaan : Reaksi reduksi  $\text{Cr}^{6+}$  dan  $\text{Cu}^{2+}$  ?  
Jawaban : Tidak dapat menunjukkan reaksi reduksi tersebut.
  
2. Penanya : Mochtar (Politeknik Negeri Bandung)  
Pertanyaan :
  - Berapa pH awal limbah ?
  - Bagaimana komposisi *fly ash* ?
  - Apa yang dimaksud karbonisasi ?Jawaban :
  - pH awal limbah tidak diukur (pH awal mengikuti pH aquadest yang diinginkan/ netral).
  - Komposisi fly ash : Fe, Ni, Ac, Mg dan K.
  - Karbonisasi hanya pembukaan pori-pori saja.
  
3. Penanya : Ery (Teknik Kimia UNTAG Semarang)  
Pertanyaan :
  - Kenapa logam-logam nya minus (-) keluar ?
  - pH awalnya berapa ?Jawaban :
  - Karena Cr dan Na sama-sama bermuatan negatif maka akan keluar.
  - pH awal tidak diukur.

