

# Adsorpsi Kadmium Menggunakan Adsorben Berbasis Lumpur Instalasi Pengolahan Air Minum Yang Dienkapsulasi Dalam Agar Dan Alginate Gel

## *Adsorbtion Of Cadmium Using Adsorbent Based On Sludge From Drinking Water Treatment Plant Encapsulated In Agar And Alginate Gel*

Rizqi Amaliasani,

Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia,

Jalan Kaliurang KM 14,5 Yogyakarta

e-mail : rizqiamaliasani@gmail.com

### ABSTRAK

*Pencemaran lingkungan oleh kadmium disebabkan oleh limbah dari berbagai limbah industri merupakan sumber potensial dari pencemaran air oleh kadmium. Metode adsorpsi merupakan cara yang paling efektif untuk menghilangkan ion logam berat di dalam air karena biaya rendah dan teknik yang sederhana. Potensi lumpur dari PDAM sebagai adsorben yang dikombinasikan dengan teknik enkapsulasi dapat menjadi adsorben yang sangat berpotensi karena lumpur melimpah, kemampuan adsorpsi logam berat yang baik, dan proses adsorpsi yang tidak membutuhkan penyaringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas penyerapan kadmium menggunakan sistem batch. Adsorben dimodifikasi menggunakan asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) 1 M. Adsorpsi kadmium menggunakan lumpur hasil pengolahan air PDAM Tirta Binangun diuji menggunakan variasi massa adsorben, pH, waktu kontak, dan konsentrasi kadmium. Metode pengujian dievaluasi menggunakan Isoterm Langmuir dan Freundlich. Kapasitas penyerapan adsorben RSP, PAS, PAS-AG, dan PAS-AR yakni berturut-turut 24,954 mg/g, 40,260 mg/g, 31,610 mg/g and 21, 057 mg/g. Oleh karena itu, adsorben aktivasi mempunyai kapasitas adsorpsi terbesar dalam menyerap ion kadmium di dalam air limbah.*

**Kata Kunci :** Adsorpsi, agar, alginate gel, kadmium

### ABSTRACT

*Environmental pollution by cadmium caused by various industries waste are the potential sources of water pollution by cadmium. Adsorption method is the most effective way to remove heavy metal ions in the water because of the low cost and simple technique. Potential sludge from PDAM as adsorbent combined with encapsulation technique could be an adsorbent that is potentially due to abundant of sludge, heavy metal adsorption was good, and adsorption process does not require filtration process. The aims of this study to determine the absorption capacity of the cadmium using the batch system. Adsorbent modified using acid phosphate ( $H_3PO_4$ ) 1 M. Cadmium Adsorption using Drinking Water Treatment Plant is conducted by residue various adsorbent mass, pH, contact time, and cadmium consentration. The experiment is evaluated by using Isoterm Langmuir and Freundlich models. The absorption capacity of RSP, PAS, PAS-AG, and PAS-AR adsorbent are 24,954 mg/g, 40,260 mg/g, 31,610 mg/g and 21, 057 mg/g respetively. Therefore, the activated sludge powder has higher adsorption capacity to adsorb cadmium ions in wastewater.*

**Key words :** Adsorption, alginate gel, agar, cadmium

## 1. Pendahuluan

Kontaminasi berbagai logam berat dianggap sebagai masalah lingkungan yang

menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem dan kesehatan manusia, salah satunya yaitu logam kadmium (Cd).

Pencemaran lingkungan oleh kadmium disebabkan oleh limbah dari berbagai aktivitas industri diantaranya industri kimia, keramik, galvanisasi dan industri tekstil yang merupakan sumber potensial dari pencemaran air oleh ion kadmium. Ion kadmium menyebabkan toksisitas akut dan penyakit seperti kanker paru-paru dan gagal ginjal (Hizal et al, 2006).

Banyak metode yang dikembangkan untuk menghilangkan ion logam berat dalam air, antara lain melalui biosorpsi, *neutralization*, presipitasi, *ion exchange*, dan adsorpsi (Basyal et al, 2013). Metode adsorpsi merupakan cara yang paling efektif untuk menghilangkan ion logam berat di dalam air karena biaya rendah dan teknik yang sederhana (Safa et al, 2012).

Lumpur dari PDAM telah dipelajari sebagai adsorben yang berpotensi untuk menghilangkan logam berat di dalam air limbah. Aluminium, silika, besi dan asam humat biasanya terdapat pada lumpur PDAM. Asam humat dapat meningkatkan kemampuan adsorben untuk menyerap ion logam seperti

tembaga dan kadmium dalam air (Santosa et al, 2006).

Pada umumnya adsorben dalam bentuk *powder* sering digunakan, tetapi hal ini menyebabkan adsorben tercampur dalam adsorbat, sehingga membutuhkan proses penyaringan untuk memisahkan antara adsorben dengan larutan. Penelitian ini dilakukan dengan menggabungkan teknik enkapsulasi yang bertujuan untuk menghindari proses filtrasi yang membutuhkan biaya yang lebih besar.

## 2. Metode

---

---

### Persiapan Adsorben

Penelitian ini menggunakan lumpur hasil pengolahan air di PDAM Tirta Binangun Kulonprogo, DIY, Indonesia. Poly aluminium chloride (PAC) digunakan sebagai koagulan. Untuk menentukan keadaan optimum penyerapan, konsentrasi awal kadmium yang digunakan sebesar 10 mg/l dengan volume 50 ml. Durasi pengadukan selama 120 menit, derajat keasaman (pH) 6, dan pada temperatur ruang. Ukuran *Raw Sludge Powder* (RSP) yang lolos saringan nomor 140 *mesh*

digunakan untuk proses adsorpsi. Enkapsulasi menggunakan sodium alginate dilakukan dengan membuat larutan sodium alginate 3% yang dicampurkan dengan adsorben dan meneteskannya ke dalam larutan kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ ) 10%. Gel didiamkan selama 30 menit kemudian dibilas menggunakan aquades. Enkapsulasi menggunakan Agar dilakukan dengan perbandingan 2,5 : 1 yaitu 2,5 gram adsorben *sludge powder* dengan 1 gram Agar.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lumpur PDAM Tirta Binangun, Sodium Alginate (Sigma Aldrich), Agar (*Food Grade*), kalsium diklorida dihidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) Merck, asam fosfat 1 M  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , kadmium ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ; Merck), dan aquades.

### Karakterisasi Adsorben

Kandungan dari karbon, nitrogen, hidrogen, oksigen, dan *ash* di dalam lumpur dianalisis menggunakan instrumen Elemental Analysis (MICRO CORDER JM10 J-Science Lb Co., Kyoto, Jepang). Luas permukaan dan

komposisi dari lumpur PDAM seperti alumunium, silika dan besi sebagai hasil dari penambahan dari PAC diidentifikasi menggunakan ICP-AES. Luas permukaan dari lumpur PDAM diidentifikasi menggunakan Brunauer-Emmet-Teller (BET) (SAA BELSORP-mini, BEL Japan Inc., Osaka Jepang).

## 3. Hasil Penelitian dan Analisis Data

### 3.1 Karakteristik Adsorben

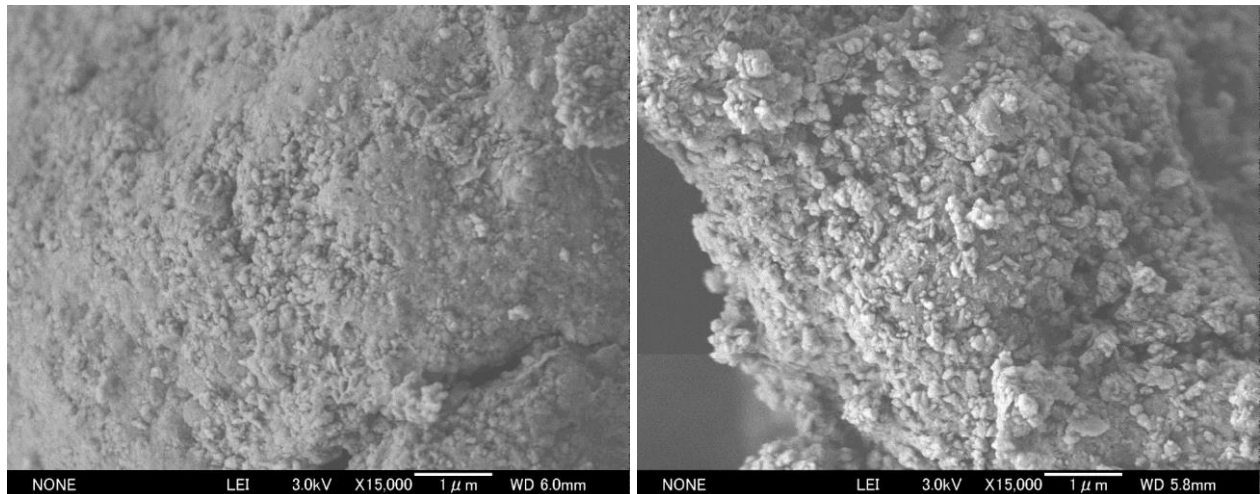
Komposisi C, H, N dan O dari adsorben sebelum dan sesudah dimodifikasi menggunakan asam fosfat ditunjukkan pada Tabel 1. Setelah modifikasi kimia terjadi penurunan presentase unsur C, H, N dan O.

**Tabel 1.** Hasil Karakterisasi Elemental Analisis dari adsorben RSP dan PAS

Unsur (%w/w)	Adsorben	
	<i>Raw Sludge Powder (RSP)</i>	<i>Powder Activated Sludge (PAS)</i>
Karbon (C)	0,74%	0,57%
Hidrogen (H)	0,42%	0,32%
Nitrogen (N)	0,09%	0,06%
Oksigen (O)	19,91%	17,07%
<i>ash</i>	78,85%	81,98%

Karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopes* berfungsi untuk mengetahui karakteristik dari suatu zat dengan metode X-ray. Pada teknik ini informasi yang didapat berupa gambar pori pada permukaan

adsorben. Hasil uji SEM dengan perbesaran 15.000 kali dapat dilihat pada Gambar 1, sedangkan karakterisasi menggunakan ICP-MS digunakan untuk mengetahui kandungan logam yang terdapat pada lumpur PDAM.



(a)

(b)

**Gambar 1** Hasil Uji SEM Pada Perbesaran 15.000x adsorben (a) RSP (b) PAS

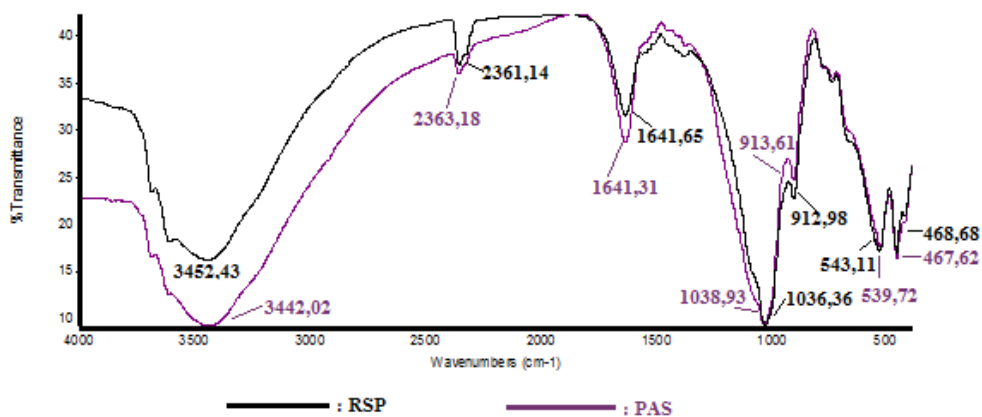
Luas permukaan adsorben RSP dan PAS dianalisis menggunakan BET dengan hasil berturut-turut  $83,2 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  dan  $87,1 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . Volume pori adsorben PAS yaitu  $1,7 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$  sedangkan adsorben RSP sebesar  $1,8 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ . Peningkatan permukaan area pada adsorben setelah proses modifikasi kimia (PAS) dapat meningkatkan kemampuan adsorben untuk menyerap ion logam kadmium lebih besar. Adanya pori-pori pada permukaan adsorben diperlukan untuk menghilangkan ion logam berat dalam air (Rao et al., 2006).

Berdasarkan analisis menggunakan ICP-AES ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil menunjukkan bahwa aluminium dan besi mempunyai konsentrasi yang paling tinggi.

**Tabel 2** Hasil Karakterisasi ICP-MS lumpur PDAM

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi
1	Al	mg/kg	70000
2	Fe	mg/kg	30000
3	Ca	mg/kg	5000
4	Mg	mg/kg	2000
5	Mn	mg/kg	1000
6	Si	mg/kg	100
7	Cu	mg/kg	100
8	Zn	mg/kg	50
9	Cd	mg/kg	20
10	Co	mg/kg	20
11	Cr	mg/kg	20
12	Hg	ug/kg	5000
13	Ni	mg/kg	10
14	Pb	mg/kg	nd
15	As	ug/kg	nd

FTIR digunakan untuk mengetahui gugus kimia pada adsorben sebelum dan sesudah dimodifikasi menggunakan asam fosfat. Karakterisasi FTIR digunakan untuk memastikan apakah proses modifikasi dengan asam fosfat mempunyai perbedaan atau tidak. Gambar 2 menunjukkan hasil FTIR adsorben PAS dan RSP.



**Gambar 2** FTIR adsorben *Powder Activated Sludge* (PAS) dan *Raw Sludge Powder* (RSP)

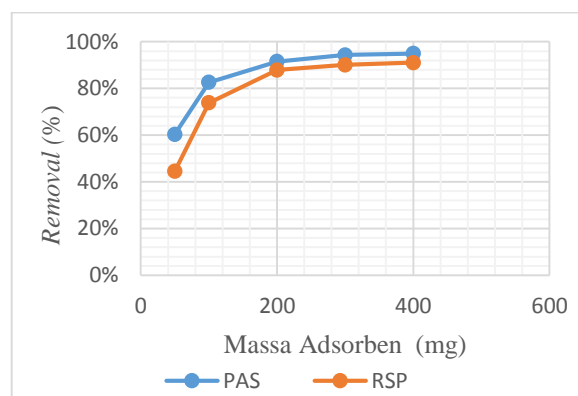
Karakterisasi menggunakan FTIR menggunakan asam fosfat mengakibatkan menunjukkan bahwa tidak terdapat gugus baru meningkatnya konsentrasi terhadap beberapa setelah proses modifikasi. Modifikasi gugus fungsi yang terdapat pada adsorben,

yaitu dengan ditunjukkannya nilai *transmittance* yang semakin besar. Pada panjang gelombang 3800-3400  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus fungsi  $-\text{OH}$ , sedangkan panjang gelombang 1680-1640  $\text{cm}^{-1}$  terdapat gugus fungsi  $\text{C}=\text{O}$  gelombang 1040-930  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan gugus fungsi  $\text{P}-\text{OH}$  (Stuart, 2004). Dari hasil pembacaan FTIR terlihat peningkatan konsentrasi gugus  $\text{OH}$  dan  $\text{C}=\text{O}$  setelah dilakukan modifikasi, sedangkan gugus lainnya terjadi penambahan konsentrasi yang tidak begitu signifikan.

### 3.2 Pengujian Variasi Massa Adsorben

Kapasitas adsorpsi dari berbagai variasi massa adsorben ditunjukkan pada gambar 3. Kemampuan penyerapan semakin meningkat dengan bertambahnya massa adsorben. Penyerapan ion kadmium untuk massa adsorben 100 hingga 400 mg sudah hampir konstan oleh karena itu massa 100 mg baik sebagai massa ideal untuk adsorben. Bertambahnya massa adsorben yang digunakan untuk proses adsorpsi maka semakin banyak pula pori-pori adsorben, sehingga kemampuan penyerapan ion

kadmium semakin tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyerapan ion kadmium meningkat dengan bertambahnya jumlah adsorben (Khosravan dan Lashkari, 2011).



**Gambar 3.** Pengaruh massa adsorben pada adsorpsi kadmium (Volume larutan Cd 50 ml, konsentrasi 10 mg/L, pH larutan 6 dan waktu pengadukan 2 jam).

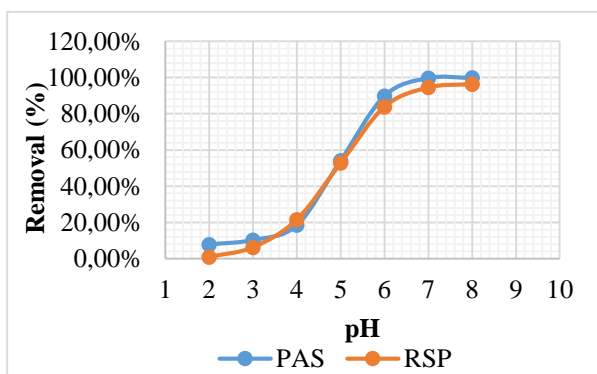
### 3.3 Pengujian Variasi pH

Penyerapan ion logam berat dari dalam air menggunakan adsorben sangat bergantung pada pH larutan. Pada pH rendah, konsentrasi ion  $\text{H}^+$  tinggi oleh karena itu proton bersaing dengan ion logam untuk berikatan di permukaan adsorben (Matheickal *et al*, 1999).

Adsorpsi Cd (II) pada pH yang terlalu rendah akan menyebabkan terjadinya kompetisi Cd (II) dengan ion  $\text{H}^+$ , sehingga proses adsorpsi logam Cd (II) tidak optimal (Rohyami, 2013). Peningkatan presentase

penyerapan ion logam kadmium sebagai akibat dari meningkatnya pH disebabkan oleh menurunnya  $H^+$  pada permukaan adsorben sehingga tolakan dalam mengadsorb ion logam akan berkurang (Kadirvelu dan Namasivayam, 2003).

Diketahui bahwa ion logam kadmium dalam larutan mengendap mulai pada pH 8,5 (Khosravan dan Lashkari, 2011). Kondisi pH yang ideal digunakan untuk proses adsorpsi pada 10 mg/l larutan kadmium untuk adsorben lumpur PDAM berada pada pH 6 sampai 8 (Siswoyo, 2014b).

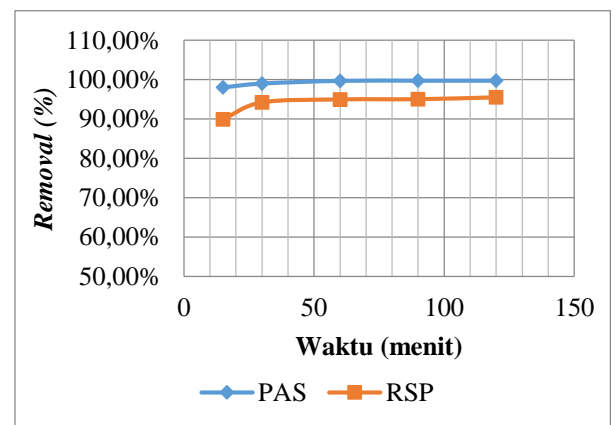


**Gambar 4.** Pengaruh pH larutan pada adsorpsi kadmium (Volume larutan Cd 50 ml, konsentrasi 10 mg/L, pH larutan 6 dan waktu pengadukan 2 jam).

### 3.4 Pengujian Variasi Waktu Kontak

Semakin lama waktu kontak tidak selalu meningkatkan presentase penyerapan

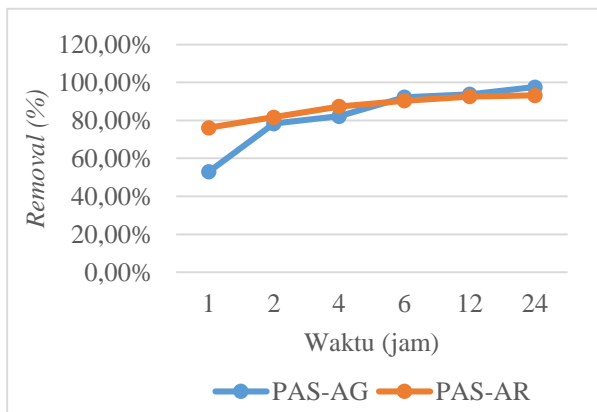
ion logam kadmium. Presentase penyerapan oleh adsorben Powder Activated Sludge (PAS) dan Raw Sludge Powder (RSP) pada waktu pengadukan selama 30 menit sudah berada pada kisaran 85 sampai 100 persen dan konstan hingga waktu pengadukan selama 120 menit. Oleh karena itu, waktu kontak selama 30 menit sudah mampu menyerap ion logam kadmium konsentrasi 10 ppm dengan optimum.



**Gambar 5.** Pengaruh waktu kontak pada adsorpsi kadmium (Volume larutan Cd 50 ml, konsentrasi 10 mg/L, pH larutan 6 dan waktu pengadukan 2 jam).

Pada adsorben PAS-AG, pengadukan selama 1 jam hanya mampu menyisihkan konsentrasi ion kadmium sebesar 52,92%. Pengadukan selama 2 jam hingga 6 jam terjadi peningkatan kapasitas penyerapan ion logam kadmium secara signifikan dan hampir konstan pada waktu pengadukan 6 jam hingga 24 jam.

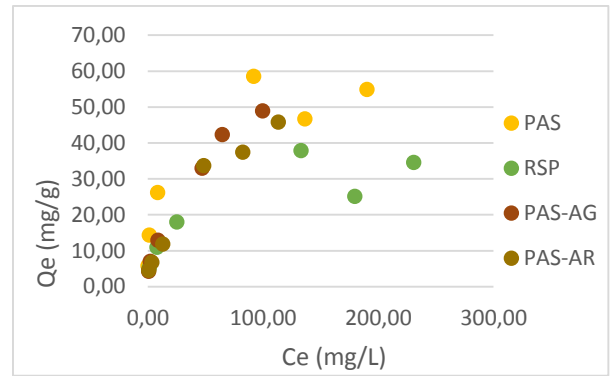
Presentase penyisihan ion logam kadmium oleh adsorben PAS-AG dan PAS-AR pada waktu pengadukan selama 6 jam sudah mencapai 92,20% dan 90,42%, dan hampir konstan hingga waktu pengadukan 24 jam. Oleh karena itu pengadukan selama 6 jam pada adsorben PAS-AG dan PAS-AR sudah mampu menyerap ion logam kadmium konsentasi 10 ppm dengan optimum.



**Gambar 5.** Pengaruh waktu kontak pada adsorpsi kadmium (Volume larutan Cd 50 ml, konsentrasi 10 mg/L, pH larutan 6 dan waktu pengadukan 2 jam).

### 3.5 Isotermal adsorpsi

Pada penelitian ini digunakan isoterm freundlich dan isoterm langmuir untuk mengetahui mekanisme penyerapan adsorbat.



**Gambar 6.** Isoterm Langmuir

Adsorben PAS mempunyai kapasitas penyerapan sebesar 40,3 mg/g, sedangkan adsorben RSP mampu menyerap sebesar 24,9 mg/g. Selain itu, kapasitas penyerapan adsorben PAS-AG yakni 31,6 mg/g dan kapasitas penyerapan paling kecil yaitu adsorben PAS-AR sebesar 21,1 mg/g. Kapasitas penyerapan ion kadmium terbesar hingga terkecil berturut-turut yaitu PAS, PAS-AG, RSP, dan PAS-AR. Semakin tinggi nilai kapasitas penyerapan ( $Q_m$ ) maka kemampuan adsorben untuk menyerap ion logam berat semakin tinggi.



**Tabel 3** Isoterm Langmuir dan Freundlich

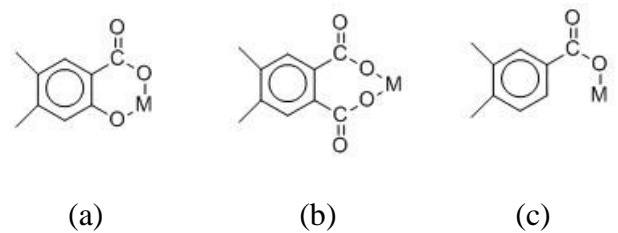
Adsorben	Langmuir			Freundlich		
	Qm (mg/g)	KL (l/mg)	R <sup>2</sup>	Kf	n	R <sup>2</sup>
PAS	40,260	0,609	0,979	2,840	3,048	0,957
RSP	24,954	0,190	0,943	2,018	2,770	0,947
PAS-AG	31,610	0,156	0,966	1,909	1,903	0,997
PAS-AR	21,057	0,318	0,821	1,866	2,020	0,971

Adsorben PAS mempunyai kapasitas penyerapan yang lebih besar dibanding dengan adsorben RSP dikarenakan semakin meningkatnya gugus OH dan C=O pada adsorben PAS setelah proses modifikasi. Gugus yang terdapat pada adsorben PAS dapat menyerap lebih banyak ion logam kadmium karena semakin banyaknya gugus yang dapat mengikat ion positif.

Perbedaan bentuk pada adsorben sangat mempengaruhi kapasitas penyerapan ion logam kadmium. Kapasitas penyerapan ion kadmium oleh adsorben PAS-AG dan PAS-AR justru menurun jika dibandingkan dengan adsorben PAS. Hal ini dikarenakan adsorben dalam bentuk *powder* memiliki *surface area* yang lebih besar sehingga kemampuan adsorbsinya juga lebih besar. Kapasitas penyerapan ion logam kadmium meningkat dengan semakin kecilnya ukuran partikel adsorben, begitu juga sebaliknya semakin

besar ukuran partikel adsorben maka semakin kecil penyerapan ion logam yang terjadi (Khosravan dan Lashkari 2011).

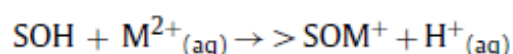
Pengikatan ion logam ( $M^{2+}$ ) dengan asam humat yang mungkin terjadi diantaranya ikatan antara karbonil dan hidroksil fenol, ikatan antara dua gugus karbonil, dan ikatan dengan gugus karbonil (Manahan, 2010; Siswoyo, 2014b).



**Gambar 7.** (a) ikatan antara karboksil dengan hidroksil fenol (b) ikatan antara dua gugus karboksil, dan (c) ikatan dengan gugus karboksil

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Siswoyo (2014b), aluminium sulfat memiliki kemampuan yang rendah untuk menyerap ion kadmium karena Al tidak mempunyai peran penting dalam proses adsorpsi ion logam. Oksida besi yang terdapat pada lumpur PDAM sangat berpotensi sebagai adsorben untuk ion logam (Phuengprasop,

2011). Penyerapan ion logam pada permukaan oksida besi dapat terjadi melalui interaksi non elektrostatis, mekanisme adsorpsi ion logam ( $M^{2+}$ ) pada permukaan oksida besi (SOH) ditunjukkan pada reaksi berikut (Dzombak, 1990; Phuengprasop, 2011):



### Kesimpulan dan Saran

Lumpur PDAM dapat dijadikan sebagai adsorben yang berpotensi karena tidak memerlukan biaya yang mahal dan mampu untuk menyerap ion logam kadmium dalam air. Asam humat dan oksida besi mempunyai peran penting dalam proses adsorpsi. Kondisi optimum massa adsorben sebesar 100 mg dengan pH optimum antara 6-8 dan waktu kontak selama 30 menit untuk adsorben PAS dan RSP, serta 6 jam untuk adsorben PAS-AG dan PAS-AR pada larutan kadmium 50 ml dengan konsentrasi 10 ppm. Adsorben PAS, PAS-AG, RSP dan PAS-AR mempunyai kapasitas penyerapan berturut-turut sebesar 40,3 mg/g, 31,6 mg/g, 24,9 mg/g, dan 21,1 mg/g.

### Daftar Pustaka

- Baysal, A. Ozbek, N and Akman, S (2013). **Determination of Trace Metals in Waste Water and Their Removal Process.** <http://www.intechopen.com/books/wastewater-treatment-technologies-and-recent-analytical-developments/determination-of-trace-metals-in-waste-water-and-their-removal-processes>. 17 Februari 2016.
- Hizal, J. and Apak, R (2006). **Modeling of cadmium(II) adsorption on kaolinite-based clays in the absence and presence of humic acid.** Journal Applied Clay Science 32 (2006) 232–244.
- Kadirvelu, K. and Namasivayam, C (2003). **Activated carbon from coconut coirpith as metal adsorbent: adsorption of Cd(II) from aqueous solution.** Advances in Environmental Research 7 (2003) 471–478.
- Khosravan, A., Lashkari, B (2011). **Adsorption of Cd(II) by dried activated sludge.** Iranian Journal of Chemical Engineering. Vol. 8, 41–56.
- Lochananon, W. and Chatsiriwech, D (2007). **Effect of phosphoric acid concentration on properties of peanut shell adsorbents.** Journal of Industrial and Engineering Chemistry 14 (2008) 84–88.
- Matheickal, J. T., Yu, Q. M. & Woodburn, G. M (1999). **Biosorption of cadmium(II) from aqueous solutions by pre-treated biomass of marine alga *Durvillaea potatorum*.** Water Res. 33, 335–342.

Phuengprasop, T. Sittiwong, J. Unob, F (2011). **Removal of heavy metal ions by iron oxide coated sewage sludge.** *Journal of Hazardous Materials* 186 502–507.

Rahmawati, A (2011). **Pengaruh Derajat Keasaman Terhadap Adsorpsi Logam Kadmium (II) and Timbal (II) Pada Asam Humat.** *Jurnal Penelitian Sains & Teknologi*, Vol. 12, No. 1, April 2011: 1 – 14.

Rao, M, M. Ramesh, A. Rao G, P, C. Sessaiah, K (2006). **Removal of copper and cadmium from the aqueous solutions by activated carbon derived from *Ceiba pentandra* hulls.** *Journal of Hazardous Materials* B129 (2006) 123–129.

Rohyami, Y (2013). **Penentuan Cu, Cd, and Pb dengan AAS Menggunakan Solid Phase Extraction.** *Jurnal Inovasi and Kewirausahaan*. Vol 2. Halaman 19-25.

Safa, M. Larouci, M. Meddah, B (2012). **The sorption of lead, cadmium, copper and zinc ions from aqueous solutions on a raw diatomite from Algeria.** *Journal Water Science & Technology* 65.10. 1729-1737.

Santosa, S. J. Sundari, S. Sudiono, S (2006). **A New Type of Adsorbent Based on the Immobilization of Humic Acid on Chitin and Its Application to Adsorb Cu(II).** *e-Journal of Surface Science and Nanotechnology* Vol. 4 (2006) 46-52.

Siswoyo, E. Mihara, Y. and Tanaka, S. (2014b). **Determination of key components and adsorption capacity of a low cost adsorbent**

**based on sludge of drinking water treatment plant to adsorb cadmium ion in water.** *Applied Clay Science* 97–98 (2014) 146–152.

Stuart. (2004). **Infrared Spectroscopy : Fundamentals and Applications.** John Wiley & Sons, Ltd. ISBNs: 0-470-85427-8 (HB); 0-470-85428-6 (PB).