

EFEKTIVITAS ARANG AKTIF KAYU DENGAN VARIASI UKURAN ADSORBEN DAN DEBIT ALIRAN DALAM MENURUNKAN KADAR KADMIUM (Cd) PADA LIMBAH CAIR PERTANIAN

Ida Rofida *, Nur Endah Wahyuningsih **, Nurjazuli**

*) Mahasiswa Peminatan Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro

***) Dosen Peminatan Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Diponegoro

Jalan Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Kota Semarang 50239, Indonesia

*) Email: idarofida16@gmail.com

ABSTRACT

The use of fertilizer and pesticides that can not be controlled continuously in agricultural activities had impacts on environmental pollution and human health. Based on preliminary studies, cadmium level in the agricultural area in the Brebes area was 0.028 mg/l which exceeded from the existing quality standard of 0.01 mg/l. The aim of this study was to determine the effectiveness of activated charcoal made from Accacia mangium wood with various sizes of adsorbents and flow discharge to reduce cadmium levels in fertilizer solution. The type of this research was true experimental with pretest-posttest design with control group. The sample that was used in this reseach was TSP fertilizer solution. The variations of adsorbent size were gravel (4 mesh), granule (8 mesh), and powder (100 mesh) while variations of discharge flow were 100 ml / minute, 75 ml/minute, and 50 ml/minute. Kruskal-Wallis Test with 95% confidence level indicated that there were significant differences between treatments. The results showed that the size of the adsorbent powder (100 mesh) and discharge flow of 50 ml / min was the treatment with the highest decrease in the average cadmium level of 0,192 mg/L (49.87%). Therefore, activated wood charcoal was quite effective in reducing cadmium levels but still above TLV (Threshold Limit Value) standard.

Keywords : Activated Wood Charcoal, Adsorption, Cadmium, Fertilizer, Size of Adsorbent, Discharge Flow

PENDAHULUAN

Penggunaan pupuk di kalangan petani sudah tidak bisa dihindari. Petani menggunakan pupuk untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil tanaman sehingga dapat menuai keuntungan yang lebih banyak. Penggunaan pupuk ini dapat menyebabkan dampak positif yang menguntungkan petani dan juga dampak negatif yang dapat menyebabkan terjadinya

pencemaran dan kerusakan lingkungan serta berdampak pada kesehatan masyarakat jika digunakan secara terus menerus, sembarangan dan tidak sesuai aturan.¹

Pupuk merupakan suatu bahan penyubur tanaman yang mengandung zat hara buatan untuk mengatasi kekurangan nutrisi (terutama unsur N, F, dan K) dan dikategorikan sebagai sumber

pencemar karena adanya kandungan unsur serta senyawa tertentu yang masuk kedalam suatu sistem.^{2,3} Berdasarkan beberapa hasil penelitian, penggunaan pupuk oleh petani cenderung melebihi dosis sebenarnya.⁴ Dalam penelitian lain disebutkan bahwa pupuk fosfat mengandung logam berat Cd yaitu sebanyak masing-masing 0,1-170 mg/kg.⁵

Kegiatan pertanian yang sangat intensif berupa pemberian pupuk yang terus menerus dan tidak terkontrol dapat menyebabkan pencemaran lingkungan karena tidak hanya menyebabkan tingginya residu pupuk, tetapi juga memberikan sumbangan logam berat ke lingkungan daerah pertanian terutama Pb (pumbium) dan Cd (cadmium). Penelitian yang dilakukan oleh Ardiwinata *et al.* (1999) dan Kasno *et al.* (2000) mengidentifikasi 40% lahan sawah di jalur pantura, Jawa Barat, dikategorikan terkontaminasi oleh Cd dan Pb, bahkan 47% diantaranya dikategorikan terkontaminasi berat (>1,0 dan 0,24 ppm).^{6,7}

Toksisitas akut dapat terjadi apabila seseorang terpapar kadmium dalam konsentrasi tinggi. Menghirup gas (inhalasi) kadmium atau bahan yang mengandung kadmium yang dipanaskan dapat menghasilkan pneumonitis akut dan pembengkakan paru-paru (*pulmonary edema*). Toksisitas akut juga dapat terjadi lewat jalan ingesti dalam konsentrasi cukup tinggi yang dapat terjadi pada makanan dan minuman yang mengandung kadmium. Hal tersebut dapat menyebabkan keracunan akut, mual, muntah-muntah, dan sakit perut.

Banyak teknologi yang dapat digunakan untuk menghilangkan polutan logam dari air yang tercemar seperti adsorpsi, presipitasi,

membran filtrasi, dan ion exchange.⁸ Namun, adsorpsi sudah terbukti secara ekonomi dan efisiensi dalam menghilangkan logam berat, polutan organik, dan pewarna dari air yang terkontaminasi. Proses adsorpsi bersifat lebih ekonomis, efektif, dan berpotensi dalam menurangi, memulihkan, dan mendaur ulang logam dari air limbah.⁹ Proses adsorpsi dapat menggunakan beberapa adsorben seperti karbon aktif, silika, dan graphene dalam pemurnian air.¹⁰ Proses adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan arang aktif yang dibuat dari bahan kayu.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Alfi Rumidatul, efektivitas arang aktif yang terbuat dari kayu Mangium (*Accacia mangium*) yang diaktivasi menggunakan larutan H_3PO_4 5% adalah sebesar 71,43% dalam menurunkan kadar Cd.¹¹

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian *true experimental* yaitu dengan mengontrol variabel luar yang mempengaruhi jalannya eksperimen. Dalam hal ini dimaksudkan untuk untuk mengetahui efektivitas berbagai variasi ukuran media arang kayu aktif serta debit aliran dalam menurunkan kadar kadmium (Cd) pada limbah cair pertanian. Sedangkan rancangan penelitian yang digunakan adalah menggunakan bentuk *pretest-posttest with control group design*.

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah pertanian artifisial berupa larutan pupuk TSP yang mengandung kadmium (Cd). Larutan dibuat dengan cara melarutkan 2,132 kg pupuk TSP kedalam 45 liter air. Terdapat 9 perlakuan yaitu gravel

dengan debit 100ml/menit, gravel dengan debit 75ml/menit, gravel dengan debit 50ml/menit, granul dengan debit 100ml/menit, granul dengan debit 75ml/menit, granul dengan debit 50ml/menit, powder dengan debit 100ml/menit, powder dengan debit 75ml/menit, serta powder dengan debit 50ml/menit. sehingga jumlah sampel yang dibutuhkan adalah 33 sampel, dengan 27 sampel perlakuan, 3 sampel *pretest*, dan 3 sampel kontrol.

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro dan uji kandungan kadmium dilakukan di Laboratorium Kimia.

Analisis data dilakukan dengan menggunakan SPSS 21. Apabila data yang didapatkan normal dan homogen maka statistik yang digunakan untuk menguji hipotesis dalam penelitian ini adalah Uji *Two Way Anova*, jika data tidak normal maka menggunakan uji *Friedman Test* dengan tingkat kepercayaan 95% pengambilan keputusan berdasarkan nilai probabilitas *p-value* < 0,05 maka H_a diterima, H_0 ditolak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Suhu Sebelum dan Sesudah Perlakuan

Suhu rata-rata larutan Pupuk yang mengandung kadmium pada kontrol, sebelum dan sesudah dilakukan pengolahan dengan

media arang aktif kayu adalah 28°C

Suhu dikendalikan dengan cara penelitian dilakukan di tempat yang tertutup dan memiliki suhu yang konstan karena terdapat pendingin ruangan (AC). Suhu terlalu panas menyebabkan pengolahan limbah cair tidak maksimal karena kecepatan adsorpsi akan menurun jika suhu larutan semakin tinggi. Semakin tinggi suhu akan mendekati titik didihnya sehingga akan semakin kecil pula peristiwa adsorpsi.^{12,13}

2. pH Sebelum dan Sesudah Perlakuan

Derajat Keasaman (pH) rata-rata larutan pupuk yang mengandung kadmium pada kontrol, sebelum dan sesudah dilakukan pengolahan dengan media arang aktif kayu adalah 6.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya, pH optimal untuk menurunkan kadar kadmium adalah 6,5. Secara garis besar pH tersebut efektif karena pada pH rendah ketersediaan ion H^+ lebih banyak dan lebih reaktif dibandingkan dengan Cd^{2+} sehingga ion H^+ akan terabsorpsi terlebih dahulu dan merebut tempat ion Cd^{2+} .¹⁴

3. Kadar Kadmium Sebelum dan Sesudah Perlakuan

Kadar Kadmium											
R	Pre-test	K	Gravel			Granul			Powder		
			100ml /mnt	75ml /mnt	50ml /mnt	100ml /mnt	75ml /mnt	50ml /mnt	100ml /mnt	75ml /mnt	50ml /mnt
I	0,375	0,374	0,328	0,311	0,283	0,282	0,206	0,209	0,207	0,197	0,195
II	0,391	0,389	0,388	0,319	0,333	0,260	0,238	0,208	0,195	0,195	0,187
III	0,389	0,388	0,306	0,297	0,307	0,278	0,185	0,208	0,206	0,199	0,197
Rata-rata	0,385	0,383	0,341	0,309	0,307	0,273	0,210	0,208	0,203	0,197	0,193

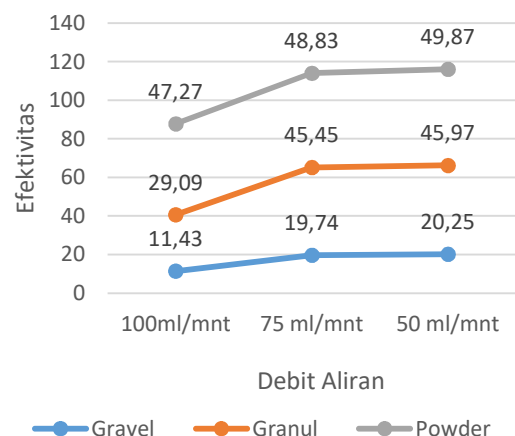
Rata-rata kadar kadmium pada larutan pupuk yang mengandung kadmium sebelum perlakuan adalah sebesar 0,385 mg/l. Rata-rata kadar kadmium pada kontrol adalah sebesar 0,383 mg/l. Untuk ukuran *gravel* (4 mesh) rata-rata kadar kadmium pada debit 100 ml/menit, 75 ml/menit, 50 ml/menit berturut-turut adalah 0,341 mg/L (11,43%), 0,309 mg/L (19,74%), 0,307 mg/L (20,25%). Sedangkan untuk ukuran *granule* (8 mesh) rata-rata kadar kadmium pada debit 100 ml/menit, 75 ml/menit, 50 ml/menit berturut-turut adalah 0,273 mg/L (29,09%), 0,210 mg/L (45,45%), 0,208 mg/L (45,97%). Kemudian untuk ukuran *powder* (100 mesh) rata-rata kadar kadmium pada debit 100 ml/menit, 75 ml/menit, 50 ml/menit berturut-

berukuran powder (100 mesh) dan debit aliran 50 ml/menit. Kadar tersebut telah mengalami penurunan namun masih berada diatas baku mutu yang telah ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air yaitu sebesar 0,01 mg/l. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa nilai minimum, nilai maksimum dan standart deviasi dari rata-rata kadar kadmium setelah perlakuan adalah 0,185 mg/l, 0,388 mg/l; dan 0,058. yaitu dengan rata-rata penurunan sebesar 0,192 mg/l (49,87%).

Efektivitas penurunan kadmium paling tinggi terjadi pada kolom adsorpsi dengan media arang aktif dari kayu *Mangium accacia* dengan ukuran powder (100 mesh) dan dengan debit aliran 50

turut adalah 0,203 mg/L (47,27%), 0,197 mg/L (48,83%), 0,193 mg/L (49,87%). Penurunan rata-rata kadar kadmium tertinggi terjadi pada perlakuan dengan menggunakan adsorben

Rata-Rata Efektivitas Penurunan Kadmium



ml/menit yaitu mencapai 49,87% dan tergolong memiliki efektivitas yang cukup baik.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Alfi Rumidatul 2006 yang menyatakan bahwa arang aktif kayu yang dibuat dengan menggunakan kayu *Accacia mangium* yang diaktivasi dengan menggunakan H_3PO_4 5% selama 18 jam yang kemudian dibilas dengan menggunakan aquades hingga pH 7 lalu dioven dengan suhu $180^\circ C$ selama 3 jam dapat menurunkan kadar kadmium pada limbah industri tekstil sebesar 71,43%.¹¹

4. Analisis Statistik

	Shapiro-Wilk		
	Statis	df	Sig.
Ukuran Adsorben	,883	33	,002
Debit Aliran	,883	33	,002
Kadar Kadmium	,864	33	,001

Hasil uji normalitas variasi ukuran adsorben, debit aliran dan kadar kadmium memiliki nilai sigifikansi *p-value* < 0,05. Sehingga H_0 ditolak, H_a diterima dan dapat disimpulkan data tidak normal.

Kadar Kadmium	
Chi-Square	27,824
df	4
Asymp. Sig.	,000

Berdasarkan hasil uji analisis *Kruskal-wallis* pada ukuran adsorben diatas didapatkan hasil *p-value* sebesar 0,000 ($p < 0,05$) sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan antara ukuran adsorben terhadap kadar kadmium. Sehingga dapat dilakukan

analisis lanjutan dengan menggunakan *Mann Whitney U Test*.

Kadar Kadmium	
Chi-Square	14,558
df	4
Asymp. Sig.	,006

Berdasarkan hasil uji analisis *Kruskal-wallis* pada diatas didapatkan hasil bahwa ada perbedaan yang signifikan antar debit aliran dengan kadar kadmium. Uji *Mann Whitney* dapat dilakukan untuk mengetahui perbedaan masing-masing variasi

Hasil uji *Mann Whitney* didapatkan hasil bahwa ada perbedaan yang signifikan antara pretest dengan semua variabel ukuran, kontrol dengan semua variabel ukuran, powder dengan gravel, powder dengan granul, dan granul dengan gravel, pretest dengan semua variasi debit aliran, serta kontrol dengan semua variasi debit aliran. Selain itu, perlakuan yang paling efektif untuk menurunkan kadar kadmium adalah ukuran adsorben yang berbentuk *powder* (100 mesh) karena kelompok tersebut memiliki *median difference* yang paling besar. Untuk variasi debit aliran, perlakuan yang paling efektif untuk menurunkan kadar kadmium adalah perlakuan dengan debit aliran 75 ml/menit.

Efek Ukuran Adsorben

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran adsorben maka kadar kadmiumnya akan semakin berkurang dan semakin besar ukuran adsorben maka semakin

besar kadar kadmiumnya. Hal ini disebabkan karena ukuran media adsorben yang kecil akan menyebabkan celah-celah semakin kecil, sehingga akan meningkatkan efektivitas penahanan mekanis partikel. Semakin kecil ukuran adsorben juga akan menyebabkan luas butiran yang dapat mengadsorpsi akan semakin besar sehingga akan meningkatkan efektivitas adsorpsi media tersebut. Semakin kecil ukuran diameter arang aktif maka semakin luas bidang permukaan serapan. Dengan luas permukaan yang luas maka akan menyebabkan ruang hampa dan pori-pori semakin banyak dan besar juga sehingga daya serap media akan semakin baik dan semakin besar.^{15,16}

Efek Debit Aliran

Hasil untuk variasi debit menunjukkan bahwa semakin lambat debit alirannya maka kadar kadmiumnya juga akan semakin berkurang. Dalam penelitian ini debit yang memiliki efektivitas rata-rata paling besar adalah debit 50 ml/menit yaitu sebesar 49,87%. Hal ini dikarenakan semakin kecil debit maka semakin lama juga waktu adsorben dan larutan melakukan kontak sehingga penyerapan dapat menjadi lebih optimal. Kondisi ini akan terus berlangsung hingga mencapai kondisi jenuh dimana arang aktif tidak dapat mengikat ion Cd^{2+} karena semua pori-pori karbon aktif telah penuh. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh rahma shafirinia bahwa debit paling optimum untuk menurunkan kadar logam berat adalah pada debit terkecil yaitu 50 ml/menit yaitu sebesar 58%.¹⁶ Debit aliran yang terlalu besar dikhawatirkan akan menyebabkan tidak berfungsinya adsorpsi secara efisien sehingga

tidak dapat terjadi secara sempurna akibat aliran yang terlalu cepat

Efek pH

pH larutan awal merupakan faktor kunci untuk menentukan kapasitas adsorpsi, dan sangat memiliki pengaruh besar kepada muatan permukaan dan elektrositas dari adsorben dan adsorbat, termasuk protonasi dan deprotonasi dari karbon aktif dan hidrasi, hidrolisis, dan presipitasi dari ion logam. Ketika pH larutan awal lebih rendah dibandingkan pH karbon aktif, maka karbon aktif akan bermuatan positif dan adsorpsi utamanya adalah meliputi adsorpsi fisik dan pertukaran ion. Adsorpsi Cd akan dikaitkan dengan pertukaran ion antara $Cd(OH)^+$, Pb^{2+} , $Pb(OH)^+$, Pb_2OH^{3+} , dan $Pb_4(OH)_4^{4+}$ dalam larutan dan H^+ pada karbon, dan juga antara H^+ dalam larutan dan ion Cd diadsorpsi pada karbon aktif. Penolakan ion cadmium diantara karbon aktif dan larutan akan menurunkan kapasitas adsorpsi mereka.¹⁷

Permukaan karbon akan bermuatan negatif ketika pH di larutan awal lebih besar dari pada pH karbon. Sehingga adsorpsi Cd utamanya disebabkan oleh ikatan elektrostatis. Dengan meningkatkan pH awal larutan, maka kandungan H^+ dalam larutan akan berkurang, dan persaingan antara ion Cd dan H^+ juga berkurang. Sehingga muatan negatif pada permukaan karbon akan akan meningkat Cd dengan meningkatnya pH dalam larutan, menjadikan tempat adsorpsi bergabung dengan kation meningkat, jadi ada pengikatan dalam adsorpsi Cd. Presipitasi Cd pada permukaan karbon termasuk kombinasi kelompok fosfat dengan Cd pada permukaan karbon juga menyebabkan peningkatan kapasitas adsorpsi mereka. Kapasitas adsorpsi

karbon aktif sangatlah berpengaruh pada pH larutan awal untuk mencapai efektivitas adsorpsi yang lebih baik

Efek Suhu

Penelitian dilakukan di tempat yang tertutup dan memiliki suhu yang konstan karena terdapat pendingin ruangan (AC). Suhu air dikendalikan agar tetap berada pada suhu normal dimana tidak terlalu tinggi dan tidak terlalu rendah. Suhu terlalu panas menyebabkan pengolahan limbah cair tidak maksimal karena kecepatan adsorpsi akan menurun jika suhu larutan semakin tinggi. Semakin tinggi suhu akan mendekati titik didihnya sehingga akan semakin kecil pula peristiwa adsorpsi.^{12,13}

KETERBATASAN PENELITIAN

1. Cairan pupuk tidak hanya mengandung kadmium tetapi juga mengandung kandungan lain yang dapat mengganggu proses adsorpsi.
2. Debit aliran masih diukur secara manual belum menggunakan alat *flowmeter* yang lebih akurat dalam mengukur debit aliran.
3. Pengukuran pH dan suhu belum menggunakan thermometer digital dan pH meter yang memiliki ketelitian yang lebih tinggi melainkan hanya menggunakan kertas pH dan thermometer air raksa.
4. Peneliti tidak melakukan pengukuran kadar kadmium sendiri.

KESIMPULAN

1. Rata-rata kadar kadmium dalam perairan pertanian bawang Daerah Brebes Jawa Tengah berdasarkan penelitian pendahuluan adalah sebesar 0,028 mg/l yang melebihi baku mutu air limbah.

2. Rata-rata kadar kadmium awal pada air limbah artifisial berupa larutan pupuk sebelum perlakuan yaitu sebesar 0,385 mg/l.
3. Rata-rata kadar kadmium setelah perlakuan dengan media arang kayu aktif *Accacia mangium* dengan variasi ukuran gravel dengan debit 100 ml/menit sebesar 0,341mg/l, gravel dengan debit 75 ml/menit sebesar 0,309 mg/l, gravel dengan debit 50 ml/menit sebesar 0,307mg/l, granul dengan debit 100 ml/menit sebesar 0,273mg/l, granul dengan debit 75 ml/menit sebesar 0,210mg/l, granul dengan debit 50 ml/menit sebesar 0,208mg/l, powder dengan debit 100ml/menit sebesar 0,203 mg/l, powder dengan debit 75 ml/menit sebesar 0,197mg/l, dan powder dengan debit 50 ml/menit sebesar 0,193 mg/l.
4. Rata-rata kadar timbal setelah perlakuan adalah 0,249 mg/l.
5. Rata-rata efektivitas penurunan kadar kadmium dengan ukuran adsorben Gravel dengan debit 100ml/menit, 75ml/mnt, dan 50ml/mnt adalah masing-masing 11,43%, 19,74%, dan 20,25%. Rata-rata efektivitas penurunan kadar kadmium dengan ukuran adsorben Granul dengan debit 100ml/menit, 75ml/mnt, dan 50ml/mnt adalah masing-masing 29,09%, 45,45%, dan 45,97%. Rata-rata efektivitas penurunan kadar kadmium dengan ukuran adsorben powder dengan debit 100ml/menit, 75ml/mnt, dan 50ml/mnt adalah masing-masing 47,27%, 48,83%, dan 49,87%. Perlakuan yang paling efektif dalam menurunkan kadar kadmium yaitu perlakuan

dengan ukuran *powder* (100 mesh) dan debit aliran 50 ml/menit dengan rata-rata penurunan kadar kadmium yaitu sebesar 0,193 (49,87%).

SARAN

Bagi Peneliti Lain

- a. Diperlukan penelitian lanjutan untuk mengetahui tingkat kejenuhan media arang kayu aktif.
- b. Diperlukan penelitian lanjutan dengan variasi ketebalan media dan variasi lama kontak media arang kayu aktif
- c. Diperlukan penelitian lanjutan untuk mengetahui suhu yang paling optimum untuk adsorpsi pada arang kayu aktif.

DAFTAR PUSTAKA

1. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Pencemaran Bahan Agrokimia Perlu Diwaspadai. *War Penelit dan Pengemb Pertan Indones* [Internet]. 2003;25(6):13–4. Available from: <http://pustaka.litbang.pertanian.go.id/publikasi/wr256038.pdf>
2. Mulyati. Pupuk dan Pemupukan. Mataram: Mataram University Press; 2006.
3. Wibowo P. Panduan Praktis Penggunaan Pupuk dan Pestisida. Penebar Swadaya; 2017. 23-29 p.
4. Las I, Subagyono K, Setiyanto AP. Isu dan Pengelolaan Lingkungan dalam Revitalisasi Pertanian. *J Penelit dan Pengemb Pertan*. 2006;25(3):173–93.
5. Alloway BJ. Heavy Metal in Soil (Second Edition). 2nd ed. UK: Blackie Academic and Professional; 1995. 44-45 p.
6. Kasno A, Suwandi, Anas I. Usaha Mengurangi Kadar Logam berat Melalui Pengapuran pada Tanah Tercemar Tailing. In: *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan Pertanian*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat; 2003.
7. Ardiwinata AN, Jatmiko, Harsanti ES. Monitoring Residue at West Java. In: *Proceeding of Greenhouse Gases Emission Research and Increasing Rice Productivity in Lowland Rice*. Jakenan: Research Station for Agricultural Environment Preservation; 1999.
8. Lopes AS da C, Carvalho SML de, Brasil D do SB, Mendes R de A, Lima MO. Surface Modification of Commercial Activated Carbon (CAG) for the Adsorption of Benzene and Toluene. *Am J Anal Chem*. 2015;6(May):528–38.
9. Tran HH, Roddick FA, Donnell JAO. Comparison of Chromatography and Dessicant Silica Gels for The Adsorption of Metal Ions. *Pergamon*. 1999;33(13):2992–3000.
10. Tangjuank S, Insuk N, Tontrakoon J, Udeye V. Adsorption of Lead (II) and Cadmium (II) ions from aqueous solutions by adsorption on activated carbon prepared from cashew nut shells. *World Acad Sci Eng Technol*. 2009;52(li):110–6.
11. Rumidatul A. Sebagai Adsorben Pada Pengolahan Air Limbah. IPB (Bogor

- Agricultural University); 2006.
12. Tang C, Shu Y, Zhang R, Li X, Song J, Li B, et al. Comparison of the removal and adsorption mechanisms of cadmium and lead from aqueous solution by activated carbons prepared from *Typha angustifolia* and *Salix matsudana*. *RSC Adv.* 2017;7(26):16092–103.
 13. Gaya UI, Otene E, Abdullah AH. Adsorption of aqueous Cd(II) and Pb(II) on activated carbon nanopores prepared by chemical activation of doum palm shell. *Springerplus.* 2015;4(1):1–18.
 14. Shartape A. Kinetic and Equilibrium Studies of the Adsorption of Cd (II) from Aqueous Solutions by Wood Apple Shell Activated Carbon. *Taylor Fancis Desalin Water Treat.* 2013;4638–50.
 15. Hassler JW. Purification with Activated Carbon: Industrial Commercial. New York: Environmental. Chemical Publishing Co. Inc; 1974.
 16. Shafirinia R. Pengaruh Variasi Ukuran Adsorben dan Debit Aliran Terhadap Penurunan Khrom (Cr) dan tembaga (Cu) dengan Arang Aktif dari Limbah Kulit Pisang pada Limbah Cair Industri Pelapisan Logam (Elektroplating) Krom. *J Tek Lingkungan.* 2016;5(1):1–9.
 17. Jimoh A. Sorption Study of Cd(II) from Aqueous Solution Using Activated Carbon Prepared from *Vitellaria paradoxa* Shell. *J Bioremediation Degrada.* 2015;6(3):1–10.