

KAJIAN EFEKTIVITAS PENGOLAHAN AIR MINUM SESUAI PERMENKES MENGGUNAKAN ADSORBEN LEMPUNG BANDING ANDISOL DALAM MENJERAT LOGAM BERAT KADMIUM (CD) DAN BAKTERI PATOGEN

Fathoni Firmansyah*, Pranoto**, Inayati**

*Magister Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana UNS**Staf Edukatif Magister Ilmu Lingkungan Universitas Sebelas Maret Surakarta

Abstrak

Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi semua makhluk hidup. Selain itu, air juga menjadi salah satu sumber penyebab dari penyakit yang menyerang manusia. Keberadaan polutan logam berat salah satunya kadmium (Cd) di dalam badan air merupakan masalah lingkungan yang memberi dampak negatif terhadap kualitas sumber air. Adsorpsi merupakan salah satu cara atau metode yang sering digunakan untuk pengolahan air limbah menjadi air bersih. Lempung dan alofan digunakan sebagai penjerap (adsorben) ion logam Cd dengan metode batch. Teknologi penjernih air menggunakan filter keramik digunakan untuk mengurangi kandungan Cd dalam air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi lempung dan andisol, suhu aktivasi dan waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi Cd dalam larutan model; kondisi optimum adsorpsi dan efektivitas filter keramik untuk menurunkan Cd dalam air.

Identifikasi dan karakterisasi adsorpsi dilakukan dengan uji NaF, Spektroskopi infra merah (FTIR), difraksi sinar-x (XRD), luas permukaan spesifik dan keasaman total spesifik. Konsentrasi logam Cd dianalisis dengan spektroskopi serapan atom. Isoterm adsorpsi ditentukan dengan persamaan Freundlich dan Langmuir. Teknologi penjernih air dimodifikasi menggunakan filter keramik yang dibuat dengan komposisi campuran lempung dan andisol. Hasil penelitian menunjukkan sampel lempung dan andisol mengandung mineral-mineral. Kondisi optimum adsorpsi dicapai pada suhu aktivasi 200°C, waktu kontak 60 menit dan komposisi adsorben 60:40% lempung berbanding andisol. Isoterm Freundlich mewakili adsorpsi Cd pada adsorpsi lempung dan andisol dengan koefisien determinasi (R^2) (0,98) dan konstanta (k) (1,59). Hasil pengukuran menunjukkan teknologi penjernih air menggunakan filter keramik efektif menurunkan bakteri koliform dan kandungan Cd dalam air.

Kata kunci : Kadmium, Adsorpsi, Lempung, Andisol, Teknologi Penjernih Air Filter Keramik.

Pendahuluan

Air merupakan sumber daya alam yang penting bagi semua makhluk hidup. Keberadaan polutan logam berat di dalam badan air merupakan masalah lingkungan

saat ini yang secara signifikan memberi dampak negatif terhadap kualitas sumber air sehingga dapat membahayakan kesehatan (Naiya *et al.*, 2009).

Kadmium (Cd) merupakan logam berat yang paling banyak ditemukan pada lingkungan, khususnya lingkungan perairan, serta memiliki efek toksik yang tinggi, bahkan pada konsentrasi yang rendah (Almeida *et al.*, 2009).

Adsorpsi adalah akumulasi suatu zat pada antar muka (interface) diantara dua fase. Zat yang diserap disebut adsorbat/solute dan zat yang menyerap disebut adsorben.

Upaya pengolahan air limbah menjadi air bersih telah dilakukan beberapa cara. Adsorpsi merupakan salah satu cara atau metode yang sering digunakan karena prosesnya relatif sederhana dan bahan-bahannya mudah diperoleh. Lempung (*clay*), alofan, karbon aktif, zeolit, dan biomassa merupakan beberapa contoh adsorben yang sering digunakan (Sistha, 2013).

Andisol merupakan tanah yang berwarna hitam kelam, sangat porous, mengandung bahan organik dan liat tipe amorf, terutama alofan serta sedikit silika dan alumina atau hidroksida besi, mempunyai derajat ketahanan struktur yang tinggi sehingga mudah diolah (Darmawijaya, 1990). Tanah Andisol tersebar diseluruh Indonesia, terutama di pulau Jawa seperti di Gunung Lawu, Pegunungan Dieng, Gunung Merapi, Gunung Merbabu dan Gunung Wilis (Munir, 1996). Alofan mempunyai karakteristik sebagai penjerap yang baik, seperti porositas, daya serap dan pertukaran kation yang tinggi. Banyak penelitian telah memanfaatkan alofan sebagai penjerap logam berat dengan efektivitas cukup tinggi (Herald, dkk., 2004; Pranoto *et al.*, 2013).

Lempung merupakan bagian dari tanah liat yang memiliki pori-pori, situs aktif pada permukaannya, dan berkomposisi aluminium silikat hidrous ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$) (Army, 2009). Lempung dapat dikombinasi-

kan dengan alofan alam karena mempunyai karakteristik yang mirip sebagai penjerap.

Sampel lempung diperoleh dari daerah Bekonang, Mojolaban, Sukoharjo dan andisol dari Cemoro Sewu, Gunung Lawu, Karanganyar. Lempung dan andisol selanjutnya dikembangkan untuk pembuatan filter keramik untuk menurunkan kadar logam Cd dalam air. Agmalini, dkk. (2013) menggunakan membran keramik berbahan tanah liat dan abu terbang batubara untuk meningkatkan kualitas air rawa.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi tanah lempung dan andisol, suhu aktivasi dan waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi ion logam Cd dalam larutan model, mengetahui kondisi optimum adsorpsi campuran tanah lempung dan andisol sebagai penjerap ion logam Cd dalam larutan model dan mengetahui efektivitas pengolahan air minum sesuai Permenkes menggunakan adsorben lempung banding andisol dalam menjerat logam berat Cd dan bakteri patogen.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan bulan Juni 2014–Februari 2015 di Laboratorium Terpadu Fakultas MIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta dan PT. Sucofindo Semarang.

Alat

- a. *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)*
- b. *Fourier Transform Infra-Red (FT-IR)*
- c. *X-Ray Diffraction (XRD)*
- d. *Surface Area Analyzer (SAA)*
- e. *shaker*
- f. Neraca analitik listrik
- g. *Furnace.*
- h. *Centrifuge.*
- i. Tang penjepit (tangkrus).

- j. Desikator.
- k. Indikator universal.
- l. Seperangkat alat gelas.
- m. Autoklaf (Hirayama, Japan).
- n. Lemari bersih yang dilengkapi dengan laminar air flow (ESCO).
- o. Incubator
- p. Vortex (Fischer Scientific).
- q. Oven (WTB binder, Lab-Line).
- r. Timbangan analitik
- s. Lemari pendingin dan alat-alat gelas.

Bahan

- a. Lempung dari Bekonang, Surakarta, Jawa Tengah.
- b. Andisol dari Cemoro Kandang, Gunung Lawu, Jawa Tengah.
- c. Air sumur
- d. Aquades.
- e. HNO_3 pekat.
- f. NaF.
- g. Amonia
- h. Kertas saring (Whatman 40).

Cara Kerja

Preparasi Adsorben

1. Lempung

Lempung yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari daerah Bekonang, Sukoharjo, Jawa Tengah. Lempung yang diperoleh dibersihkan dari pengotor dan dikeringkan dengan cara diangin-anginkan di udara terbuka hingga kering, lalu lempung digerus hingga halus. Lempung kemudian diayak dengan ayakan 150 mesh. Serbuk yang lolos 150 mesh direndam dalam aquades dan disaring, lalu dikeringkan pada temperatur 105°C selama 4 jam (Sulistyarini, 2012).

2. Andisol

Andisol yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari daerah Cemoro

Kandang, Gunung Lawu, Jawa Timur. Tanah andisol yang diperoleh dibersihkan dari pengotor, dicuci dengan air dan dikeringkan dengan cara diangin-anginkan di udara terbuka hingga kering, lalu andisol digerus hingga halus. Selanjutnya, tanah andisol diayak dengan ayakan 150 mesh. Serbuk yang lolos 150 mesh direndam dalam aquades dan disaring, lalu dikeringkan pada temperatur 105°C selama 4 jam (Sulistyarini, 2012).

Identifikasi dan Karakterisasi Penjerap

Identifikasi dan karakterisasi penjerap dilakukan dengan uji NaF, XRD, FTIR, SAA, AAS, uji keasaman total spesifik.

Aktivasi Penjerap

Aktivasi penjerap dilakukan secara kimia dan fisika. Aktivasi kimia hanya dilakukan untuk tanah andisol, yaitu sebanyak 50 gram tanah andisol ditambahkan 250 mL NaOH dengan konsentrasi 3 M. Selanjutnya campuran tersebut diaduk pada temperatur 70°C dengan waktu pengadukan selama 5 jam, lalu didinginkan. Setelah campuran tersebut dingin kemudian disaring dan dicuci dengan aquades sampai pH filtratnya netral atau sama dengan pH pelarut. Setelah itu, tanah andisol dikeringkan dalam oven selama 4 jam atau sampai dengan kering pada temperatur 105°C (Sulistyarini, 2012).

Selanjutnya dibuat variasi komposisi adsorben penjerap antara lempung dan tanah andisol, yaitu 0:100, 20:80, 40:60, 50:50, 60:40, 80:20 dan 100:0 dimana pencampuran antara lempung dan tanah andisol tersebut dilakukan dengan cara pengadukan (stirer) selama 1 jam. Setelah itu, disaring dan fasa padat dicuci dengan aquabides beberapa kali, kemudian dilanjutkan dengan pengeringan dalam oven pengering selama 4 jam atau sampai dengan kering pada temperatur 105°C . Campuran lempung dan

tanah andisol yang sudah kering lalu digerus dengan lumpang dan diayak dengan ayakan 150 mesh lagi. Tiap-tiap komposisi campuran lempung dan tanah andisol selanjutnya dilakukan aktivasi fisika pada variasi suhu 100, 200 dan 400°C selama 3 jam. Penjerap tersebut kemudian digunakan untuk uji kinerja penjerap guna mencari kondisi optimum terhadap penyerapan ion logam Cd dalam larutan model dan efektivitasnya ketika diaplikasikan dalam air sumur.

Uji Kinerja Penjerap

Adsorpsi Ion Logam Cd dalam Larutan Model.

Proses adsorpsi ion logam Cd dilakukan dengan metode perendaman (*batch*), yaitu dengan cara sebanyak 0,05 gram campuran empung dan tanah andisol dimasukkan ke dalam gelas beker 100 mL yang berisi 15 mL larutan Cd 6 ppm. Kemudian diaduk (stirer) dengan kecepatan konstan (150 rpm) pada temperatur kamar selama 30, 60, dan 90 menit. Selanjutnya disaring dengan kertas Whatman No. 40 dan filtratnya diukur dengan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) untuk mengetahui konsentrasi ion logam Cd yang tidak teradsorpsi oleh penjerap.

Penentuan Isoterm Adsorpsi

Penjerap terbaik yang telah diperoleh kemudian dilakukan adsorpsi dengan variasi konsentrasi adsorbat untuk mengetahui jenis isoterm adsorpsinya. Sebanyak 0,05 gram penjerap terbaik dimasukkan ke dalam gelas beker 100 mL dan ditambahkan masing-masing 15 mL larutan Cd dengan variasi konsentrasi 2, 4, 6, 8 dan 10 ppm lalu diaduk (stirer) pada waktu optimum yang diperoleh. Hasil adsorpsi tersebut disaring dengan kertas Whatman No. 40, selanjutnya filtrat yang diperoleh diukur dengan AAS untuk mengetahui ion logam Cd yang tidak teradsorpsi. Hasil yang diperoleh lalu dianalisis dengan isoterm Langmuir dan Freundlich.

Teknologi Penjernihan Air Reserve Osmosis menggunakan Filter Keramik

Teknologi penjernihan air menggunakan filter keramik yang berbahan lempung:andisol dan reserve osmosis. Proses pembuatan filter keramik dilakukan oleh pengrajin gerabah di daerah Bayat, Klaten dengan bahan baku dan komposisi yang telah ditetapkan peneliti.

Prosedur kerja teknologi penjernihan air adalah air sumur masuk ke kran yang dialirkan melalui selang yang berukuran ¼ inchi, kemudian aliran air melalui selang diatur oleh flow meter. Pompa menekan air masuk ke tangki penstabil. Didalam tangki penstabil ada empat selang yaitu yang pertama dari pompa air masuk ke tangki penstabil, kedua air masuk ke rumah membran, ketiga air diatur oleh kran untuk mengukur memvariasikan tekanan dan keempat untuk mengetahui tekanan menggunakan pressure gauge. Air kemudian didorong oleh pompa bertekanan dan masuk ke rumah membran dan melewati pori-pori membran. Air yang lolos melewati pori membran akan mengalir menuju ke aliran hasil olahan. Air dilewatkan tiga housing yang berisi filter keramik, karbon aktif granul, karbon block, lalu menuju housing berisi membran osmosis dan terakhir melewati serbuk karbon aktif. Air yang sudah melewati pori-pori membran keluar dan dianalisa mengenai kandungan bakteri E Coli, koliform dan logam Cd sesuai Permenkes.

Hasil dan Pembahasan

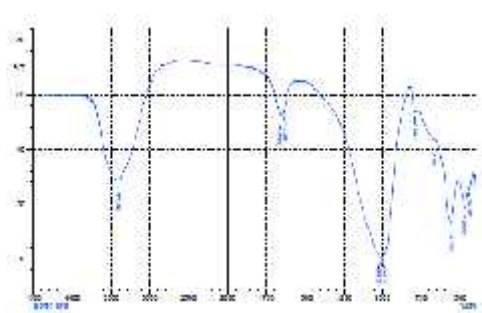
Identifikasi Penjerap

1. Analisis Uji NaF

Uji NaF dilakukan untuk mengetahui keberadaan alogan dalam sampel tanah andisol. Dari hasil uji NaF diperoleh pH sebesar 10,18 yang menunjukkan bahwa pada sampel tanah andisol mengandung

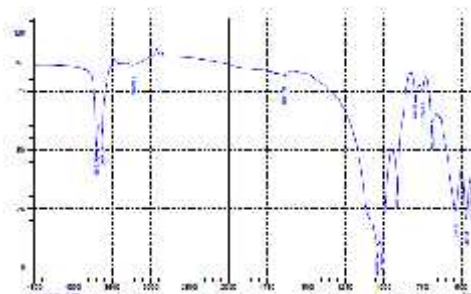
alofan yang memadai. Munir (1996) menyatakan bahwa kandungan alofan dalam tanah dapat diketahui dengan mengukur pH dari 1 gram tanah dalam 50 mL larutan NaF 1 M selama 2 menit dan apabila nilai pH lebih besar dari 9,4 menunjukkan bahwa terdapat kandungan alofan yang tinggi dalam tanah. NaF dapat memberikan reaksi yang cepat ketika ditambahkan ke dalam sampel alofan, yaitu F dapat bereaksi dengan Al dan memecah struktur sehingga akan melepaskan OH- (Parfit and Henmi, 1980).

2. Analisis Uji



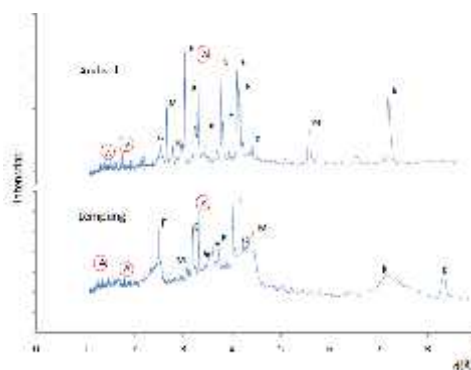
Gambar 1. spektra FT-IR andisol

Berdasarkan gambar 1, 2 dan 3 dapat disimpulkan bahwa serapan-serapan tersebut dapat disimpulkan bahwa adsorben penjerap tanah lempung dan andisol mengandung mineral-mineral yang diidentifikasi ber-



Gambar 2. spektra FT-IR lempung

3. Analisis Uji XRD



Gambar 3. Difraktogram XRD lempung dan andisol

dasarkan puncak difraksi pada d(Å) yang karakteristik. Mineral yang terkandung dalam penjerap tanah lempung dan andisol, yaitu alofan, felspar, gipsit, kaolin dan monmorilonit.

Tabel 1. Data penentuan luas permukaan

Sampel	Luas permukaan (m ² /g)	Sampel
Andisol	245,7900 ⁽¹⁾	Andisol
Lempung	56,5410	Lempung

Sumber: hasil pengukuran pada tanggal 16 Oktober 2012

Tabel 2. Data Penentuan Keasamaan

Sampel	Luas permukaan (m ² /g)	Sampel
Andisol	2,3529	Andisol
Lempung	3,529	Lempung

Sumber: hasil pengukuran pada tanggal 16 Oktober 2012

Berdasarkan data pada Tabel 2 dan 3 dapat dilihat bahwa luas permukaan andisol lebih besar. Luas permukaan inilah yang menyediakan luasan area pada permukaan lempung maupun andisol dalam proses adsorpsi terhadap logam Cd. Sedangkan keasamaan lempung lebih tinggi dibandingkan andisol. Hal tersebut menunjukkan bahwa permukaan lempung menyediakan situs aktif yang lebih banyak dimana situs aktif ini akan menjadi media dalam proses adsorpsi ion logam Cd.

Uji Kinerja Adsorben

Aktivasi dilakukan pada tanah lempung dan andisol untuk meningkatkan karakter fisika kimia. Aktivasi dilakukan secara kimia hanya untuk tanah andisol yang mengandung alofan, yaitu dengan perendaman NaOH 3 M selama 5 jam, karena aktivasi kimiawi menggunakan larutan basa mampu melarutkan pengotor yang dapat larut dalam basa.

Lempung yang digunakan dalam penelitian ini tidak dilakukan aktivasi secara kimia. Hal ini didasarkan pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Lihin, dkk. (2012) dimana lempung yang diaktivasi kimia dan lempung tanpa aktivasi kimia memiliki nilai kapasitas adsorpsi yang tidak berbeda signifikan. Kemampuan lempung ini dapat ditingkatkan dengan cara aktivasi fisik maupun kimia (Talaat *et al.*, 2011). Oleh karena itu, pada penelitian ini lempung tidak dilakukan aktivasi secara kimia.

Tanah andisol dilakukan aktivasi secara kimia, selanjutnya dilakukan pembuatan variasi komposisi perbandingan lempung: tanah andisol (0:100, 20:80, 40:60, 50:50, 60:40, 80:20 dan 100:0). Masing-masing campuran tersebut selanjutnya dilakukan aktivasi secara fisika menggunakan variasi suhu kalsinasi, yaitu 100, 200, dan 400°C.

Berdasarkan data hasil adsorpsi tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi adsorben terbaik diperoleh pada perbandingan lempung: tanah andisol 60:40 dengan suhu kalsinasi 200°C menggunakan waktu kontak adsorpsi 60 menit.

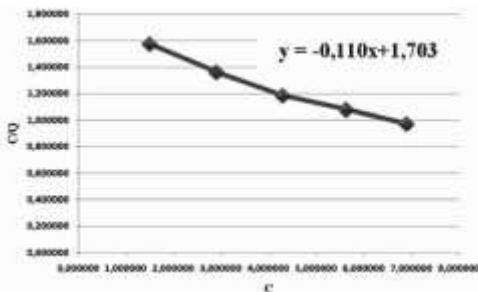
Variasi komposisi adsorben terbaik diperoleh pada perbandingan lempung: tanah andisol 60:40. Jika dilihat dari gugus aktif keduanya, lempung dan tanah andisol termasuk dalam kelompok mineral alumino silikat alam yang memiliki gugus aktif berupa Si-OH, Al-OH, dan -OH sehingga keduanya dapat menyediakan muatan elektronegatif pada permukaannya yang memungkinkan terjadinya pertukaran kation maupun proses adsorpsi ion logam Cd.

Penentuan Isoterm Adsorpsi

Persamaan isoterm Langmuir ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{K Q_{max}} + \frac{C_e}{Q_{max}}$$

dan isoterm Freundlich menggunakan persamaan $\log Q = \log K + 1/n \log C$ dengan masing-masing dibuat kurva C vs C/Q dan $\log C$ vs $\log Q$.



Gambar 4. Kurva Isoterm Langmuir Logam Cd



Gambar 5. Kurva Isoterm Freundlich Logam Cd

Gambar 4 dan 5 menunjukkan bahwa isoterm Freundlich mempunyai nilai $R^2 = 0,998$ lebih besar dibanding isoterm Langmuir, yaitu $R^2 = 0,979$ sehingga dapat disimpulkan bahwa jenis isoterm pada penelitian ini mengikuti persamaan Freundlich.

Isoterm Freundlich merupakan isoterm yang menggambarkan proses adsorpsi secara fisika. Persamaan isoterm Freundlich menjelaskan bahwa jerapan terjadi pada lebih dari satu permukaan (multilayer) dan penjerap mempunyai bidang permukaan heterogen dengan energi pengikat yang berbeda-beda. Jerapan ion logam Cd oleh penjerap campuran tanah lempung dan andisol terjadi secara fisisorpsi. Jenis jerapan ini cocok untuk mekanisme jerapan yang

membutuhkan proses regenerasi karena zat yang terjerap hanya terikat lemah pada permukaan penjerap. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai k sebesar 1,59 dan n sebesar 1,314 dengan isoterm Freundlich. Sebagai perbandingan, adsorpsi ion logam Cd oleh adsorben cangkang telur bebek mengikuti isoterm Freundlich dengan nilai k sebesar 1,4077 mg/g dan nilai n sebesar 0,9969 (Krisnawati dkk, 2013).

Teknologi Penjernih Air menggunakan Filter Keramik

Salah satu proses pengolahan air minum adalah menggunakan teknologi penjernih air filter keramik.

Teknologi penjernih air dengan menggunakan filter keramik berbahan lempung:andisol diharapkan dapat menghilangkan 90-99% dari patogen dan kandungan logam yang ditemukan dalam air. Metode Reverse Osmosis (RO) adalah teknik penjernihan air dengan membran reverse osmosis yang mempunyai ukuran pemfilteran sebesar 0.0001 mikron, yang akan berfungsi menurunkan Total Dissolved Solids (TDS) dalam air. Membran ini terbuat dari bahan semi permeable dan mampu menyaring kandungan logam, virus dan bakteri dalam air (Endarko dkk, 2013). Selain itu ditambahkan dengan filter keramik berbahan lempung andisol pada reserve osmosis. Li and Lee (2009) menjelaskan bahwa sifat-sifat istimewa membran keramik berpori, seperti kestabilan terhadap suhu tinggi, kekuatan mekanis dan mudah dalam hal regenerasi. Bahan-bahan untuk membuat filter keramik dapat bervariasi namun sebagai bahan utamanya adalah tanah liat karena kemampuannya untuk dibentuk dan tahan pada suhu tinggi.

Filter keramik mampu menurunkan berbagai bahan pencemar fisik, kimia dan

biologi sehingga diperoleh air bersih yang dapat ditoleransi untuk air minum. Hartopo (2014) menyatakan bahwa filter keramik efektif dalam menurunkan kadar ion logam Mn dalam air dengan tingkat keefektifan sebesar 98,9%.

Penelitian ini, penyerapan ion logam Cd terhadap lempung dan tanah andisol dibuktikan pada larutan model melalui metode Batch dengan persentase 97,9%, hal ini dikarenakan air sumur tidak mengandung ion logam Cd. Partikel tanah lempung

memiliki kemampuan untuk mengembang apabila kontak dengan air serta memiliki kapasitas pertukaran ion yang tinggi sehingga mampu menahan kation pada partikelnya dalam jumlah besar (Bhattacharya and Gupta, 2006; Zhao *et al.*, 2011; Grasi *et. al.*, 2012). Selain itu, adanya partikel tanah andisol yang mempunyai porositas, luas permukaan dan daya tukar kation yang tinggi (Pranoto *et al.*, 2013; Herald, dkk., 2004; Munir, 1996) menyebabkan kemampuan menurunkan ion logam Cd meningkat

Tabel 3. Data hasil pemeriksaan air sumur melalui teknologi penjernih air

No	Parameter	Hasil	Kadar maksimum yang diperbolehkan	Keterangan
1	E Coli	0	0	MS
2	Total Koliform	0	0	MS
3	Kadmium	0	0,003	MS

Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut

1. Variasi komposisi lempung dan andisol, suhu kalsinasi, dan waktu kontak berpengaruh pada adsorpsi terhadap ion logam kadmium (Cd).

2. Kondisi optimum adsorpsi adsorben lempung dan andisol diperoleh pada perbandingan lempung dan tanah 60:40 dengan suhu kalsinasi 200 C dan waktu kontak 60 menit.

3. Teknologi penjernih air reserve osmosis menggunakan filter keramik lempung andisol dapat disimpulkan dapat mengurangi logam dan bakteri patogen sehingga menghasilkan air yang layak minum.

Daftar Pustaka

- Agmalini, S., Lingga, N.N., Nasir, S., 2013. *Peningkatan Kualitas Air Rawa Menggunakan Membran Keramik Berbahan Tanah Liat Alam dan Abu Terbang Batubara*. *Jurnal Teknik Kimia*. No.2, Vol.19, hlm.59-68
- Almeida, J. A., Barreto, R. E., Novelli, L. B., Castro, F. J., and Moron, S. E., 2009. Oxidative Stress Biomarkers and Aggressive Behavior in Fish Exposed to Aquatic Cadmium Contamination. *Neotropical Ichthyology*, Vol 7, pp. 103-108.
- Army, A. 2009. *Lempung Aktif sebagai Adsorben Ion Fosfat dalam Air*. *Jurnal Chemical*. Vol: 10. Nomer 2: 14-23.

- Bhattacharayya, K.G. and Gupta, S.S. 2006. *Kaolinite, montmorillonite, and their modified derivatives as adsorbents for removal of Cu(II) from aqueous solution*. *Separation and Purification Technology* 50, 388-397.
- Darmawijaya, I. 1990. *Klasifikasi Tanah*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Endarko, dkk. 2013. *Rancang Bangun Sistem Dekontaminasi dan Sterilisasi Pada Proses Penjernihan Air Sungai Berbasis Lampu Ultraviolet (UV)*. Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Grasi, M., Kaykioglu, G., Belgiorino, V., Lofrano, G., 2012. *Removal of Emerging Contaminants from Water and Wastewater by Adsorption Process*. dalam Lofrano, G. (edt.). *SpringerBriefs in Green Chemistry for Sustainability*. Department of Civil Engineering, University of Salerno. Fisciano. DOI: 10.1007/978-94-007-3916-1_2. ISBN : 978-94-007-3915-4.
- Hartopo. 2014. *Kajian Efektivitas Campuran Lempung Bekonang dan Andisol Gunung Lawu Sebagai Penjerap Logam Berat Mangan (Mn) Untuk Peningkatkan Kualitas Air*. UNS: Surakarta.
- Herald, E., Pranoto, dan Prowida, Dini. 2004. *Studi Karakterisasi dan Aktivasi Alofan Alam serta Aplikasinya sebagai Adsorben Logam Berat Zn Menggunakan Metode Kolom*. *Journal Alchemy*. 3(1), hlm. 32-42.
- Lihin S., Nurhayati dan Erman. 2012. *Kinetika Adsorpsi Kation Pb(II) oleh Lempung Alam Desa Talanai yang Diaktivasi NaOH pada Kalsinasi Suhu 600 C*. Fakultas MIPA Universitas Riau.
- Li, Liangxiong and Lee, Robert. 2009. *Purification of Produced Water by Ceramic Membranes: Material Screening, Process Design and Economics*. *Separation Science and Technology*, 44: 3455–3484, ISSN: 0149-6395 print=1520-5754 online DOI: 10.1080/01496390903253395
- Munir, 1996. *Tanah-Tanah Utama Indonesia*. Pustaka Jaya. Jakarta, hlm:71-75
- Naiya, T.K., Chowdhury, P., Bhattacharya, A.K., and Das, S.K. 2009. *Sawdust and Neem bark as Low-cost Natural Biosorbent for Adsorptive Removal of Zn(II) and Cd(II) ions from Aqueous Solutions*, *Chemical Engineering Journal*, 148, pp. 68–79.
- Parfitt, R. L. and T. Hemni. 1980. *Structure of some Allophane from New Zealand*. *Clay and Clay Minerals*. 28 (4): 285-294.
- Pranoto, Sugiyarto K. H., Suranto and Ashadi. 2013. *Javanese Volcanic Allophane as Heavy Metal Adsorber to Improve the Quality of Drinking Water in Surakarta*. *Journal of Environment and Earth Science*. Vol. 3, No.5, ISSN 2224-3216 (Paper) ISSN 2225-0948 (Online).
- Sistha, P. W. V. 2013. *Uji Efektivitas Adsorpsi Lempung/Alofan terhadap Logam Tembaga (Cu) Limbah Pertambangan Tembaga menggunakan Metode Batch*. Skripsi Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. UNS : Surakarta.

- Sulistiyarini, A. 2012. *Identifikasi, Aktivasi, dan Karakterisasi Tanah Vulkanik Gunung Arjuna sebagai Adsorben Logam Tembaga (Cu)*. Prosiding Skripsi Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret.
- Talaat, H. A., El Delrawy, N. M., Abulnour, A. G. dan Hani, H. A., 2011. *Evaluation of Heavy Metals Removing Using Some Egyptian Clays*. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology. IPCBEE. Vol. 6. IACSIT Press
- Zhao, G., Wu, X., Tan, X., dan Wang, X. 2011. *Sorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solution: A Review*. The Open Colloid Science Journal. 4. 19-31