

Pengolahan Airtanah Tercemar Logam Berat Merkuri (Hg) Akibat Pertambangan Emas Rakyat sebagai Sumber Air Bersih dengan Adsorpsi Karbon Aktif Di Desa Cihonje, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah

Indra Alfianda, Andi Sungkowo, dan Ekha Yogafanny
Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran” Yogyakarta
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Condongcatur, Yogyakarta, 55283

E-mail korespondensi: indraalfianda@gmail.com

ABSTRAK

Penambangan merupakan sektor alternatif bagi masyarakat untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Di Desa Cihonje, Kabupaten Banyumas terdapat kegiatan penambangan emas yang di kelola secara mandiri oleh masyarakat. Kegiatan pertambangan tersebut menggunakan cara tradisional. Masyarakat dalam usaha pengekstrakan emas menggunakan logam berat merkuri (Hg). Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air di jelaskan bahwa ambang batas merkuri (Hg) sebesar 0,001 mg/L. Guna mencapai batas standar yang diharapkan maka penelitian yang dilakukan akan mengkait hubungan Hg terhadap pencemaran pada airtanah di sekitar daerah penelitian. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis tingkat pencemaran logam berat merkuri (Hg) di airtanah akibat penambangan emas rakyat, dan menganalisis efektivitas teknik pengolahan airtanah tercemar logam berat merkuri (Hg). Metode yang digunakan adalah metode survey dan pemetaan, analisis laboaratorium, wawancara, analisis deskriptif, dan metode indeks pencemaran. Pengambilan sampling air limbah berdasarkan metode purposive sampling, untuk air permukaan diambil 2 titik sampel yaitu Air Sungai 1, Air Sungai 2, dan airtanah yang diambil sebanyak 3 titik sampel berdasarkan arah aliran airtanah. Setelah kadar pencemar diketahui, kemudian dilakukan pengolahan pada skala lab dengan menggunakan metode adsorpsi dengan media adsorben karbon aktif dan zeolit untuk mengetahui tingkat efektifitasnya. Percobaan laboratorium dilakukan dengan metode *fixed-bed colum* yang diisi materia karbn aktif. Pengujian Hg dilakukan pada hari petama, ke 3 dan ke 7. Hasil penelitian didapatkan bahwa kualitas sampel airtanah memiliki kandungan TSS sebesar 56 mg/L, nilai kekeruhan sebesar 2716,67 NTU dan merkuri sebesar 0,031 mg/L. Metode adsorpsi dengan karbon aktif memiliki nilai efektifitas untuk kandungan TSS, kekeruhan, dan merkuri berturut-turut sebesar 83,33%;99,42%;dan 99,46%. Efektivitas adsorpsi dengan adsorben zeolit untuk kandungan TSS, kekeruhan, dan merkuri berturut-turut sebesar 83,33%;99,42%; dan 99,14%.

Kata Kunci: airtanah, karbon aktif, zeolit, metode adsorpsi

ABSTRACT

Mining is alternative sector for people to fulfill daily needs. In Cihonje Village, Banyumas Regency, there is gold mining activities who managed independently by people. The mining use traditional method. The people use mercury (Hg) metal to extract gold. Based on Government Regulation of Republic of Indonesia No 82 in 2001 about keep quality management and water polluted control explained that the mercury threshold (Hg) is 0,001 mg/L. To reach the expected standard limit accordingly this research will relate mercury (Hg) with pollution of ground water in research area. The purpose of this research is to analyze mercury (Hg) metal pollution level of ground water due to public gold mining, and analyze ground water processing technique polluted by mercury (hg) metal due to public gold mining. The method used is survey and mapping, laboratory analysis, interview, descriptive analysis, and pollution index (IP). Wastewater sampling based on purposive sampling, for surface water take 2 sample namely Air Sungai, Air Sungai 2, and for ground water take 3 sample based on ground water flow direction. After the pollutant level is known then it is processed in laboratory scale with activated carbon adsorbent and zeolite adsorbent to know the effectiveness level. Laboratory experiment do with fixed-bed column method that fill with activated carbon.. Mercury testing do on first, third and seventh days. The result of this research that the quality of groundwater samples contained 56 mg/L TSS, turbidity level is 216,6 NTU, and mercury level is 0,031 mg/L. Adsorption method with activated carbon adsorbent has effectiveness level for TSS, turbidity, and mercury respectively at 83,33%; 99,42%; and 99,46%. The effectiveness level of adsorption method with zeolite adsorbent for TSS, turbidity, and mercury, respectively at 83,33%;99,42%; and 99,14%.

Keywords: groundwater, activated carbon, zeolite, adsorption method

PENDAHULUAN

Wilayah Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas terdapat indikasi adanya cadangan bahan galian emas yang dapat diusahakan secara menguntungkan. Salah satu lokasi yang telah diusahakan oleh masyarakat adalah di wilayah Desa Paningkaban, Gancang, dan Desa Cihonje, Kecamatan Gumelar. Menurut Aziz, M (2014), kandungan sumberdaya alam berupa cadangan bahan galian emas yang ada di Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas ini, merupakan suatu potensi yang sesuai untuk dikembangkan menjadi usaha tambang emas rakyat dan dapat diandalkan dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat sehingga mampu meningkatkan status ekonomi masyarakat.

Pertambangan emas rakyat umumnya masih menggunakan cara tradisional dimana tidak menggunakan teknologi dan fasilitas serta peralatan yang maju dan tidak memenuhi standar dalam kegiatannya. Pertambangan emas rakyat tidak memperhatikan kondisi lingkungan sekitar dan cara pengolahan limbah penambangan emas. Hal tersebut meningkatkan resiko keselamatan bagi penambang dan dapat berdampak buruk bagi kualitas lingkungan sekitar wilayah pertambangan.

Sebagian besar penambangan emas di Cihonje belum memiliki pengolah tailing atau limbah hasil proses amalgamasi. Limbah tersebut langsung dibuang ke tanah dan mengalir hingga selokan ataupun sungai. Merkuri (Hg) secara umum banyak digunakan dalam pengolahan bijih emas oleh masyarakat sebagai media pengikat dan pemisah bijih emas dari material berupa pasir, lumpur dan air, meskipun banyak pembuangan limbah akhir (tailing) dilakukan tanpa pengelolaan yang baik dan benar, bahkan pembuangan limbah tersebut dilakukan langsung ke tubuh atau badan sungai sehingga dapat mencemari tanah, air sungai atau bahkan airtanah.

Penelitian tesis sebelumnya oleh Widiadi, 2013, menunjukkan bahwa terdapat pencemaran logam berat Hg (merkuri) di sepanjang sungai Tajum sebesar 1,891 mg/L. Sedimentasi dalam jumlah besar dan akumulasi Hg dari limbah pengolahan, baik dalam bentuk partikel atau logam lainnya dapat mengendap sebagai sedimen atau melayang sebagai suspensi di sepanjang aliran sungai sangat mempengaruhi fungsi ekosistem dan potensi pencemaran lingkungan perairan seperti biota perairan dan bahkan manusia.

METODE

1. Metode Pengambilan Data

Penelitian ini menggunakan data primer dan data skunder dalam pelaksanaannya. Data yang digunakan adalah data primer dan data skunder. Data primer didapatkan dengan melakukan pengamatan langsung di lapangan. Data primer yang digunakan meliputi bentuk lahan, susunan satuan batuan, pengukuran topografi, tinggi muka airtanah, dan jenis tanah. Data skunder didapatkan dengan mengumpulkan literatur serta instansi terkait. Data skunder digunakan untuk membantu proses pengumpulan data di lapangan. Data skunder yang digunakan meliputi data curah hujan, peta tentatif topografi, peta tentatif penggunaan lahan, peta administrasi, peta tentatif satuan batuan, dan peta tentatif jenis tanah.

2. Metode Pengambilan Data

Metode yang digunakan dalam pengambilan sampel di penelitian ini adalah metode purposive sampling. Purposive sampling merupakan teknik penarikan sampel dengan pertimbangan yang didasarkan pada kepentingan atau sesuai dengan tujuan yang dikehendaki (Sigiyono, 2013). Pengambilan sampel airtanah dilakukan dengan pertimbangan tiap penggunaan lahan di daerah penelitian. Teknik ini merupakan purposive sampling dengan pengambilan sampel airtanah yang dilakukan peneliti sesuai dengan pertimbangan arah aliran airtanah dan air sungai. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pencemaran limbah logam berat merkuri (Hg) terhadap kualitas air sesuai arah aliran air.

3. Metode Indeks Pencemar dan Bakumutu Air Bersih

Indeks pencemar digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan. Rumus yang digunakan dalam perhitungan indeks pencemaran adalah sebagai berikut (Persamaan 1):

$$PI_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})M^2 + (C_i/L_{ij})R^2}{2}} \quad (1)$$

Keterangan Rumus:

- PI_j = indeks pencemaran
 C_i = konsentrasi kualitas air hasil cuplikan
 L_{ij} = konsentrasi kualitas air dalam baku mutu
 $(C_i/L_{ij})M$ = konsentrasi parameter kualitas air maksimum
 $(C_i/L_{ij})R$ = konsentrasi parameter kualitas air rata-rata

Evaluasi terhadap nilai PI (Kementerian Negara Lingkungan Hidup No 115 Tahun 2003) adalah:

- $0 \leq PI_j \leq 1,0$ = kondisi baik (memenuhi baku mutu)
 $1,0 \leq PI_j \leq 5,0$ = tercemar ringan
 $5,0 \leq PI_j \leq 10,0$ = tercemar sedang
 $PI_j \geq 10,0$ = tercemar berat

Perhitungan indeks pencemar dihitung dengan beberapa parameter diantaranya TSS, kekeruhan, merkuri, dan pH. Bakumutu dalam penelitian ini mengacu pada PERMENKES No. 416 tahun 1990 dan PP No. 82 tahun 2001 (Tabel 1).

Tabel 1. Bakumutu Kualitas Airtanah

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Peraturan
TSS	mg/L	50	PP 82 2001 kelas 1
Kekeruhan	mg/L	5	PERMENKES 416 1990
pH	-	6 - 9	PP 82 2001 kelas 1
Merkuri	mg/L	0,001	PP 82 2001 kelas 1

Sumber: PERMENKES RI No 416 Tahun 1990 dan PP 82 2001 kelas 1

4. Metode Experiment/Pengolahan

Pengolahan airtanah tercemar logam berat merkuri dilakukan dengan menggunakan media adsorben karbon aktif dan zeolit. Karbon aktif yang digunakan merupakan zeolit alam dengan ukuran butir sebesar 0,2 cm. Percobaan pengolahan airtanah tercemar dengan adsorpsi karbon aktif dan zeolit dilakukan dengan menggunakan 2 unit kolom kaca, 1 untuk karbon aktif dan 1 untuk zeolit. Percobaan pengolahan tersebut diawali dengan melakukan percobaan untuk menentukan waktu tinggal dari airtanah sebanyak 1 liter dalam kolom kaca serta menentukan besar bukaan keran agar sesuai dengan waktu tinggal yang telah ditentukan. Penentuan tersebut dilakukan dengan metode trial and error. Volume kedua kolom kaca yang digunakan masing-masing sebesar 1,5 liter dengan ukuran panjang 5 cm, lebar 5 cm dan tinggi 10 cm. Volume kaca diisi dengan bahan krikil, media adsorben, dan pasir. Urutan penyusunan bahan yaitu dimulai dengan krikil berada di paling bawah kolom dengan tebal 10 cm. Media adsorben disusun di atas krikil setebal 50 cm. Media adsorben yaitu karbon aktif dan zeolit dimasukkan ke dalam kolom kaca yang berbeda agar bisa dibandingkan. Media adsorben ditumpuk dengan pasir setebal 10 cm dan kemudian ditumpuk krikil lagi setebal 5 cm. Jumlah inlet airtanah yang dimasukkan kedalam kolom kaca sebanyak 1 liter. Sampel airtanah yang ditetapkan sebagai bahan dalam percobaan pengolahan berasal dari air sumur 3. Hal tersebut karena sampel air sumur 3 memiliki nilai indeks pencemar terbesar dibandingkan dengan sampel air lainnya. Pengolahan dilakukan pada sampel airtanah yaitu sampel air sumur 3 sebanyak 2 kali dalam sehari. Pengolahan pertama dilakukan pada pagi hari pukul 08.00 WIB dan pengolahan kedua dilakukan setelah pengolahan 1 pukul 09.30 WIB sehingga total sampel hasil pengolahan yang didapatkan dalam sehari berjumlah 4 botol sampel. Sampel air sumur 3 yang dimasukkan kedalam kolom filter sebanyak 1 liter sehingga digunakan 4 botol sampel dengan ukuran 1,5 liter agar cukup untuk uji laboratorium.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis yang didapatkan dari perhitungan indeks pencemaran menunjukkan perbedaan status mutu air. Sampel air sumur 1, sampel air sumur 2 dan sampel air sungai 2, menunjukkan status mutu air tercemar berat. Sampel air sumur 3 dan sampel air sungai 1 menunjukkan status mutu air tercemar sedang. Perbedaan tersebut disebabkan lokasi pengambilan sampel air sumur 2 terletak lebih jauh daripada lokasi sampel air sumur 1 dan air sumur 3 dari daerah kegiatan pertambangan dan amalgamasi di daerah penelitian. Sampel air sungai 1 memiliki status mutu air tercemar sedang dan sampel air sungai 2 memiliki tingkat pencemaran sedang disebabkan kondisi sekitar air sungai. Air sungai Tajum sebelum melewati lokasi pengambilan air sungai 2 (SS2) melewati 2 lokasi bekas longsor sehingga membawa banyak material yang menyebabkan peningkatan tingkat kekeruhan dan padatan tersuspensi. Selain itu, air sungai juga melewati beberapa pembuangan air limbah hasil kegiatan pertambangan dan amalgamasi sehingga ikut membawa banyak logam berat merkuri.

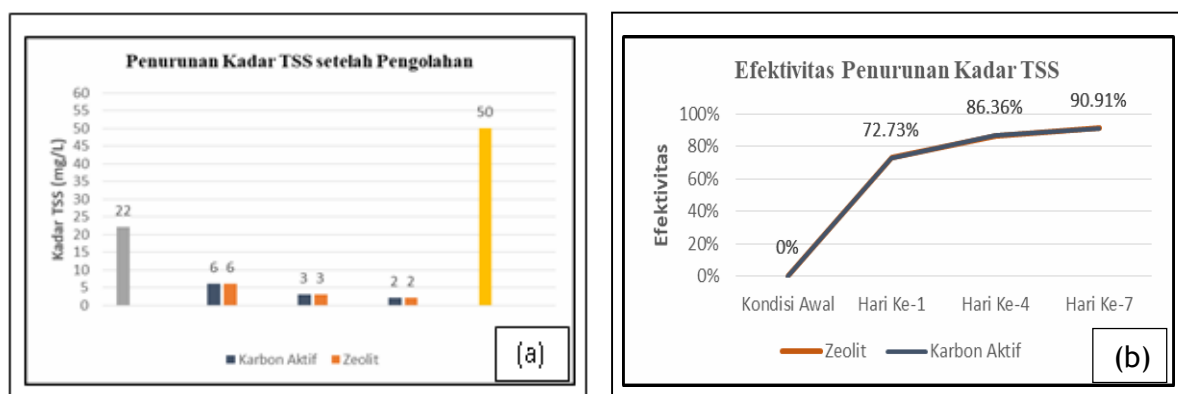
Tabel 2. Hasil Analisis perhitungan indeks pencemaran

No	Titik Pengamatan	Parameter				Nilai Pij	Status Mutu Air
		TSS (mg/L)	pH	Merkuri (Hg) (mg/L)	Kekeruhan (NTU)		
1	Sampel Air Sumur 1 (SA1)	38	6,81	0,138	134,5	10,4	Tercemar Berat
2	Sampel Air Sumur 2 (SA2)	28	6,63	0,049	912,5	9,6	Tercemar Sedang
3	Sampel Air Sumur 3 (SA)	56	6,65	0,031	2716,67	11,28	Tercemar Berat
4	Sampel Air Sungai 1 (SS1)	28	7,03	0,019	0,95	5,4	Tercemar Sedang
5	Sampel Air Sungai 2 (SS2)	42	6,91	0,022	1933,33	10,65	Tercemar Berat
Baku Mutu		50	7,5	0,001	5		

Sumber: Data Uji Laboratorium LPPT UGM (Tanggal 23 Juli 2018)

Percobaan dilakukan sebanyak 3 kali dalam 7 hari yaitu pada hari selasa, kamis, dan senin pada waktu pagi hingga siang hari. Percobaan pada tiap harinya dilakukan pada tiap harinya sehingga sampel hasil percobaan yang akan diuji berjumlah 7 botol termasuk sampel airtanah yang tidak diolah didalam percobaan. Parameter yang diujikan dalam percobaan adalah TSS, kekeruhan, pH dan merkuri (Hg).

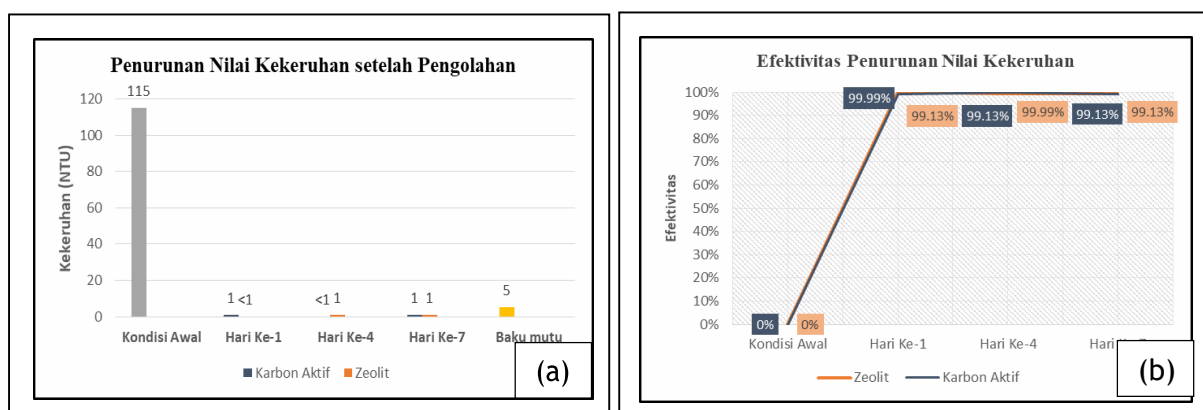
Hasil uji penurunan kadar TSS menggunakan media karbon aktif dan zeolit didapatkan dari Laboratorium BBTKLPP. Grafik penurunan kadar TSS menunjukkan tidak ada perbedaan hasil uji antara karbon aktif dan zeolit. Hari pertama pengolahan sampel airtanah menghasilkan penurunan kadar TSS dari yang semula 22 mg/L menjadi 6 mg/L. Hari ke-4 menunjukkan penurunan kadar TSS yang lebih banyak yakni 3 mg/L dan kemudian hari ke-7 menunjukkan penurunan kadar TSS sebesar 2 mg/L.



Gambar 1. (a) Grafik Penurunan Kadar TSS setelah Pengolahan (b) Efektivitas Penurunan Kadar TSS

Grafik efektivitas penurunan kadar TSS menunjukkan kenaikan tanpa penurunan hingga hari ke-7 kegiatan pengolahan dengan media karbon aktif dan zeolit (Gambar 1). Grafik tersebut juga menunjukkan bentuk garis yang sama disebabkan hasil uji penurunan kadar TSS pada media karbon aktif sama dengan kadar TSS pada media zeolit. Hari pertama pengolahan sampel airtanah tercemar logam berat merkuri (Hg) menunjukkan efektivitas penurunan kadar TSS sebesar 72,72%. Hari ke-4 kegiatan pengolahan menunjukkan kenaikan efektivitas penurunan kadar TSS menjadi 86,36%. Hari ke-7 kegiatan pengolahan juga menunjukkan kenaikan efektivitas penurunan kadar TSS pada sampel airtanah tercemar logam berat merkuri (Hg) menjadi 90,91%. Kenaikan efektivitas penurunan kadar TSS hingga hari terakhir pengolahan, disebabkan terjadinya pengendapan pada sampel airtanah.

Grafik penurunan nilai kekeruhan menunjukkan perbedaan hasil uji antara karbon aktif dan zeolit yang tidak terlalu jauh (Gambar 2). Hari pertama pengolahan sampel airtanah tercemar logam berat merkuri (Hg) dengan media karbon aktif menunjukkan penurunan nilai kekeruhan menjadi 1 NTU. Hari ke-4 menunjukkan penurunan menjadi < 1 NTU dan hari ke-7 menjadi 1 NTU. Pengolahan sampel airtanah tercemar logam berat merkuri dengan media zeolit pada hari pertama menunjukkan penurunan nilai kekeruhan menjadi < 1 NTU. Hari ke-4 mengalami penurunan menjadi 1 NTU dan pada hari ke-7 menjadi 1 NTU.



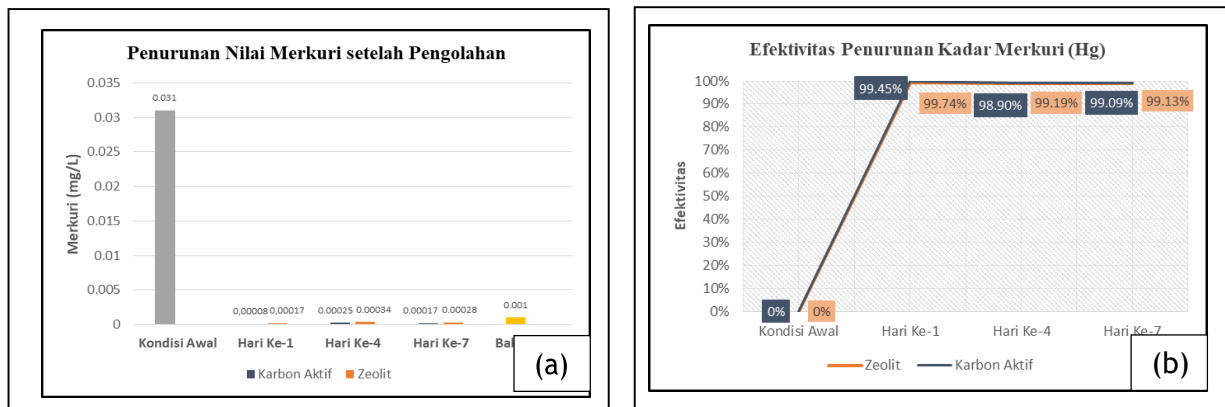
Gambar 2. (a) Grafik Penurunan Nilai Kekeruhan setelah Pengolahan (b) Efektivitas Penurunan Nilai Kekeruhan

Hasil penurunan yang tidak konsisten disebabkan human error dalam proses pengolahan karena airtanah yang disiapkan dalam jrigen untuk diolah tidak diguncang terlebih dahulu dan tidak konsisten dalam penggojokan tersebut, sehingga partikel-partikel yang mempengaruhi kekeruhan airtanah berbeda-beda tiap harinya. Airtanah yang digojok ketika dituang ke dalam kolom pengolahan memiliki nilai kekeruhan yang lebih rendah atau tidak sama sehingga penggojokan mempengaruhi nilai kekeruhan ketika diolah.

Grafik efektivitas penurunan nilai kekeruhan menunjukkan tren yang cenderung datar atau memiliki perubahan yang sangat kecil. Rata-rata efektivitas penurunan nilai kekeruhan dengan media karbon aktif sama dengan media zeolit yaitu sebesar 99,42%. Grafik tersebut sesuai dengan kondisi airtanah yang semula keruh menjadi bening setelah dilakukan pengolahan

dengan kedua media adsorben. Pengolahan dengan adsorben karbon aktif dan zeolit terbukti efektif menurunkan nilai kekeruhan hingga > 99%.

Hasil uji penurunan kadar merkuri (Hg) menggunakan media karbon aktif dan zeolit didapatkan dari LPPT UGM. Grafik penurunan kadar merkuri (Hg) menunjukkan perbedaan hasil uji antara karbon aktif dan zeolit yang tidak terlalu jauh (Gambar 3). Hari pertama pengolahan sampel airtanah tercemar logam berat merkuri (Hg) dengan media karbon aktif menunjukkan penurunan kadar merkuri (Hg) dari yang semula 0,013 mg/L menjadi 8×10^{-5} mg/L. Hari ke-4 menunjukkan penurunan kadar merkuri (Hg) menjadi 25×10^{-5} mg/L dan hari ke-7 menunjukkan penurunan kadar merkuri (Hg) menjadi 17×10^{-5} mg/L. Pengolahan sampel airtanah tercemar logam berat merkuri (Hg) dengan menggunakan media adsorben zeolit pada hari pertama menunjukkan penurunan kadar merkuri (Hg) menjadi 17×10^{-5} mg/L dan pada hari ke-4 turun menjadi 34×10^{-5} mg/L serta pada hari ke-7 turun menjadi 28×10^{-5} mg/L.



Gambar 3. (a) Grafik Penurunan Kadar Merkuri setelah Pengolahan (b) Efektivitas Penurunan Kadar Merkuri

Penurunan kadar merkuri yang tidak konsisten disebabkan media adsorben yang jenuh dalam beberapa hari pengolahan sehingga kadar merkuri setelah diolah pada hari ke-4 lebih tinggi dibandingkan hari ke-1. Kadar merkuri setelah diolah pada hari ke-7 lebih tinggi dibandingkan hari ke-4 karena pengolahan dilakukan setelah hari minggu dan pengolahan airtanah tercemar berhenti untuk sementara waktu sehingga adsorben dapat mengurangi kejenuhan dan lebih efektif kembali saat pengolahan hari ke-7.

Grafik efektivitas penurunan kadar merkuri (Hg) menunjukkan tren yang cenderung datar atau memiliki perubahan yang sangat kecil (Gambar 3). Rata-rata efektivitas penurunan kadar merkuri (Hg) dengan media karbon aktif sebesar 99,46%. Rata-rata efektivitas pengolahan dengan media zeolit sebesar 99,14%. Pengolahan airtanah tercemar logam berat merkuri (Hg) lebih efektif menggunakan media adsorben karbon aktif dibandingkan menggunakan media adsorben zeolit.

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Hasil pengujian sampel airtanah di LPPT UGM dan perhitungan indeks pencemaran menunjukkan tingkat pencemaran di beberapa titik pengambilan sampel di Desa Cihonje memiliki status mutu air tercemar berat dan sedang. Penggunaan karbon aktif dan zeolit terbukti dapat mengurangi kadar Merkuri (Hg) pada airtanah, dengan salah satu hasil percobaan menunjukkan kadar merkuri turun menjadi 8×10^{-5} mg/L dari semula 0,031 mg/L dengan nilai efektivitas sebesar 99,74% dan waktu tinggal 60 menit.

SARAN

1. Agar dalam pemakaian karbon aktif lebih efektif maka diaktivasi terlebih dahulu dalam suhu kurang lebih 3100 C selama 30-60 menit agar pori-pori batuan yang semakin besar sehingga lebih efektif untuk menyerap logam berat dalam airtanah.
2. Penggunaan karbon aktif sebagai media adsorpsi lebih baik diteruskan untuk penelitian lebih lanjut sehingga dapat mengetahui tingkat kejenuhan adsorben.
3. Kerjasama yang baik antara pemerintah setempat, masyarakat, dan pihak lainnya dalam pengelolaan air sehingga distribusi air bersih dapat disalurkan ke setiap warga dengan baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Dr. Ir. Andi Sungkowo, M.Si, ibu Ekha Yofanny, S.Si., M.Eng., Bapak Aditya Pandu Wicaksono, S.Si., M.Sc., dan Ibu Ayu Utami ST. MS. yang telah membimbing dan mengarahkan dalam penyelesaian penelitian, serta saudara/i dan instansi terkait yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anis, R. 2009. Efisiensi Filter Pasir-Zeolit dan Filter Pasir-Arang Tempurung Kelapa dalam Rangkaian Unit Pengolahan Air untuk Mengurangi Kandungan Mangan dari dalam Air. Seminar Internasional Hasil Penelitian Eksakta 3. Surakarta.
- Aziz, M. 2014. Model Pertambangan Emas Rakyat dan Pengelolaan Lingkungan Tambang di Desa Paningkaban, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas. Prodi Teknik Geologi: Universitas Jendral Soedirman. Jurnal Dinamika Rekayasa Vol. 10 No. 1.
- Sigiyono. 2013. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Alfabeta: Bandung
- Trianingsih, A. 2013. Perbedaan Efektivitas Filter Zeolit dan Karbon Aktif dalam Penurunan Kadar TSS (Total Suspended Solid) Limbah Cair Tahu Industri Rumah Tangga.. Kesehatan Masyarakat. Surakarta.
- Widiadi, S. 2013. Kajian Cemar Merkuri di Sungai Tajum dan Persepsi Masyarakat Penambangan pada Pertambangan Emas di Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas, Purwokerto: Universitas Jendral Soedirman.

- Widodo, F. I. 2012. Dampak Pencemaran Merkuri terhadap Biota Air dan Kesehatan Manusia. *Jurnal Lingkungan Hidup*. <http://uwityangyoyo.wordpress.com> (Diakses tanggal 20 April 2019).
- Worch, E. 2012. *Adsorption Technology in Water Treatment*. Dresden University of Technology. Germany.