

Kandungan logam berat besi (Fe) dan timbal (Pb) pada air lindi TPA Putri Cempo, Surakarta

Content of heavy metals iron (Fe) and lead (Pb) in the leachate of Putri Cempo Landfill, Surakarta

Siti Rachmawati^{1*}, Patricia Bernadetta¹, Muhammad Bondan Mardiyanto¹, Nida Ulhaq Fil'ardiani¹, Sofiyana Khoirunnisa¹, Yunia Putri Annisa Arta¹

¹Program Studi Ilmu Lingkungan, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

Abstrak.

Air lindi merupakan air dari rembesan sampah yang memiliki kandungan logam berat sehingga dapat berpotensi mencemari tanah, air tanah, maupun air permukaan dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Kandungan logam berat Fe dan Pb menjadi indikator penting yang memiliki dampak terhadap air dan tanah. TPA sebagai tempat penimbunan sampah perkotaan menghasilkan lindi yang terindikasi tercemar senyawa logam, seperti Fe dan Pb. Tujuan dari penelitian ini yaitu menganalisis senyawa logam berat besi (Fe) dan timbal (Pb) pada air lindi di TPA Putri Cempo Surakarta. Penelitian ini berlokasi di TPA Putri Cempo Surakarta dengan pengambilan sampel air lindi di selokan sekitar TPA. Analisis data menggunakan SSA (Spektrofotometri Serapan Atom). Air lindi TPA Putri Cempo memiliki kandungan logam berat Fe sebesar 0,62 mg/L dan kandungan logam berat Pb adalah 0,07 mg/L. Kandungan senyawa logam berat Fe dan Pb masih sesuai baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2014. tentang Baku Mutu Air Limbah. Upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalisir dampak lingkungan pada air lindi adalah menggunakan metode fitoremediasi, metode adsorpsi, serta metode anaerob, aerob dan denitrifikasi.

Kata kunci: logam berat, Fe, Pb, lindi, TPA

Abstract.

Leachate is water from waste seepage that contains heavy metals; therefore, it has the potential to pollute soil, groundwater, and surface water and is dangerous for human health. The content of heavy metals Fe and Pb are important indicators that have an impact on water and soil. Landfill as a place for storing urban waste produces leachate, which is indicated to be contaminated with metal compounds, such as Fe and Pb. The aim of the research is to analyze heavy metals iron (Fe) and lead (Pb) compounds in leachate at the Putri Cempo landfill, Surakarta. This research was located at the Putri Cempo landfill, Surakarta, with leachate water samples taken in the ditch around the landfill. Data analysis used SSA (Atomic Absorption Spectrophotometry). The heavy metal Fe in the Putri Cempo landfill leachate has a leachate content of 0.62 mg/L, while the heavy metal Pb has a leachate content of 0.07 mg/L. The content of heavy metal compounds Fe and Pb still complies with the quality standards (Ministry of Environment Regulation Number 5 of 2014). Efforts that can be made to minimize the environmental impact on leachate include phytoremediation methods, adsorption methods, as well as anaerobic, aerobic, and denitrification methods.

Keywords: heavy metal, Fe, Pb, leachate, landfill

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan permasalahan sampah yang masih menjadi poin penting dalam pengelolaannya yang belum maksimal. Limbah merupakan bahan yang berasal dari kegiatan antropogenik dan sudah tidak mempunyai manfaat sehingga dibuang begitu saja (Lesmana 2016). Pengelolaan sampah pada hampir semua wilayah Indonesia menggunakan TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) sebagai solusi dalam pengelolaannya. Pengelolaan sampah yang masih menggunakan metode konvensional TPA ini justru menimbulkan berbagai permasalahan lain terhadap warga yang berada di sekitar TPA.

*Korespondensi Penulis
Email : siti.rachmawati@staff.uns.ac.id

TPA masih menerapkan metode *open dumping* dalam pengelolaan sampah, padahal dapat menimbulkan masalah pada lingkungan sekitarnya (Ramadhanti *et al.* 2021). Salah satu TPA yang masih menerapkan metode *open dumping* adalah TPA Putri Cempo yang berada di Kelurahan Mojosongo, Surakarta. Metode *open dumping* ini dinilai kurang efektif karena tidak memperhatikan aspek lingkungan di sekitarnya (Sukrorini *et al.* 2014). TPA Putri Cempo merupakan TPA yang melayani atau menampung sampah masyarakat di wilayah Surakarta maupun di sekitarnya.

Informasi Dinas Kebersihan dan Pertamanan menyatakan bahwa rata-rata jumlah sampah yang masuk ke TPA Putri Cempo per harinya sebesar 200 ton sampah. TPA Putri Cempo dinilai sudah *overload* sejak 2010, tetapi karena tidak ada solusi lain sehingga dibiarkan menumpuk dan sudah menggunung. Pada tahun 2016 direncanakan untuk mengubah sampah menjadi energi, yaitu dengan membuat PLTSa (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah). Proyek ini diharapkan bisa mengatasi permasalahan sampah dan lingkungan yang ada di TPA Putri Cempo (Romy *et al.* 2023).

Permasalahan lingkungan yang ditimbulkan TPA Putri Cempo yaitu pencemaran air, udara, dan tanah (Hapsari dan Priyono 2022). Pencemaran air merupakan hal yang dirasakan oleh masyarakat sekitar TPA. Air dari rembesan sampah atau yang sering disebut dengan air lindi merupakan poin penting untuk dilakukan pengolahan secara khusus. Lindi merupakan limbah yang berbentuk cair yang berasal dari proses dekomposisi sampah (Ibrahim *et al.* 2023).

Proses pembusukan, oksidasi, dan dekomposisi limbah yang menumpuk akan menghasilkan lindi. Air lindi akan menyebar ke aliran air bawah tanah dan permukaan sehingga berpotensi mencemari air tanah (Hakim *et al.* 2014). Keberadaan senyawa logam berat pada sedimen TPA diperkirakan bersumber dari limbah kegiatan manusia, seperti rumah tangga, industri atau kegiatan insinerasi. Lindi sangat dipengaruhi oleh cuaca, apabila lebih sering terjadi hujan akan mengakibatkan semakin banyak lindi yang dihasilkan dari sampah sehingga bisa mencemari sumber-sumber air di sekitarnya. Rembesan lindi yang terjadi hingga ke dalam tanah akan mengakibatkan air sekitar TPA terkontaminasi (Fitri dan Sembiring 2017). Kandungan yang terdapat

pada air lindi banyak mengandung material organik dan anorganik yang berdampak terhadap tubuh apabila terpapar dalam waktu tertentu.

Limbah yang dibuang ke TPA dapat berasal dari sektor klinik medis, bisnis, industri, hingga rumah tangga yang memiliki bahan limbah logam berat, seperti kaleng, perangkat keras, dan komputer (Odom *et al.* 2021). Limbah makanan meliputi residu makanan, seperti roti, nasi, dan sayuran, serta bahan makanan, seperti peralatan makan, tusuk gigi, plastik, dan lain sebagainya juga mengandung berbagai jenis logam berat (Chu *et al.* 2019). Zat-zat logam berat seperti Pb dan Fe tidak dapat diolah oleh tubuh, sehingga bisa menimbulkan masalah serius apabila masuk ke dalam tubuh.

Air lindi yang tidak mendapat pengolahan secara khusus dapat berdampak terhadap penurunan kualitas pada tanah, air tanah, maupun air permukaan. Logam berat merupakan senyawa yang diperlukan oleh senyawa dalam kadar tertentu, tetapi dapat memberikan efek beracun dalam jumlah berlebih (Suryono 2016 dalam Karamina *et al.* 2021). Konsentrasi logam berat pada air lindi bergantung pada volume dan jenis sampah yang berasal dari berbagai sumber pencemar. Kadar logam berat juga bergantung pada jenis dan kondisi tempat pembuangan sampah. TPA yang memiliki sistem pengumpulan lindi yang baik dan benar dapat mengurangi dampak negatif terhadap air dan tanah (Hussein *et al.* 2021).

Pencemaran logam berat dapat mengakibatkan masalah kesehatan pada masyarakat dan kerusakan pada lingkungan hidup (Karamina *et al.* 2021). Senyawa logam terakumulasi pada organisme akuatik sehingga mengakibatkan gangguan perilaku, pertumbuhan, dan karakteristik morfologi (Effendi *et al.* 2012 dalam Pratiwi 2020). Logam berat tersebut mengalami sedimentasi dalam jangka waktu yang lama (Oktasari *et al.* 2018).

Logam Fe dan Pb dipilih sebagai parameter penelitian dengan mempertimbangkan kesesuaian dengan topik yang diangkat, yakni pencemaran logam berat. Kandungan logam berat Fe dan Pb menjadi salah satu parameter penting yang berpengaruh pada kualitas air dan tanah. TPA sebagai tempat penimbunan sampah perkotaan menghasilkan lindi yang memiliki kandungan logam berat, seperti besi (Fe) dan timbal (Pb). Peneliti memilih lokasi TPA Putri Cempo karena belum terdapat

penelitian mendalam terkait kandungan logam berat pada air lindi di TPA Putri Cempo. Penelitian ini bertujuan menganalisis kandungan logam berat besi (Fe) dan timbal (Pb) pada air lindi TPA Putri Cempo Surakarta.

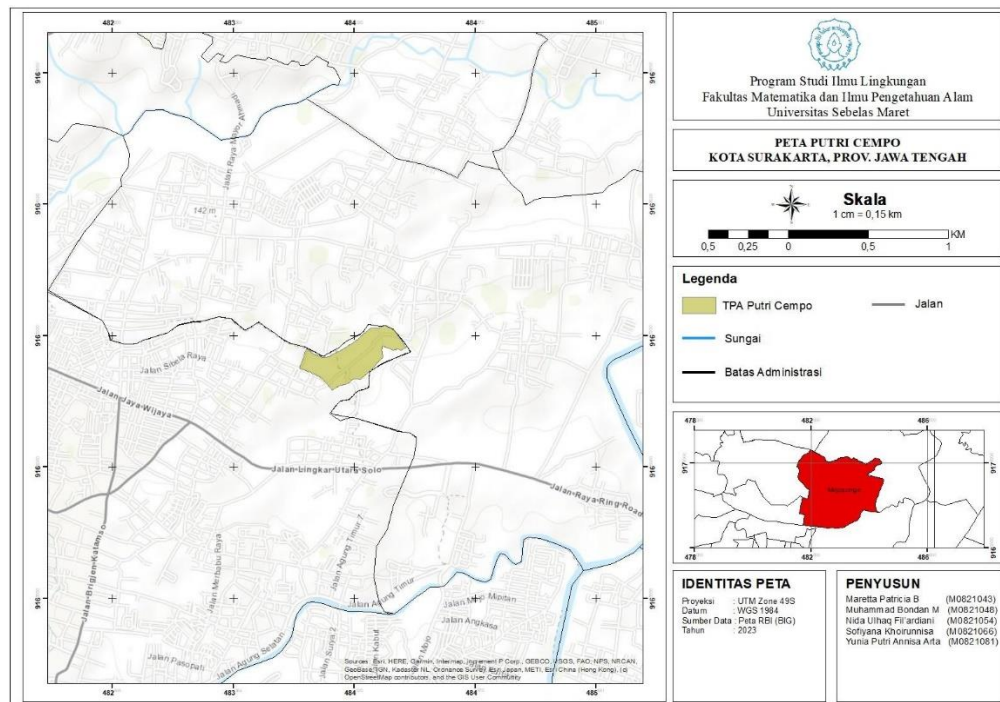
2. METODOLOGI

2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian

Air lindi diambil di selokan sekitar TPA Putri Cempo di Mojosongo, Jebres, Kota Surakarta, Jawa Tengah. Pengujian sampel air lindi dilakukan di UPT Sub Laboratorium Kimia Universitas Sebelas Maret. Penelitian dilaksanakan pada Desember 2023 sampai dengan Januari 2024.

2.2. Metode pengambilan data

Pengambilan sampel air lindi dilakukan dengan metode *grab sample* atau air limbah sesaat, yaitu metode *grab sampling* dengan mengambil satu sampel sebanyak 100 ml. Pengujian kandungan logam berat pada air lindi dilakukan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu besi dan timbal. Pengukuran Pb diukur dengan panjang gelombang 283,3 nm, sedangkan untuk pengukuran Fe diukur dengan panjang gelombang 357,9 nm. Masing-masing absorbansi dan larutan standar dari Pb maupun Fe diplotkan ke dalam kurva.



Gambar 1. Peta wilayah TPA Putri Cempo, Surakarta.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi TPA Putri Cempo

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Putri Cempo yang berlokasi di Kota Surakarta merupakan area pengelolaan sampah dalam tahapan penimbunan limbah yang berasal dari wilayah Surakarta. Berbagai kegiatan mulai dari identifikasi, pengumpulan, pengangkutan, *recycle*, dan pengolahan air rembesan sampah dilakukan dalam satu wilayah dengan pemukiman masyarakat Kelurahan Mojosongo dan Desa Plesungan, sehingga dikhawatirkan mencemari lingkungan sekitarnya, salah satunya mencemari air dangkal. Penggunaan sumur air dangkal masih digunakan oleh sebagian warga untuk kegiatan sehari-hari, seperti kegiatan rumah tangga.

Metode *open dumping* digunakan dalam pengelolaan TPA Putri Cempo yang berisiko terhadap kualitas air tanah. Kondisi sampah di kawasan TPA yang semakin menumpuk hingga memiliki ketinggian 28 meter mengakibatkan beberapa aliran sungai terancam tertutup. Selain itu, saluran irigasi mengalami perubahan kualitas, baik dari bau yang kurang sedap dan warna yang berwarna kecokelatan akibat dari rembesan air lindi.

3.2. Karakteristik air lindi

Air lindi yaitu air yang memiliki sifat racun karena mengandung unsur logam dan bahan organik yang menjadi akar permasalahan pencemaran lingkungan. Parameter yang digunakan dalam mengukur air lindi, yaitu BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), temperatur, pH, TDS (*Total Dissolved Solid*), konduktivitas listrik, dan kandungan logam berat. Jenis logam berat yang biasanya terkandung pada air lindi yaitu timbal (Pb), besi (Fe), seng (Zn), kobalt (Co), tembaga (Cu), nikel (Ni), krom (Cr), merkuri (Hg), serta kadmium (Cd). Namun, pada penelitian ini hanya melakukan uji logam besi (Fe) dan timbal (Pb). Kondisi wilayah dalam pengambilan sampel air lindi tersebut dipenuhi oleh beragam jenis sampah yang terendam oleh air. Sampel memiliki karakteristik warna cokelat (cokelat air sungai namun lebih gelap), keruh, bau yang dimiliki menyengat karena terdapat sampah bangkai hewan, tekstur sampel tidak kental karena tidak ada tanah ataupun lumpur yang bercampur dengan air lindi tersebut.

Berdasarkan hasil uji kadar Pb yang telah dilakukan, diketahui pada konsentrasi 0,05 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,00066; pada konsentrasi 0,1 ppm memiliki absorbansi 0,00221; pada konsentrasi 0,25 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,00598; pada konsentrasi 0,5 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,01752; dan pada konsentrasi 1 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,0541. Berdasarkan hasil uji tersebut, konsentrasi 1 ppm menunjukkan nilai absorbansi paling tinggi dengan nilai 0,0541. Adanya perbedaan nilai absorbansi pada setiap konsentrasi yang diujikan dipengaruhi oleh kadar atau zat yang terkandung dalam suatu larutan. Semakin banyak kadar zat yang terkandung dalam suatu sampel, maka semakin besar pula nilai absorbansinya karena semakin banyak molekul yang akan menyerap cahaya. Sementara itu, didapatkan kandungan logam Pb pada air lindi TPA Putri Cempo sebesar 0,075 mg/L (**Tabel 1**).

Tabel 1. Hasil perhitungan kadar timbal.

Parameter	y (Abs)	m	x (mg/L)	C
Timbal (Pb)	0,00155	0,0354	0,075	-0,0011

Keterangan: y = absorbansi sampel; m = koefisien x; C = konstanta

Kandungan logam Pb pada air lindi TPA Putri Cempo adalah sebesar 0,075 mg/L. Nilai tersebut menunjukkan bahwa air lindi masih sesuai dengan baku mutu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2014 lampiran XLVII tentang Baku Mutu Air Limbah bagi usaha dan/atau kegiatan yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan, yakni sebesar 0,1 mg/L. Kandungan logam berat Pb pada air lindi dapat berasal dari sampah akibat aktivitas manusia, seperti cat, baterai dan kaleng (Sari dan Afdal 2017) yang berada pada tempat penimbunan sampah (Handriyani *et al.* 2020). Senyawa logam Pb bersumber dari komponen gugus alkil timbal sering dimanfaatkan untuk bahan aditif pada bensin serta makanan minuman (Suhendrayatna 2007).

Berdasarkan hasil uji kadar Fe yang telah dilakukan, diketahui pada konsentrasi 0,5 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,01355; pada konsentrasi 1 ppm memiliki absorbansi 0,02796; pada konsentrasi 2 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,0714; pada konsentrasi 3 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,11726; dan pada konsentrasi 5 ppm memiliki nilai absorbansi sebesar 0,175. Dari hasil uji tersebut, konsentrasi 5 ppm menunjukkan nilai absorbansi paling tinggi dengan nilai 0,175. Sementara itu, didapatkan kandungan logam Fe pada air lindi TPA Putri Cempo sebesar 0,62 mg/L (**Tabel 2**).

Tabel 2. Hasil perhitungan kadar besi.

Parameter	y (Abs)	m	x (mg/L)	C
Besi (Fe)	0,24026	0,397	0,62	-0,0055

Keterangan: y = absorbansi sampel; m = koefisien x; C = konstanta

Kandungan logam berat Fe dari air lindi TPA Putri Cempo adalah 0,62 mg/L dan memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan baku mutu air lindi yang ditetapkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah dengan kategori baku mutu air limbah bagi usaha yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan, sebesar 5 mg/L. Kandungan logam berat Fe pada air lindi kemungkinan dapat berasal dari akumulasi hasil dekomposisi sampah organik maupun anorganik (Karamina *et al.* 2021). Kandungan logam berat Pb dan Fe pada air lindi tetap memerlukan pemantauan dan pengelolaan agar tidak berdampak pada

lingkungan sekitar meskipun nilainya masih berada jauh di bawah baku mutu dan belum membahayakan.

3.3. Dampak logam berat (Pb dan Fe) terhadap abiotik, biotik, dan sosial

Air lindi yang mengandung kandungan logam berat sangat berbahaya terhadap lingkungan, mencakup tiga aspek yaitu abiotik, biotik, dan sosial. Air lindi yang berasal dari sampah tentunya memiliki kandungan logam yang tidak baik apabila dikonsumsi oleh manusia. Selain memiliki dampak terhadap manusia, lingkungan di sekitarnya juga terpengaruh.

Pada aspek abiotik, logam berat yang ada di air lindi berdampak pada kualitas tanah, air tanah dan juga air permukaan. Tanah yang terkena logam berat akan menurun kualitasnya. Menurut Santoso *et al.* (2016), ambang batas logam berat Pb yang mencemari tanah adalah 100 ppm, sedangkan untuk Fe tidak ditentukan berapa nilai ambang batas yang bisa diterima oleh tanah. Untuk ambang batas logam berat Pb pada air adalah 0,01 ppm, sedangkan Fe adalah sebesar 0,3 ppm.

Air yang tercemar oleh logam berat akan menurun kualitas baku mutunya. Kadar kandungan logam Fe pada air bisa dilihat dari warnanya, apabila warna air kecokelatan maka kandungan logam Fe tinggi, apabila berwarna kekuningan maka kandungan logamnya rendah. Logam berat Pb yang dibiarkan lama dalam air tanah akan terkumulasi kandungannya, dan semakin lama konsentrasi Pb semakin meningkat (Putra dan Mairizki 2020). Logam berat mencemari air tanah melalui rembesan pada tanah ditambah dengan curah hujan, sehingga mempercepat rembesan air lindi masuk ke sumur milik warga yang ada di sekitar TPA.

Kandungan logam berat juga mempengaruhi aspek biotik, seperti di TPA Putri Cempo terdapat sapi dan warga sekitar yang terkena dampak dari air lindi yang mencemari air milik warga. Air yang mengandung logam berat apabila dikonsumsi oleh manusia akan menyebabkan gangguan kesehatan. Menurut Santoso *et al.* (2016), logam berat apabila dikonsumsi oleh manusia akan menyebabkan masalah pada kesehatan dan menurunkan kualitas lingkungan. Paparan logam berat ke manusia dapat melalui mulut, respirasi, dan juga kulit, begitu pun sapi-sapi yang terdapat di TPA Putri Cempo yang memakan sampah-sampah dan bisa saja dalam sampah tersebut terdapat logam berat, sehingga dalam daging sapi terdapat kandungan logam

berat dan tidak sehat apabila dikonsumsi oleh manusia. Pb terserap ke dalam aliran darah dan diedarkan dalam tubuh, terutama melalui dan ke dalam sel darah merah ke jaringan. Pb dapat dideteksi di jaringan hati dan ginjal beberapa jam setelah penyerapan. Logam berat Pb dapat menyebabkan keracunan dan gangguan pada pembentukan sel dalam sumsum belakang, selain itu juga bisa menyebabkan keracunan, anemia, kerusakan susunan saraf pusat, dan ginjal.

Tidak hanya mempengaruhi dua aspek tersebut, logam berat juga mempengaruhi aspek sosial. Pencemaran air lindi yang mengandung logam berat menyebabkan warga sekitar TPA Putri Cempo terdampak, di antaranya dalam hal pola hidup mendapatkan air dan dampak kesehatan yang ditimbulkan. Warga sekitar TPA merasakan tidak bisa mengonsumsi air tanah di sekitar TPA karena sudah tercemar air lindi dan mengandung logam dan mikro plastik. Akibatnya, warga yang awalnya menggunakan air tanah mulai beralih ke PDAM, karena air tidak layak untuk dikonsumsi dan apabila dikonsumsi dapat menimbulkan gangguan pada kesehatan seperti keracunan, mual-mual, dan infeksi terhadap kulit. Air lindi juga mencemari sungai-sungai yang ada di sekitar TPA, apabila sungai tercemar pasti berpengaruh pada biota yang ada dalam air. Tidak hanya itu, air lindi dari sampah juga mengeluarkan aroma yang membuat tidak nyaman warga sekitar area tempat pengolahan akhir sampah.

3.4. Upaya pengolahan air lindi

3.4.1. Teknik fitoremediasi

Logam memiliki efek yang berbahaya, beracun yang tidak ramah lingkungan dan dapat menyebabkan pencemaran. Tak hanya itu, jika logam berat masuk ke dalam tubuh manusia akan menyebabkan kematian, sehingga penting untuk melakukan upaya ataupun rekomendasi dalam pengelolaan air lindi yang mengandung banyak unsur logam berat sebelum dibuang ke lingkungan. Berikut ini beberapa upaya atau rekomendasi yang dapat diterapkan: menggunakan metode pembilasan, pencucian ataupun metode dilusi dan stabilisasi dengan menggunakan kemampuan tanaman dalam mendegradasi dan mengakumulasi logam berat. Teknik fitoremediasi ini merupakan metode paling sederhana dan ekonomis karena memanfaatkan keanekaragaman hayati tanaman (Irhamni 2017).

3.4.2. Metode adsorpsi

Metode adsorpsi logam berat menggunakan adsorben karbon aktif, zeolit dan silika gel. Dalam penelitian tersebut kandungan logam berat besi (Fe) dan krom (Cr) mengalami penurunan kadar logam berat dengan tingkat keefektivitasan adsorben dalam menurunkan logam berat, yaitu zeolit menjadi media yang paling efektif dengan silika gel media yang kurang efektif (hasil penurunan logam paling kecil).

Hal ini dikarenakan zeolit memiliki struktur pori seperti kristal sehingga lebih berongga daripada silika gel dan karbon yang berupa amorfus artinya memiliki banyak mikropori yang menghambat proses adsorpsi serta memiliki kation logam yang membuat zeolit memiliki sifat penukar ion. Tetapi tingkat keefektivitasan penurunan logam juga dipengaruhi oleh temperatur.

Pengukuran pada permukaan silika gel akan terasa panas dibanding dengan zeolit sehingga penurunan logam pada silika gel kecil. Hal ini ditegaskan bahwa kenaikan temperatur berbanding terbalik dengan zat yang teradsorpsi yang membuat temperatur yang kecil akan menambah jumlah kemampuan media untuk menyerap logam (adsorbat). Metode adsorpsi ini dilakukan dengan menggunakan akuarium berukuran 30x30x30 cm sebanyak 3 buah. Masing-masing media adsorpsi yang digunakan setinggi 10 cm dari dasar akuarium yang kemudian, direndam dengan air lindi dengan ketinggian 12 cm selama 120 menit setelah itu pengambilan sampel dilakukan dengan jumlah sampel yang dibutuhkan sebanyak 330 ml yang kemudian diuji kadar logam berat air lindi tersebut (Larasati *et al.* 2016).

3.4.3. Metode anaerob, aerob dan denitrifikasi

Proses anaerob menggunakan reaktor biofilter dari sarang tawon yang mampu mereduksi kandungan polutan organik pada air lindi. Sarang tawon sebagai tempat melekatnya mikroba yang bekerja dalam proses anaerob, penambahan glukosa juga dilakukan untuk mempercepat tumbuhnya mikroba. Proses aerob dilakukan menggunakan bioreaktor yang sama dengan proses anaerob, yaitu sarang tawon. Hanya saja yang membedakan adalah keefektivitasan dalam proses pelaksanaannya. Proses anaerob memerlukan waktu 8 hari dengan hasil 90,16% sementara proses

aerob membutuhkan waktu 3 hari dan mampu mereduksi polutan organik sampai 81,59%.

Proses denitrifikasi dilakukan untuk mereduksi nitrat yang terkandung dan efektivitasnya belum maksimal, mampu mereduksi sampai 48,12%. Untuk mencapai hasil yang efektif maka memadukan ketiga proses tersebut dalam mengolah air lindi adalah keputusan yang tepat, proses pertama dilakukan secara anaerobik kemudian dilanjutkan dengan proses aerobik dan sebagai proses penyempurnaan (*post treatment*) dilakukan denitrifikasi (Said dan Hartaja 2015).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Air lindi TPA Putri Cempo, Surakarta memiliki kandungan logam berat besi (Fe) pada 0,62 mg/L dan kandungan logam berat timbal (Pb) adalah 0,07 mg/L. Kandungan logam berat besi (Fe) dan timbal (Pb) tersebut terpantau masih sesuai dengan baku mutu pada PermenLH Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Terdapat beberapa metode pengolahan air lindi yang dapat digunakan adalah dengan teknik fitoremediasi; metode adsorpsi; serta metode anaerob, aerob dan denitrifikasi untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Chu Z, Fan X, Wang W and Huang WC. 2019. Quantitative evaluation of heavy metals' pollution hazards and estimation of heavy metals' environmental costs in leachate during food waste composting. *Waste Management* 84:119-128. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.031>
- Effendi F, Tresnaningsih E, Sulistomo AW, Wibowo S, Hudoyo KS, Dariana D, Setia B, Argana G, Pasolang SI, Sari FDA dan Efendi S. 2012. Penyakit akibat kerja karena paparan logam berat. Direktorat Bina Kesehatan Kerja dan Olahraga Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta.
- Fitri LH dan Sembiring E. 2017. Kajian pencemaran air tanah dangkal akibat lindi di sekitar TPA Supit Urang Malang. *Jurnal Teknik Lingkungan* 23(1):41-50.

- Hakim AR, Susilo A dan Maryanto S. 2014. Indikasi penyebaran kontaminan sampah bawah permukaan dengan metode magnetik (studi kasus: TPA Supit Urang, Malang). *Natural B* 2(3):281-289.
- Hapsari LN dan Priyono KD. 2022. Analisis pengaruh Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Putri Cempo terhadap kesehatan masyarakat di Kelurahan Mojosongo Kecamatan Jebres Kota Surakarta [Disertasi]. Fakultas Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta. Surakarta.
- Handriyani KATS, Habibah N dan Dhyana Putri IGAS. 2020. Analisis kadar timbal (Pb) pada air sumur gali di kawasan tempat pembuangan akhir sampah Banjar Suwung Batan Kendal Denpasar Selatan. *Jurnal Sains dan Teknologi* 9(1):68-75. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v9i1.17842>
- Hussein M, Yoneda K, Mohd-Zaki Z, Amir A and Othman N. 2021. Heavy metals in leachate, impacted soils and natural soils of different landfills in Malaysia: an alarming threat. *Chemosphere* 267:1-19. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128874>
- Ibrahim M, Saufan LO dan Bende LOS. 2023. Analisis persebaran lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Puuwatu. *Jurnal Perencanaan Wilayah* 8(1):69-79. <https://doi.org/10.33772/jpw.v8i1.333>
- Irhamni I. 2017. Serapan logam berat esensial dan nonesensial pada air lindi TPA Kota Banda Aceh dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan. *Jurnal Serambi Engineering* 2(1):134-140. <https://doi.org/10.32672/jse.v2i1.337>
- Karamina H, Murti AT dan Mujoko T. 2021. Kandungan logam berat Fe, Cu, Zn, Pb, Co, Br pada air lindi di tiga lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Dadaprejo, Kota Batu, Dau dan Supit Urang, Kabupaten Malang. *Jurnal Ilmiah Hijau Cendekia* 6(2):51-57.
- Larasati AI, Susanawati LD dan Suharto B. 2016. Efektivitas adsorpsi logam berat pada air lindi menggunakan media karbon aktif, zeolit, dan silika gel di TPA Tlekung, Batu. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 2(1):44-48.
- Lesmana RY. 2016. Layanan persampahan di Kota Surakarta dengan pemetaan berbasis sistem informasi geografis. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan* 1(1):11-21. <https://doi.org/10.33084/mitl.v1i1.135>

- Odom F, Gikunoo E, Arthur EK, Agyemang FO and Mensah-Darkwa K. 2021. Stabilization of heavy metals in soil and leachate at Dompooase landfill site in Ghana. *Environmental Challenges* 5:100308. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100308>
- Oktasari A, Erviana D, Novika DS, Rodiah S, Ahsanunnisa R, Wijayanti F, Kholidah N, Daniar R dan Mariyamah M. 2018. Analisa kualitatif logam timbal (Pb) dalam air lindi dan air sungai Tempat Pembuangan Akhir (TPA) II di Kelurahan Karya Jaya Musi 2 Palembang [Prosiding]. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan Vol 1. Palembang. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Raden Fatah Palembang.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah bagi usaha yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan.
- Pratiwi DY. 2020. Dampak pencemaran logam berat terhadap sumber daya perikanan dan kesehatan manusia. *Jurnal Akuatek* 1(1):59-65.
- Putra AY dan Mairizki F. 2020. Analisis logam berat pada air tanah di Kecamatan Kubu Babussalam, Rokan Hilir, Riau. *Jurnal Katalisator* 5(1):47-53.
- Ramadhanti ND, Astuti W dan Putri RA. 2021. Dampak TPA Putri Cempo terhadap permukiman. *Desa-Kota: Jurnal Perencanaan Wilayah, Kota, dan Permukiman* 3(2):103-121. <https://doi.org/10.20961/desa-kota.v3i2.48352.103-121>
- Romy M, Safitri IK, Aggistri ZS dan Rahayu MIF. 2023. Analisa potensi pembangkit limbah menjadi energi pada TPA pembuangan limbah di Indonesia menuju SDGs 2030. *Jurnal Socia Logica* 3(1):149-166. <https://doi.org/10.572349/socialogica.v3i1.372>
- Said NI dan Hartaja DRK. 2015. Pengolahan air lindi dengan proses biofilter anaerob-aerob dan denitrifikasi. *Jurnal Air Indonesia* 8(1):1-20.
- Santoso S, Haumahu JP dan Habi ML. 2016. Analisis spasial pencemaran logam berat sebagai dampak tempat pembuangan akhir sampah Kota Ambon pada DAS Wai Yori di Negeri Passo. *Jurnal Budidaya Pertanian* 12(2):55-65.
- Sari RN dan Afdal A. 2017. Karakteristik air lindi (*leachate*) di tempat pembuangan akhir sampah air dingin Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand* 6(1):93-99. <https://doi.org/10.25077/jfu.6.1.93-99.2017>

- Suhendrayatna. 2007. Teknologi pengolahan limbah Bahan Beracun Berbahaya (B3). Perpustakaan Nasional Syiah Kuala. Banda Aceh.
- Sukrorini T, Budiastuti S, Ramelan HA dan Kafiari PF. 2014. Kajian dampak timbunan sampah terhadap lingkungan di tempat pembuangan akhir (TPA) Putri Cempo Surakarta. *Jurnal Ekosains* 6(3):56-70.
- Suryono CA. 2016. Akumulasi logam berat Cr, Pb dan Cu dalam sedimen dan hubungannya dengan organisme dasar di Perairan Tugu Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis* 19(2):143-149. <https://doi.org/10.14710/jkt.v19i2.841>