

Literature Review : Pengelolaan Dan Pengolahan Air Lindi Pada Sampah Padat Kota Di Beberapa Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Di Jawa Tengah

Literature Review : Management and treatment of Leachate in Municipal Solid Waste at Landfill in Central Java

Shandio Farhan Januar¹, Putri Anggun Sari²

^{1,2}Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa

¹shandiof@gmail.com, ²poetrispt@pelitabangsa.ac.id

Abstract

Leachate is a secondary product of solid waste exposed to rainwater. At the final waste processing site, leachate is product which must be treated so as not to contaminate groundwater. Leachate is capable of contaminating groundwater with its organic elements and is capable of producing an unpleasngt odor. There are several methods in leachate treatment, namely physics, chemistry, and biology. Each method has different effectiveness. The method used for leachate treatment at several landfills in Central Java uses the Constructed Wetland and Evapotranspiration methods. The two methods have different advantages and disadvantages.

Keywords: *Leachate, Groundwater, Solid Waste, Evapotranspiration, Processing, Fluctuation*

Abstrak

Air lindi merupakan hasil sekunder dari sampah padat yang terkena oleh air hujan. Pada tempat pemrosesan akhir sampah dihasilkan air lindi yang harus diolah agar tidak mencemari air tanah. Air lindi mampu mencemari air tanah dengan unsur organik yang terkandung serta mampu menghasilkan bau yang tidak enak. Ada beberapa metode dalam pengolahan air lindi yakni, fisika, kimia, dan biologi. Masing-masing metode memiliki keefektifan dan keefisienan yang berbeda. Metode yang digunakan untuk pengolahan air lindi di beberapa TPA di Jawa Tengah menggunakan metode *Constructed Wetland dan Evapotranspirasi*. Dari dua metode tersebut memiliki kekurangan dan kelebihan yang berbeda.

Kata kunci: Air Lindi, Air Tanah, Sampah Padat, Evapotranspirasi, Pengolahan, Fluktuasi

Pendahuluan

Terjadinya peningkatan jumlah penduduk yang berbanding lurus dengan meningkatnya produksi sampah padat perkotaan, merupakan sebuah masalah yang dihadapi manusia pada saat ini. Pencemaran terhadap lingkungan oleh sampah menimbulkan banyak dampak negatif dengan banyak variabel pencemar. Salah satu variabel penyebab pencemaran itu adalah air lindi. Air lindi merupakan air dengan konsentrasi kandungan organik tinggi yang terbentuk dalam *landfill* akibat adanya air hujan yang masuk ke dalam *landfill*[1]. Lindi TPA yang dihasilkan dari TPA kota dianggap sebagai salah satu bahaya lingkungan dan kesehatan yang signifikan karena ditandai dengan konsentrasi tinggi senyawa organik terlarut, komponen makro anorganik, logam berat, organik xenobiotik, dan mikroorganisme patogen [2]. Migrasi lindi TPA dari lokasi TPA yang tidak terkontrol, yang paling umum terjadi di negara-negara berkembang, menyebabkan kontaminasi sumber daya air tanah dan permukaan di sekitarnya serta potensi risiko ekologis dan kesehatan. Konsentrasi tinggi dari berbagai logam berat terutama Pb, Cd, Cr dan Hg yang melebihi batas kritisnya dalam air tanah dan air permukaan serta ketidakseimbangan ekologi dan bahaya kesehatan yang terkait telah dilaporkan oleh berbagai peneliti sebagai akibat dari kontaminasi lindi [3][4]. [5][6] telah melaporkan konsentrasi tinggi

beberapa logam berat (Zn, Cd, Ni, Cu, Cr) pada sayuran, tanaman pangan dan ikan yang dibudidayakan menggunakan air permukaan dan tanah yang terkontaminasi lindi.

Sumber internal air lindi adalah air yang terkandung dalam sampah itu sendiri, sedangkan sumber eksternal air lindi dapat berasal dari cairan yang masuk ke dalam landfill seperti air permukaan, air hujan, airtanah dan sumber air lainnya. Umumnya air lindi memiliki kadar BOD dan COD yang tinggi [7]. Air lindi yang bercampur dengan air tanah berdampak negatif bagi air tanah di area tempat pemrosesan akhir (TPA). Hal ini terjadi karena timbunan sampah di TPA juga mempunyai kandungan zat organik dengan tingkat kandungan mineral tinggi. Karakteristik lindi dari TPA tergantung pada umur lokasi TPA. Pertama, fase awal pada TPA (kurang dari 5 tahun), pH yang terkandung dalam lindi sekitar 4 - 6,5 umumnya terjadi pembentukan asam alkanooat lindi pada TPA dengan kurun waktu waktu relatif lama dimana memiliki sifat pH basa antara kadar pH 8 – 8,5 Z [8]. Lindi yang berasal dari TPA secara umum dapat mengandung sejumlah besar material organik (yang mudah didegradasi dan juga yang sulit didegradasi), COD merupakan salah satu parameter dasar dalam lindi yang menjadi perhatian [9]. Dengan adanya perbedaan pada air lindi yang dipengaruhi banyak factor seperti yang dijelaskan sebelumnya, maka penanganan dan pengolahan air lindi memiliki beberapa metode yang berbeda sesuai dengan zat organik yang terkandung serta umur lindi itu sendiri.

Sistem pengolahan lindi dapat berupa sistem fisik-kimia dan sistem biologis. Sistem fisik-kimia seperti sistem filtrasi, pengendapan, adsorpsi, dan koagulasi-flokulasi [10], elektro-fenton, ozonisasi, fotokimia, irradiasi ultrasonik irradiasi [11]. Sedangkan pada sistem biologi seperti sistem granular dan Sistem anaerobic ammonium oxidation (ANAMMOX) [12]. Pada sistem fisik-kimia pada dasarnya memiliki kekurangan yakni biaya yang mahal. Sedangkan pada metode biologi kurangnya ke-efektifan hasil dari pengolahan limbah tersebut. Maka dari itu perlunya lagi sebuah perkembangan dalam sistem pengolahan yang efektif juga efisien. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai 2 metode pengolahan air lindi yaitu, metode *constructed wetland* merupakan suatu rawa buatan yang di buat untuk mengolah air limbah domestik, untuk aliran air hujan dan mengolah lindi (*leachate*) atau sebagai tempat hidup habitat liar lainnya, selain itu *constructed wetland* dapat juga digunakan untuk reklamasi lahan penambangan atau gangguan lingkungan lainnya [1]. Metode tersebut digunakan di TPA Tanjungrejo dan Banyuroto Jawa Tengah. Selanjutnya yakni metode evapotranspirasi sebagai salah satu metode sistem fitoteknologi. Proses tersebut seperti yang menggunakan berbagai jenis tumbuhan keras atau pohon. Pada umumnya menunjukkan hasil dengan tingkat efisiensi tinggi terutama untuk mengolah lindi. Salah satu faktor keberhasilannya adalah menggunakan tumbuhan lokal yang mampu tumbuh di sekitar limbah berada. Rumput Belulang dan tumbuhan Sente merupakan jenis tumbuhan yang tumbuh dengan baik di sekitar TPA sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan dalam sistem evapotranspirasi untuk mengolah COD dalam lindi dari TPA Jatibarang, Semarang [9].

Dalam pengelolaannya air lindi bisa dimanfaatkan dalam bentuk kompos. Bahan organik yang terdapat dalam air limbah akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi senyawa lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrient, sedangkan sistem perakaran tumbuhan air akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganisme [7].

Dalam review ini diharapkan mampu mendapatkan hasil berupa pemahaman mengenai pengelolaan dan pengolahan air lindi yang baik serta mampu memberikan respon terkait bagaimana penanganan dan pengolahan air lindi di beberapa TPA di Jawa Tengah.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan penentuan topik yang menjadi patokan pencarian jurnal yang digunakan dalam literature review. Jurnal yang di ambil merupan jurnal yang didapat dari beberapa sumber yaitu Sciencedirect dan Google Scholar. Jurnal yang didapat pun memiliki batasan, yakni jurnal internasional yang terakreditasi Scopus dan jurnal nasional terakreditasi SINTA 1-5. Kata kunci yang digunakan untuk pencarian jurnal terfokus pada “lindi” dan “Sampah Padat Perkotaan” untuk jurnal nasional. Untuk jurnal internasional memakai kata kunci “*Leachate*” dan “*Municipal Solid Waste*”. Semua jurnal diberi batasan tahun dari tahun 2017 sampai tahun 2022.

Hasil dan Pembahasan

Kualitas air lindi dalam pengolahannya harus memenuhi standar baku mutu yang telah ditentukan. Berdasarkan Tabel 1 memuat Baku Mutu Air Lindi yang terdapat pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.59 Tahun 2016 tentang baku mutu lindi bagi usaha dan/atau kegiatan pemrosesan akhir sampah. Perhitungan Metode Indeks Pencemaran tertuang di KepmenLH No. 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Baku mutu yang digunakan untuk perhitungan mengacu pada PP No.82 Tahun 2001 untuk kriteria Kelas I yang peruntukannya sebagai air baku air minum. Indeks Pencemaran (IP) dapat digunakan serbagai dasar dalam suatu pengelolaan kualitas air, sehingga pengelolaan tersebut diharapkan dapat memperbaiki kualitas air yang turun/buruk akibat dari kehadiran senyawa pencemar.

Indeks Pencemaran mencakup berbagai kelompok parameter kualitas yang independen dan bermakna. Indeks ini dinyatakan sebagai Indeks Pencemaran (Pollution Index) yang digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan (Kepmen LH 115, 2003). Jika L_{ij} menyatakan konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam Baku Peruntukan Air (j), dan C_i menyatakan konsentrasi parameter kualitas air (i) yang diperoleh dari hasil analisis cuplikan air pada suatu lokasi pengambilan cuplikan dari suatu alur sungai, maka PI_j adalah Indeks Pencemaran bagi peruntukan (j) yang merupakan fungsi dari C_i/L_{ij} . Tiap nilai C_i/L_{ij} menunjukkan pencemaran relatif yang diakibatkan oleh parameter kualitas air. Nisbah ini tidak mempunyai satuan. Nilai $C_i/L_{ij} = 1,0$ adalah nilai yang kritis, karena nilai ini diharapkan untuk dipenuhi bagi suatu Baku Mutu Peruntukan Air. Jika $C_i/L_{ij} > 1,0$ untuk suatu parameter, maka konsentrasi parameter ini harus dikurangi atau disisihkan, kalau badan air digunakan untuk peruntukan (j). Jika parameter ini adalah parameter yang bermakna bagi peruntukan, maka pengolahan mutlak harus dilakukan bagi air tersebut. Evaluasi terhadap nilai indeks pencemaran terlihat dalam tabel 2.

Tabel 1. Standar Baku Mutu Air Lindi

Parameter	Nilai	Satuan
pH	6-9	-
BOD	150	mg/L
COD	300	mg/L
TSS	100	mg/L
N Total	60	mg/L
Merkuri	0,005	mg/L
Kadmium	0,1	mg/L

Tabel 2. Evaluasi Terhadap Nilai Indeks

No	Kolom A	Kolom B
1	$0,0 \leq PI_j \leq 1,0$	Memenuhi baku mutu (baik)
2	$1,0 < PI_j \leq 5,0$	Cemar ringan
3	$5,0 < PI_j \leq 10$	Cemar sedang
4	$PI_j > 10$	Cemar Berat

Pada studi kasus air lindi di TPA Tanjungrejo, kabupaten Kudus, Jawa Tengah, metode yang digunakan yakni *constructed wetland*. Karakteristik diketahui berdasarkan sampel air lindi yang diambil dari kolam outlet IPAL di TPA sampah Tanjungrejo yang kemudian dianalisis di laboratorium. Parameter yang digunakan adalah pH, BOD, COD, TSS, dan N Total. Parameter tersebut disesuaikan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan TPA Sampah. Hasil analisa laboratorium air lindi dapat dilihat pada Tabel 3.

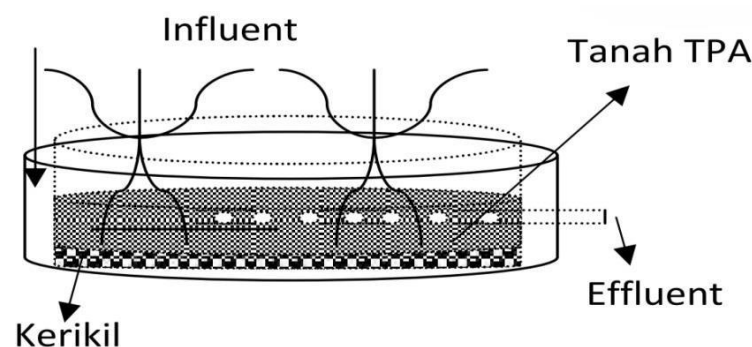
Tabel 3. Hasil Uji Laboratorium Air Lindi di TPA Sampah Tanjungrejo

Parameter	Hasil Analisa	Satuan
pH	9,43	-
BOD	230	mg/L
COD	662,256	mg/L
TSS	64	mg/L
N Total	3,5658	mg/L
Timbal	4,52	-

Sumber : Hasil Penelitian Pada TPA Tanggulrejo Pada Bulan Juli Tahun 2018 [7].

Berdasarkan hasil penelitian tentang Pengolahan Air Lindi Menggunakan Metode *Constructed Wetland* di TPA Sampah Tanjungrejo, Desa Tanjungrejo, Kecamatan Jekulo, Kab Kudus, Jawa Tengah. Karakteristik air lindi yang melebihi baku mutu adalah parameter pH sebesar 9,43; BOD sebesar 230 mg/L; dan COD sebesar 662,26 mg/L. Dengan menggunakan tanaman *Typha angustifolia* terbukti dapat menurunkan kadar pH, BOD, COD. Parameter yang terbukti turun memang masih belum sesuai baku mutu, tapi setidaknya dapat menurunkan kadar parameter tersebut. Belumnya tercapai angka baku mutu dapat dikarenakan intensitas waktu yang terlalu singkat. Proses *constucted wetland* merupakan proses filtrasi, absorpsi oleh mikroorganisme dan absorpsi oleh akar tanaman terhadap tanah dan bahan organik. Pengolahan yang dilakukan menggunakan sistem pengaliran horizontal dan sistem subsurface flow. Pemilihan kriteria desain pengolahan ini mempertimbangkan beberapa aspek dari segi teknis dan segi ekonomis. Dari segi teknis yaitu kemudahan dalam mendapatkan alat-alat dan bahan-bahannya. Selain itu pengoperasiannya juga mudah dan tidak terlalu rumit. Kemudahan dari segi ekonomis yaitu metode ini tidak memerlukan biaya yang banyak, alat dan bahannya pun murah dan juga tidak memerlukan bahan kimia dan energi yang besar.

Fenomena penurunan parameter pada air lindi menggunakan metode *constructed wetland* dengan media tanaman lindi air dapat terjadi akibat pemanfaatan simbiosis mikroorganisme dalam tanah dan tumbuhan air. Bakteri menguraikan bahan organik menjadi molekul atau ion yang dapat diserap oleh tumbuhan. Dalam sistem wetland, bahan organik yang terendapkan dihilangkan dengan proses sedimentasi dan penguraian anaerobik di dasar wetland, kemudian terjadi proses absorpsi oleh tumbuhan air melalui akar setelah terbentuk ion oleh penguraian anaerobic [13].



Gambar 1 Reaktor Uji Evapotranspirasi

Sedangkan pada studi kasus, pengolahan air lindi menggunakan metode evapotranspirasi yang digunakan di TPA Jatibarang. Reaktor uji dibuat secara duplo dengan desain seperti pada gambar 1 yang terdiri dari dua buah kontainer dengan volume 160 liter (bagian luar) dan 140 liter (bagian dalam) yang dilubangi pada bagian dasarnya dengan diameter sekitar 1 cm (3 lubang) yang berfungsi sebagai media tanam dan agar lindi dari luar dapat masuk ke media tanam secara kapiler. Media tanam berupa kerikil dan tanah. Pada media ditanam dengan dua buah individu. Tumbuhan Sente yang ditanam sudah mempunyai 2 buah daun dan

batang dengan ketinggian ± 10 cm. Sedangkan rumput belulang telah mempunyai 5 daun dan panjang batang ± 5 cm. Kemudian dilakukan pemeliharaan dan aklimatisasi selama $\pm 7-10$ hari untuk memastikan sudah tumbuh dengan baik.

Hasil pengujian COD dalam lindi yang berasal dari TPA Jatibarang mencapai konsentrasi 1.325 mg/l, dimana baku mutu COD berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah (Baku Mutu Air Limbah Untuk Usaha Dan/Atau Kegiatan Yang Belum Ditetapkan Baku Mutunya) untuk golongan I sebesar 100 mg/l. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya sistem pengolahan yang baik untuk menyisihkan konsentrasi COD dalam lindi yang dihasilkan TPA Jatibarang. Hasil pengujian COD menggunakan tumbuhan Sente (*Alocasia macrorrhiza*) menunjukkan adanya fluktuasi penyisihan seperti ditampilkan pada Gambar 1. Kondisi yang berfluktuasi tersebut terjadi pada semua reaktor uji baik yang menggunakan tumbuhan Sente maupun kontrolnya.

Efisiensi penyisihan COD pada periode fluktuasi yang dipengaruhi oleh pertumbuhan daun tersebut berada pada kisaran 40% hingga 50%. Pada tahap selanjutnya saat daun baru telah optimal tingkat efisiensi meningkat hingga pada kisaran 70%. Selain disebabkan oleh fluktuasi kemampuan fotosintesis tumbuhan juga disebabkan oleh adaptasi pertumbuhan bakteri dimana terjadi hambatan dan adaptasi bakteri yang kemudian mengalami pertumbuhan. Bakteri yang tumbuh di bagian luar akar juga dipengaruhi oleh aktivitas metabolisme tumbuhan terutama untuk mensuplai oksigen dan nutrient yang tidak diperoleh dari lindi untuk pertumbuhan bakteri. Sedangkan penyisihan COD yang menggunakan Rumput Belulang (*Eleusine indica*) menunjukkan fluktuasi yang lebih rendah dibandingkan dengan Sente. ngambilan kontaminan dan terdistribusi ke dalam berbagai organ tumbuhan. Kelima, adalah fitodegradasi sebagai penguraian kontaminan yang terserap melalui proses metabolik dalam tumbuhan, atau penguraian kontaminan di luar tumbuhan melalui proses enzimatis yang dihasilkan tumbuhan. Keenam, adalah fitovolatilisasi yang merupakan proses pelepasan kontaminan ke udara setelah terserap tumbuhan. Sedangkan interaksi yang paling banyak antara tumbuhan dan bakteri terjadi di rhizosfer yang merupakan zona aktif biologis dalam tanah disekitar akar tumbuhan. Interaksi akar-bakteri dalam rhizosfer berguna untuk tumbuhan, mikroorganisme atau terhadap yang lain. Area permukaan akar yang tertutup oleh mikroorganisme spesifik pada rhizosfer mencapai 15% dengan berbagai bagian interaksi biologisnya. Pada tanah rhizosfer terdapat 106-109 organisme bakteri per gram tanah rhizosfer dengan bakteri yang paling umum berupa pseudomonas dan acetinomyces Sedangkan jamur yang pathogen dan simbiotik rata-rata sekitar 105-106 organisme per gram tanah rhizosfer dengan jenis umum berupa zygomycetes dan hyphomycetes karena memetabolisme gula sederhana.

Rhizosfer berhubungan dengan transformasi nitrogen (proses nitrifikasi-denitrifikasi) yang merupakan pusat untuk mengetahui siklus nutrient dalam ekosistem air yang dangkal. Dalam rhizosfer, aliran anorganik karbon dan nitrogen sangat kompleks tergantung pada tingkat tumbuhan dan lingkungannya serta variasi spasial dan temporal sepanjang akar tumbuhan [14]. Berbagai jenis tumbuhan dapat melepaskan 10-250 mg C/g akar yang diproduksi atau sekitar 10-40% total karbon fotosintesis. Karbon dilepaskan dalam bentuk organik (berat molekul yang rendah seperti asam organik) dan anorganik (seperti HCO₃). Bentuk organik paling bervariasi dan dapat mempengaruhi proses secara kimia, fisik dan biologi dalam rhizosfer dengan komposisi dan jumlah senyawa yang dilepaskan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti jenis tumbuhan, kondisi iklim, herbivora insekta, defisiensi nutrien atau toksisitas, sifat fisik, kimia dan biologi tanah sekitarnya. Eksudat akar termasuk sekresi (termasuk mucilage) yang aktif dilepaskan dari akar dan difusasi yang dilepaskan secara pasif melalui perbedaan osmotik antara larutan tanah dan sel atau lisat dari autolysis sel epidermis dan kortikel. Senyawa organik dilepaskan melalui kedua proses tersebut dalam bentuk berat molekul yang tinggi dan yang rendah (*High Molecule Weight* atau HMW dan *Low Molecule Weight* atau LMW). Senyawa LMW lebih bervariasi dan mempunyai potensi fungsi yang luas LMW dilepaskan dari akar dalam jangka waktu yang sangat lama tetapi secara umum dikelompokkan dalam asam organik, asam amino, protein, gula, fenol dan berbagai metabolit sekunder yang secara umum lebih mudah dimanfaatkan oleh mikroorganisme [12].

Bila terjadi defisiensi nutrisi dalam media, respon tumbuhan dilakukan dengan merubah morfologi akar, merekrut mikroorganisme penolong dan merubah lingkungan kimiawi rhizosfer. Komponen eksudat dalam akar membantu tumbuhan dalam memperkirakan nutrient melalui asidifikasi atau mengubah kondisi redok melalui rhizosfer atau melalui silasi langsung dengan nutrient. Eksudat dapat melepaskan nutrient melalui pelarutan mineral-mineral tidak terlarut atau desorpsi mineral-mineral lempung atau material organik yang kemudian dilepaskan kedalam larutan tanah sehingga kemudian dapat diambil oleh tumbuhan.

Tumbuhan air merespon kekurangan oksigen dengan membentuk sistem aerenchyma yang salah satu fungsi utamanya adalah meningkatkan radial oxygen loss (ROL) dari akar ke rhizosfer untuk mengendalikan akumulasi senyawa fitotoksik (seperti Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2S) dan menjaga proses aerobik mikroba seperti konversi amonium menjadi nitrat oleh bakteri nitrifikasi [15]. Proses-proses tersebut akan sangat mempengaruhi penyisihan COD dalam lindi yang terjadi pada reaktor uji sehingga terlihat pada penggunaan kedua jenis tumbuhan uji (*Alocasia macrorrhiza* dan *Eleusine indica*) berfluktuasi.

Kesimpulan

Dari dua metode yang digunakan yakni metode *constructed wetland* dan evapotranspirasi dapat disimpulkan bahwa pada metode *constructed wetland* memiliki keefisienan yang cukup baik karena secara teknis dan biaya lebih murah. Walaupun masih terdapat parameter yang melebihi baku mutu. Maka dari itu harus dilakukan penelitian lebih lanjut tentang penggunaan tanaman *Typha angustifolia* sebagai media pengolahan sehingga dapat mengetahui sampai mana tingkat kejenuhan tanaman tersebut, sehingga dapat dibuat perancangan yang efisien.

Sedangkan pada metode evapotranspirasi yang menggunakan 2 jenis tumbuhan berbeda. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa proses penyisihan COD dalam lindi selama operasional reaktor berfluktuasi pada semua reaktor tetapi pada reaktor yang menggunakan tumbuhan Sente (*Alocasia macrorrhiza*) lebih fluktuatif dibandingkan dengan menggunakan rumput Belulang (*Eleusine indica*). Tingkat efisiensi selama operasional reaktor cenderung mengalami penurunan selama sekitar 25 hari pertama (dari sekitar 70-80% menjadi 40-50%) tetapi kemudian mengalami peningkatan tingkat efisiensi penyisihan yang disebabkan mulai dominannya peran tumbuhan uji dan bakteri di lingkungannya.

Daftar Rujukan

- [1] Thomas Rezki and Dian Hudawan, "Potensi Pencemaran Air Lindi Terhadap Air Tanah Dan Teknik Pengolahan Air Lindi Di TPA Banyuroto," *Carbohydr. Polym.*, vol. 6, no. 1, pp. 5–10, 2019.
- [2] Sushmita De, Tumpa Hazra, Amit Dutta, Application of integrated sequence of air stripping, coagulation flocculation, electrocoagulation and adsorption for sustainable treatment of municipal landfill leachate, *Cleaner Waste Systems*, 2022
- [3] Aharoni, Imri, Siebner, Hagar, Yogeve, Uri, Dahan, Ofer, 2020. Holistic approach for evaluation of landfill leachate pollution potential—From the waste to the aquifer. *Sci. Total Environ.* 741, 140367.
- [4] Odom, Felix, Gikunoo, Emmanuel, Arthur, Emmanuel Kwesi, Agyemang, Frank Ofori, Mensah-Darkwa, Kwadwo, 2021. Stabilization of heavy metals in soil and leachate at Dompoo landfill site in Ghana. *Environ. Chall.* 5, 100308.
- [5] Alam, Pervez, Sharholi, Mufeed, Ahmad, Kafeel, 2020. A study on the landfill leachate and its impact on groundwater quality of Ghazipur area, New Delhi, India. *Recent Developments in Waste Management*. Springer, Singapore, pp. 345–358.
- [6] Borah, Pallabi, Gujre, Nihal, Rene, Eldon R., Rangan, Latha, Kumar Paul, Ranjit, Karak, Tanmoy, Mitra, Sudip, 2020. Assessment of mobility and environmental risks associated with copper, manganese and zinc in soils of a dumping site around a Ramsar site. *Chemosphere* 254, 126852.
- [7] J. Ramadhani and R. R. D. Asrifah, "Pengolahan Air Lindi Menggunakan Metode Constructed Wetland di TPA Sampah Tanjungrejo, Desa Tanjungrejo, Kecamatan Jekulo, Kabupaten Kudus," *J. Ilm. Lingkung. ...*, vol. 1, pp. 1–8, 2020, [Online]. Available: <http://jurnal.upnyk.ac.id/index.php/kebumian/article/view/3280>
- [8] Karami, Abdilah, and Ida Munfarida, "Studi Model Domenico-Robbins dan Ogata-Banks terhadap Pola Persebaran Lindi di TPA Ngipik Kabupaten Gresik," *Al-Ard : Jurnal Teknik Lingkungan* vol. 7, no. 2, pp. 85–94, 2022.
- [9] B. Zaman, I. W. Wardana, E. Sutrisno, A. D. Kurniawati, and A. Amalia, "Studi Efisiensi Penyisihan COD dalam Lindi dengan Sistem Evapotranspirasi Menggunakan Tumbuhan Sente (*Alocasia macrorrhiza*) dan

- Rumput Belulang (*Eleusine indica*),” *J. Presipitasi Media Komun. dan Pengemb. Tek. Lingkung.*, vol. 14, no. 2, p. 81, 2017, doi: 10.14710/presipitasi.v14i2.81-87.
- [10] M. Malovanyy *et al.*, “Efficiency of two-stage aerobic-reagent technology for the pre-treatment of different age leachates of municipal solid waste landfills,” *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, vol. 6, no. July, p. 100255, 2022, doi: 10.1016/j.cscee.2022.100255.
- [11] H. Wang, C. Yang, B. Wang, Z. He, and T. Fu, “Nitrogen removal performance and microbiological characteristics for the landfill leachate treatment in a three-stage vertical flow constructed wetlands system,” *Environ. Technol. Innov.*, vol. 28, 2022, doi: 10.1016/j.eti.2022.102728.
- [12] V. R. Propp *et al.*, “Organic contaminants of emerging concern in leachate of historic municipal landfills,” *Environ. Pollut.*, vol. 276, p. 116474, 2021, doi: 10.1016/j.envpol.2021.116474.
- [13] R. K. Etim, T. S. Ijimdiya, A. O. Eberemu, and K. J. Osinubi, “Compatibility interaction of landfill leachate with lateritic soil bio-treated with *Bacillus megaterium*: Criterion for barrier material in municipal solid waste containment,” *Clean. Mater.*, vol. 5, no. June, p. 100110, 2022, doi: 10.1016/j.clema.2022.100110.
- [14] I. W. Widiarti and E. Muryani, “Kajian Kualitas Air Lindi Terhadap Kualitas Air Tanah di Sekitar TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) Sampah Jetis, Desa Pakem, Kecamatan Gebang, Purworejo, Jawa Tengah,” *J. Tanah dan Air (Soil Water Journal)*, vol. 15, no. 1, pp. 1–9, 2018.
- [15] A. Urtiaga, S. Gómez-Lavín, and A. Soriano, “Electrochemical treatment of municipal landfill leachates and implications for poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) removal,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 10, no. 3, 2022, doi: 10.1016/j.jece.2022.107900.