

Karakteristik Air Lindi Instalasi Pengolahan Air Sampah (IPAS) 3 di Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu (TPST) Bantargebang

Esti Warahap Sari¹⁾, Ika Wahyuning Widiarti²⁾, Ayu Utami, Agus Bambang Irawan³⁾, and Aditya Pandu Wicaksono⁴⁾

^{1,2,3,4)}Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta/Jurusan Teknik Lingkungan

^{a)}Corresponding author: ika.widiarti@upnyk.ac.id

^{b)} 114190071@student.upnyk.ac.id

ABSTRAK

Air lindi merupakan jenis air limbah khusus yang mengandung berbagai macam polutan yang bersifat toksik terhadap lingkungan. Studi terkait karakteristik air lindi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik air lindi sebelum diolah di IPAS 3 TPST Bantargebang agar dapat dijadikan dasar manajemen pengolahan air lindi di TPST Bantargebang. Sampel air lindi diambil pada *inlet* dan *outlet* IPAS 3 pada tanggal 31 Maret 2023. Sampel air lindi diambil menggunakan teknik *grab sampling* sebanyak 2 buah dengan volume tiap sampel sebanyak 2 liter. Pengujian air lindi dilakukan untuk parameter pH, BOD₅, COD, dan Hg. Berdasarkan pengujian dan analisis didapatkan nilai tiap parameter pada *inlet* dan *outlet* berturut-turut sebesar 8,6; 933 mg/L; 3110 mg/L, dan 0,1896 mg/L sedangkan 6,75; 44 mg/L; 146 mg/L; dan <0,0005 mg/L. Nilai rasio antara BOD₅ dan COD sebelum pengolahan sebesar 0,3 sehingga tergolong ke dalam air lindi usia sedang, meskipun TPST Bantargebang tergolong ke dalam usia tua. Berdasarkan nilai tersebut, maka jenis pengolahan saat ini, yaitu aerasi, koagulasi-flokulasi, dan *sandfilter* sudah cukup baik dalam mengolah tipe air lindi ini yang ditandai dengan pemenuhan baku mutu untuk seluruh parameter. Namun, parameter Hg perlu monitoring khusus dikarenakan toksisitas dan konsentrasinya yang tergolong tinggi

Kata Kunci: Air lindi; IPAS; TPST Bantargebang

ABSTRACT

Leachate is a special type of wastewater that contains a variety of pollutants that are toxic to the environment. Studies related to leachate characteristics were carried out with the aim of acknowledging the characteristics of the raw leachate hence can be used as a consideration for leachate treatment management at TPST Bantargebang. Leachate sample were taken from the inlet of IPAS 3 on March 31, 2023. Two leachate samples were collected with grab sampling technique and had a volume of two liters each. Leachate quality analysis was carried out for pH, BOD₅, COD, and Hg. The result shows the quality of leachate based on the value of each parameter at the inlet and outlet was 8.6; 933 mg/L; 3110 mg/L; 0.1896 mg/L and 6.75; 44 mg/L; 146 mg/L; <0.0005 mg/L. The BOD₅/COD ratio was 0,3 thus can be classified as intermediate leachate, even though TPST Bantargebang is classified as old landfill. Based on these result, the current type of treatment, such as aeration, coagulation-flocculation, and sandfilter are adequate to treat this type of leachate, which has met quality standards for all parameters despite better monitoring is necessary due to high toxicity and concentration of Hg.

Keywords: Landfill leachate; WWTP; Bantargebang landfill

PENDAHULUAN

Sampah yang diproduksi di Provinsi DKI Jakarta diolah di Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu (TPST) Bantargebang. TPST Bantargebang menerima sampah ± 7.700 ton/hari. Metode yang diterapkan dalam pengelolaan sampah, yakni *sanitary landfill* (Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta, 2022).

Kontaminasi air lindi merupakan salah satu risiko utama pada *landfill* yang diakibatkan oleh proses biologis dalam sampah (Vaverková, 2019). Permasalahan terkait pembentukan air lindi tidak hanya terjadi ketika masa operasi *landfill*, melainkan hingga beberapa tahun setelah *landfill* ditutup (Somani et al., 2019 dalam Podlasek et al., 2023).

Air lindi merupakan *effluent* dalam bentuk cairan akibat perkolasi air hujan ke dalam timbunan sampah, proses biokimia dalam sampah, dan kandungan air dalam sampah (Renou et al., 2008). Townsend et al. (2015) mengatakan bahwa kontak antara air dengan sampah menyebabkan bahan kimia dalam sampah maupun hasil samping reaksi kimia terlarut sehingga air lindi mengandung bahan kimia terlarut maupun material suspensi yang tinggi.

Air lindi dapat berdampak buruk terhadap lingkungan. Kandungan bahan organik yang tinggi dapat menurunkan kandungan oksigen terlarut dalam air sehingga dapat mengakibatkan kematian pada tanaman ataupun organisme akuatik dan eutrofikasi pada badan air. Kandungan mikroorganisme dan virus yang berbahaya terhadap manusia. Logam berat yang berbahaya terhadap kesehatan manusia dan dapat menurunkan kesuburan tanah (Youcai, 2018). Selain itu, Iravanian & Ravari (2020) mengatakan bahwa *xenobiotic organic compounds* yang memiliki struktur kimia kompleks dapat bersifat toksik bahkan terakumulasi dalam sel organisme dan mengakibatkan masalah kesehatan bagi manusia. Air lindi dapat mengalir ke dalam air tanah maupun air permukaan dan mencemari tanah maupun air. Selanjutnya, zat toksik dalam air lindi juga dapat terakumulasi ke dalam tubuh makhluk hidup dan akan tertransportasi melalui rantai makanan (Vaverková, 2019).

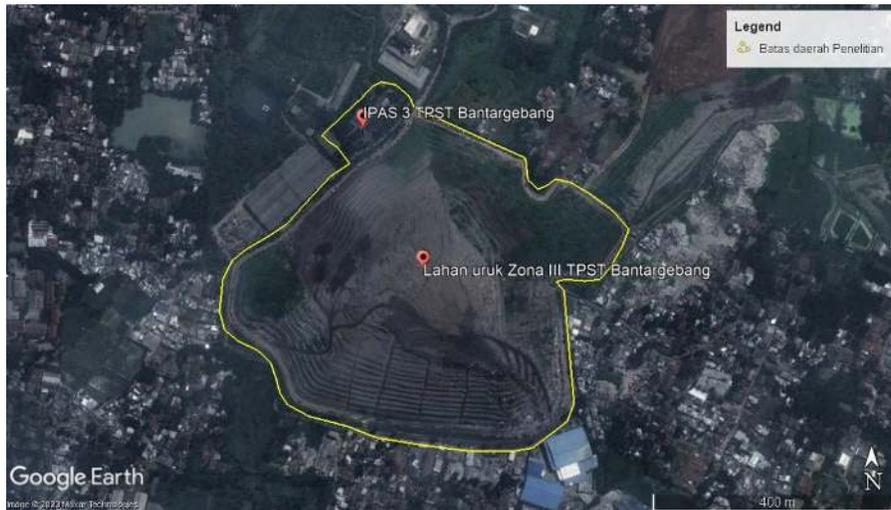
Air lindi dikategorikan sebagai jenis air limbah spesifik dikarenakan variabilitas komposisinya (Jayawardhana et al., 2016). Mengacu pada Podlasek et al. (2023), komposisi air lindi sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yakni komposisi dan ukuran partikel dalam sampah, umur sampah, kandungan air, temperatur di dalam *landfill*, metode operasi pada *landfill*, dan kondisi hidrologi serta iklim di lokasi sekitar *landfill*. Usia *landfill* dikatakan sebagai faktor dominan di antara beberapa faktor yang memengaruhi konsentrasi polutan dalam air lindi (Ma et al., 2022). Menurut Gómez et al. (2019), usia *landfill* secara spesifik adalah fase pada *landfill*, yang terdiri dari fase aerobik, fase asam anaerobik, fase pembentukan metana, dan fase maturasi yang masing-masing memiliki komposisi polutan utama yang berbeda. Aziz et al. (2023) mengatakan jika usia *landfill* digunakan untuk mengklasifikasikan air lindi, yakni air lindi muda (kurang dari 5 tahun), transisi (5-10 tahun), dan tua atau stabil (lebih dari 10 tahun).

Karakteristik air lindi merupakan salah satu aspek yang penting dalam pengembangan metode dan teknik remediasi (Jayawardhana et al., 2016). Karakteristik air lindi dapat dijadikan pertimbangan dalam memungkinkan pengolahan yang tepat (Mohd-Salleh et al., 2020). Alfani (2022) mengatakan bahwa karakteristik air lindi dapat memengaruhi efektivitas dan efisiensi dari teknologi pengolahan yang dipilih. Corsino et al. (2020) menyatakan bahwa apabila nilai BOD₅/COD rendah mengakibatkan penyisihan bahan organik akan rendah, sedangkan apabila nilai BOD₅/COD lebih dari 0,3 maka air lindi tersebut sesuai diolah dengan proses biologis. Beberapa penelitian terdahulu terkait karakteristik air lindi sudah dilakukan, beberapa di antaranya di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Air Dingin (Sari & Afdal, 2017), Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Cipayung (Noerfitriyani et al., 2018), dan di Simpang Renggam *Landfill Site* (Mohd-Salleh et al., 2020).

TPST Bantargebang mengolah air lindi pada beberapa unit instalasi pengolahan air sampah (IPAS). Salah satu unit pengolahan air lindi adalah IPAS 3 yang mengolah air lindi dari lahan uruk zona III. Tujuan pada studi ini adalah untuk menganalisis karakteristik air lindi yang diolah di IPAS 3 agar dapat diketahui klasifikasi tipe usia lindi. Karakteristik air lindi *existing* dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan terkait manajemen pengolahan air lindi ke depannya.

METODE

a. Area Studi



Gambar 1 Daerah Penelitian



Gambar 2 Kondisi *Existing* Lahan Uruk Zona III Tanpa Tanah Penutup

Penelitian dilakukan di TPST Bantargebang yang terletak di Kecamatan Bantargebang, Kota Bekasi, Provinsi Jawa Barat. TPST Bantargebang sudah beroperasi sejak tahun 1989. Penelitian ini dibatasi di sekitar lahan uruk zona III yang terletak pada 720656,86 – 721316,18 mE dan 9297397,01 – 9296809,30 mU. Lahan uruk zona III merupakan salah satu lahan uruk sampah di TPST Bantargebang yang masih menerima kegiatan pemrosesan akhir sampah. Berdasarkan observasi yang ditunjukkan pada **Gambar 2**, lahan uruk zona III tidak sepenuhnya memenuhi kriteria pada metode *sanitary landfill*, khususnya tidak terdapat pengaplikasian tanah penutup harian setiap harinya sehingga lahan uruk sampah berkontak langsung dengan lingkungan. Air lindi yang dihasilkan oleh lahan uruk zona III diolah di IPAS 3 dengan metode kombinasi fisika-kimia dan biologis. Letak Lahan uruk zona III dan IPAS 3 disajikan pada **Gambar 1**.

b. Pengumpulan dan Analisis Data



Gambar 3 Inlet IPAS 3



Gambar 4 Kolam Clean Water

Pengumpulan data dalam studi ini meliputi pengambilan sampel air lindi pada *inlet* dan kolam *clean water* IPAS 3 (**Gambar 3** dan **Gambar 4**). Pengambilan sampel mengacu pada metode *purposive sampling*. Pengambilan sampel air lindi dilakukan di *inlet* IPAS 3 karena pada unit ini mengandung air lindi yang langsung mengalir dari lahan uruk zona III dan belum mengalami pengolahan apapun sehingga dapat menggambarkan konsentrasi awal air lindi yang diproduksi oleh sampah pada lahan uruk zona III. Selain itu, sampel air juga diambil pada kolam *clean water (outlet)* karena unit ini menampung air lindi yang sudah diolah pada seluruh unit pengolahan IPAS 3 sehingga dapat menggambarkan kualitas air lindi setelah pengolahan. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan teknik *grab sampling*. Sampel diambil sebanyak 1 pengulangan pada tiap lokasi dengan masing-masing volume sampel 2 liter. Pengambilan sampel mengacu pada SNI 6989.59:2008 mengenai Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 31 Maret 2023 pukul 08.00 WIB dengan cuaca yang berawan dan berada pada musim hujan.

Parameter air lindi yang dipilih meliputi pH, BOD₅, COD, dan Hg. Parameter yang dipilih merupakan beberapa parameter pengujian untuk air lindi yang dimuat dalam Permen LHK Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah. Nilai pH, BOD₅, dan COD akan berubah sepanjang waktu akibat berbagai proses dekomposisi sampah di dalam *landfill* sehingga berpengaruh terhadap karakteristik air lindi berdasarkan usia *landfill*. Parameter BOD₅, COD, dan Hg merupakan beberapa parameter yang memiliki konsentrasi tinggi berdasarkan pengukuran temporal di IPAS 3. Selain itu, merkuri (Hg) merupakan salah satu logam berat dengan sifat toksik terhadap lingkungan, termasuk manusia apabila terdapat dalam bentuk metil merkuri. Parameter pH, BOD₅, COD, dan Hg diujikan di laboratorium. Pengukuran pH dilakukan dengan pH meter dan mengacu pada SNI 6989.11:2019. Metode pengujian parameter BOD₅ mengacu pada SNI 6989.72.2009, yakni dengan prinsip inkubasi sampel yang telah ditambahkan larutan pengencer jenuh oksigen, larutan nutrisi, dan bibit mikroba pada ruangan gelap dengan suhu 20 °C ± 1 °C dan selama 5 hari. Pengujian COD mengacu pada SNI 6989.2.2009, yakni dengan refluks tertutup secara spektrofotometri. Pengujian Hg mengacu pada IKM-AA-7.2.7-MI (AFS) menggunakan metode *Atomic Fluorescence Spectroscopy*.

Analisis karakteristik air lindi yang diolah di IPAS 3 menggunakan metode deskriptif berdasarkan pengklasifikasian air lindi menurut Aziz et al. (2023) pada **Tabel 1** untuk parameter pH, COD, dan rasio antara BOD₅ dan COD. Rasio antara BOD₅ dan COD dihitung dengan cara membagi nilai BOD₅ terhadap COD. Nilai uji parameter pH, BOD₅, COD, dan Hg pada sampel sebelum dan sesudah pengolahan dibandingkan dengan baku mutu air lindi menurut Permen LHK Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah. Baku mutu yang diacu disajikan pada **Tabel 2**. Selain itu, dilakukan perhitungan

Tabel 1 Tipe Air Lindi berdasarkan Usia *Landfill*

No	Parameter	Satuan	Tipe Air Lindi		
			Muda (<5 tahun)	Sedang (5 – 10 tahun)	Stabil/tua (>10 tahun)
1.	pH	-	<6,5	6,5 – 7,5	>7,5
2.	COD	mg/L	>10.000	4.000 – 10.000	<4.000
3.	BOD ₅ /COD	-	0,5 – 1,0	0,1 – 0,5	<0,1
4.	Kandungan organik	-	80% VFA	5 – 30% VFA + HFA	HFA
5.	NH ₃ -N	mg/L	<400	-	>400
6.	TOC/COD	-	<0,3	0,3 – 0,5	>0,5
7.	Kjeldahl nitrogen	g/L	0,1 – 0,2	-	-
8.	Logam berat	mg/L	Rendah hingga sedang	rendah	rendah
9.	biodegradabilitas	-	Tinggi	sedang	rendah

Keterangan:

VFA : *Volatile Fatty Acids*HFA : *Humic and Fulvic Acids*

Sumber: Aziz et al. (2023)

Tabel 2 Baku Mutu Air Lindi Berdasarkan Parameter yang Dipilih

Parameter	Kadar Paling Tinggi	
	Nilai	Satuan
pH	6 – 9	-
BOD	150	mg/L
COD	300	mg/L
Hg	0,005	mg/L

Sumber: Permen LHK Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, didapatkan kualitas air lindi pada *inlet* IPAS 3 yang disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kualitas Air Lindi pada Inlet IPAS 3

No	Parameter	Satuan	Kualitas di <i>Inlet</i> IPAS 3	Kualitas di Kolam <i>Clean</i> <i>Water</i> IPAS 3	Baku Mutu Lindi
			TPST Bantargebang (34 tahun)	TPST Bantargebang (34 tahun)	
1.	pH	-	8,6	6,75	6 – 9
2.	COD	(mg/L)	3110	146	300
3.	BOD ₅	(mg/L)	933	44	150
4.	Rasio antara BOD ₅ dan COD	-	0,3	-	-
5.	Biodegradabilitas	-	sedang	-	-
6.	Hg	(mg/L)	0,1896	<0,0005	0,005

Keterangan:

 : Tidak memenuhi baku mutu lindi menurut Permen LHK Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016

a. pH

Nilai pH air lindi yang ada di *inlet* IPAS 3 adalah 8,6, sedangkan nilai pH pada kolam *clean water* (setelah melalui pengolahan) turun menjadi 6,75. Kedua sampel memenuhi baku mutu lindi. Nilai lindi pada *inlet* termasuk ke dalam klasifikasi air lindi tua sehingga selaras dengan usia TPST Bantargebang (> 10 tahun). Nilai pH pengukuran selaras dengan nilai pH pada beberapa penelitian terdahulu di

TPA/*landfill* dengan masa operasi yang lebih dari 10 tahun. Nilai pH air lindi di TPA Jetis adalah 8 (Widiarti & Muryani, 2018). pH air lindi di TPA Cipayung adalah 7,83 (Noerfitriyani et al., 2018). Berdasarkan penelitian Angrianto et al. (2021) nilai pH serupa didapatkan di TPA Sowi Gunung, yakni sebesar 8,07. Selain itu, hasil pengukuran pH di Simpang Renggam *Landfill Site* juga memiliki nilai yang cenderung basa, yaitu 8,46 (Mohd-Salleh et al., 2020).

Landfill berusia tua (>10 tahun) cenderung memiliki pH yang tinggi dan bersifat basa. *Landfill* pada kondisi ini mengalami fase degradasi anaerobik. Penurunan konsentrasi asam lemak volatil (*volatile fatty acids* atau VFAs) terjadi karena bakteri penghasil metana mengonsumsi VFAs (Lindamulla et al., 2022) sehingga pH akan meningkat.

pH berefek terhadap kemampuan pengolahan air secara biologis. Rentang pH 6 – 9 merupakan nilai pH yang optimal untuk kehidupan biologis (Noerfitriyani et al., 2018). Dong et al. (2021) mengatakan bahwa pH mampu menurunkan maupun menonaktifkan aktivitas enzim di dalam sel mikroorganisme yang akan berpengaruh terhadap metabolisme mikroorganisme. pH rendah juga mampu menyulitkan proses pembentukan lumpur. Berdasarkan pernyataan ini, maka pH air lindi pada *inlet* IPAS 3 sudah sesuai untuk pengolahan secara biologis.

b. BOD₅

Nilai BOD₅ pada *inlet* adalah 933 mg/L dan sudah jauh melampaui baku mutu air lindi, yakni 150 mg/L. Namun, nilai BOD₅ setelah pengolahan mengalami penurunan menjadi 44 mg/L sehingga sudah memenuhi baku mutu. Nilai BOD₅ pada *inlet* tergolong tinggi, meskipun tidak setinggi pada *landfill* usia muda yang telah tercatat, yakni 4.000 – 13.000 mg/L (Mosquera et al., 2022). Nilai BOD₅ pada beberapa *landfill* dengan usia > 10 tahun, yakni 173,6 mg/L di TPAS Air Dingin (Sari & Afdal, 2017), 196 mg/L di TPA Jetis (Widiarti & Muryani, 2018), 3.969,63 mg/L di TPA Cipayung (Noerfitriyani et al., 2018), dan dalam rentang 54,38 – 240,75 mg/L pada pengukuran temporal di Simpang Renggam *Landfill Site* (Mohd-Salleh et al., 2020).

Widiarti & Muryani (2018) mengatakan bahwa BOD bersama dengan COD mengindikasikan tingginya kandungan organik hasil dekomposisi sampah. Hal ini selaras dengan karakteristik sampah yang ditimbun di TPST Bantargebang, yaitu sampah yang mudah terurai dengan persentase 49,87%. Menurut Chen dan Xue (2013) dikutip dalam Ma et al. (2022), konsentrasi bahan organik dalam air lindi akan tinggi pada fase aerobik awal (COD > 6.000 mg/L dan BOD₅ > 3.000) dan akan menurun selama fase metanogenesis. Pada fase pembentukan asam, *Volatile Fatty Acids* akan terbentuk dalam jumlah yang besar. Dekomposisi VFA akan berkontribusi pada konsentrasi COD dan BOD (Vallero & Blight, 2019). Hal ini yang mengakibatkan konsentrasi BOD₅ dan COD akan tinggi pada fase awal.

c. COD

Berdasarkan pengujian, didapatkan konsentrasi COD pada air lindi di *inlet* IPAS 3 sebesar 3110 mg/L dan sudah melebihi baku mutu lindi sebesar 300 mg/L, sedangkan setelah melalui pengolahan, konsentrasi COD sudah memenuhi baku mutu, yakni 146 mg/L. Nilai COD pada *inlet* masih berada pada rentang COD pada *landfill* tua, yakni < 4.000 mg/L. Temuan serupa didapatkan pada pengukuran COD di TPA Jetis yakni sebesar 432,75 mg/L (Widiarti & Muryani, 2018) dan di Simpang Renggam *Landfill Site* dengan nilai rentang 1.516 – 2.954 mg/L (Mohd-Salleh et al., 2020). Nilai COD sebesar 345,8 mg/L dijumpai pada air lindi TPAS Air Dingin. Selain itu, air lindi tua di Spanyol juga memiliki konsentrasi COD yang rendah, yakni sebesar 2,725 ± 350 mg/L (Gómez et al., 2019). Haslina et al. (2021) menyatakan bahwa COD dapat dideskripsikan sebagai konsumsi oksigen dalam proses dekomposisi senyawa organik dan oksidasi senyawa anorganik, seperti ammonia dan nitrit. Hal serupa disampaikan oleh beberapa pendapat yang dikutip Mohd-Salleh et al. (2020), yakni COD menggambarkan kandungan bahan organik dalam air limbah, tetapi terdapat beberapa komponen anorganik yang akan memengaruhi nilai COD.

Air lindi pada *landfill* usia tua didominasi oleh komponen yang sulit didegradasi, seperti asam humat dan asam fulvat. Hal ini disebabkan oleh konversi bahan organik melalui degradasi secara biologis menjadi biogas (Kjeldsen, 1989 dalam Fazzino et al., 2021). Parameter COD akan menurun seiring

berjalannya waktu dan usia *landfill* (Mohd-Salleh et al., 2020). Hal serupa dinyatakan oleh Gómez et al. (2019), yakni kandungan bahan organik, seperti COD dan BOD₅ akan menurun akibat dekomposisi air lindi.

d. Rasio Antara BOD₅ dan COD

Rasio BOD₅ terhadap COD pada *inlet* IPAS 3 adalah 0,3 yang tergolong ke dalam karakteristik air lindi usia sedang dengan biodegradabilitas sedang (0,3 – 0,5). Nilai ini bertolak belakang dengan usia *landfill* pada lahan uruk zona 3, yakni 34 tahun yang seharusnya memiliki nilai rasio <0,1. Nilai rasio ini dipengaruhi oleh nilai BOD₅ yang sudah tinggi, yakni 933 mg/L. Air lindi dengan klasifikasi biodegradabilitas sedang juga ditemui pada penelitian Noerfitriyani et al. (2018) di TPA Cipayung meskipun sudah berusia lebih dari 10 tahun. Penelitian tersebut menunjukkan nilai BOD₅/COD sebesar 0,58 dan dilakukan pada musim hujan. Di lain sisi, pada penelitian Mohd-Salleh et al. (2020) di Simpang Renggam *Landfill Site* pada Januari – Mei 2018 menghasilkan nilai rasio yang bervariasi, yakni 0,02 – 0,16.

Faktor yang memengaruhi nilai BOD₅/COD adalah metode pengelolaan sampah yang diterapkan di lahan uruk zona III dan cuaca ketika dilakukan sampling. Lahan uruk sampah di zona III tidak menerapkan metode *sanitary landfill* sehingga tidak ada sistem perbedaan *cell*/lahan uruk dan tidak dilakukan penutupan lapisan *cell* dengan tanah penutup setiap harinya. Noerfitriyani et al. (2018) mengatakan bahwa hal tersebut mengakibatkan adanya pencampuran antara air lindi muda dan tua sehingga menghasilkan air lindi usia sedang. Selaras dengan pernyataan tersebut, dikarenakan metode pengelolaan sampah lebih sesuai dengan *open dumping*, maka nilai BOD₅ dan COD tidak menurun pada batas tertentu karena sampah diterima secara terus menerus (Lindamulla et al., 2022). Faktor cuaca/musim yang berpengaruh adalah suhu udara dan tingkat presipitasi ketika dilakukan sampling. Pengambilan sampel pada musim hujan dapat mengencerkan konsentrasi polutan air lindi (Ma et al., 2022). Namun, menurut Yang et al. (2019) dalam Ma et al. (2022), konsentrasi komponen organik akan meningkat sebanding dengan presipitasi. Presipitasi menyediakan kelembapan yang mendukung proses reaksi biologis sehingga degradasi secara biologis pada fraksi organik akan meningkat (Trankler et al., 2005 dalam Ma et al., 2022). Faktor tersebut yang mengakibatkan konsentrasi BOD₅ pada penelitian yang dilakukan di musim hujan tetap tinggi.

Rasio antara BOD₅ dan COD dalam studi ini belum mampu merepresentasikan nilai rasio antara BOD₅ dan COD secara temporal sehingga perlu dilakukan pengujian dalam rentang waktu berbeda. Namun, apabila dilihat dari nilai rasio di atas, maka biodegradabilitasnya cenderung sedang. Jenis pengolahan yang cukup sesuai untuk air lindi jenis ini adalah pengolahan kombinasi fisika kimia dan biologis (Renou et al. 2008). Oleh karena itu, jenis metode pengolahan yang ada di IPAS 3 saat ini, yaitu kolam aerasi dan koagulasi-flokulasi, serta *sandfilter* sudah cukup untuk mengolah air lindi dengan karakteristik di atas. Hal itu juga dapat dibuktikan dari pengujian air lindi setelah pengolahan, yakni pada kolam *clean water* yang sudah mencukupi baku mutu untuk parameter pH, BOD₅, COD, maupun Hg.

e. Merkuri (Hg)

Kadar merkuri pada air lindi di *inlet* IPAS 3 adalah 0,1896 mg/L dan tergolong tinggi karena sudah melampaui baku mutu air lindi (0,005 mg/L). Namun, konsentrasi Hg setelah melalui pengolahan sudah memenuhi baku mutu, yaitu <0,0005 mg/L. Secara umum, kadar Hg dalam air lindi kurang dari 1 µgram/L atau 0,001 mg/L. Kandungan merkuri dalam air lindi IPAS 3 seharusnya semakin rendah karena termasuk air lindi usia tua. Hal ini karena kebanyakan logam berat mudah terlarut dalam kondisi pH rendah pada fase pembentukan asam, sedangkan pH pada fase metanogenesis akan mengarah menuju netral (Vallero & Blight, 2019). Temuan ini mengindikasikan kondisi dalam lahan uruk yang masih memungkinkan pelarutan logam berat. Merkuri pada *landfill* dapat berasal dari limbah padat yang mengandung Hg, seperti lampu pijar, baterai, alat elektronik, termometer, dan limbah residu (Tao et al., 2017). Hal tersebut dapat terjadi karena TPST Bantargebang menerima berbagai jenis sampah dan tidak adanya pemilahan terhadap sampah yang ditimbun di *landfill*. Bentuk Hg yang ditemukan dalam air lindi adalah Hg(0) dan Hg(II). Hg(0) dapat tetap berada di *landfill* atau terlarut ke dalam air lindi.

Sebagian Hg(0) akan teroksidasi oleh enzim biologis atau oksidan kimia membentuk Hg(II). Hg(II) dapat berupa padatan atau terlarut dalam air lindi. Metilasi Hg(II) oleh mikroorganisme dapat membentuk metil merkuri (MeHg). MeHg dapat berbentuk padatan atau terinfiltrasi ke dalam air lindi meskipun kandungan MeHg dalam air lindi masih rendah, dan tersimpan dalam fase padatan di dalam *landfill*.

MeHg merupakan bentuk merkuri yang paling berbahaya dengan neurotoksisitas yang tinggi, bersifat karsinogenik, toksik terhadap sistem reproduksi dan sistem imun. Jenis ini mampu terakumulasi dalam organisme. Menurut penelitian, bakteri dominan dalam pembentukan MeHg pada *landfill* adalah *Archaea methanofillis*. Berdasarkan temuan tersebut, terdapat risiko Hg dan MeHg pada *landfill* (An et al., 2022). Berdasarkan hal tersebut, terdapat potensi terbentuknya metil merkuri pada TPST Bantargebang meskipun konsentrasi senyawa ini dalam air lindi sangat kecil. Oleh karena itu, parameter Hg memerlukan *monitoring* yang ketat dalam pengolahan air lindi IPAS 3 agar dampak Hg dapat diminimalkan. Hal ini karena konsentrasi Hg dapat bersifat fluktuatif dan berpotensi melampaui baku mutu pada waktu tertentu.

Kandungan Hg dalam air lindi dapat diolah dengan beberapa jenis pengolahan yang mampu menurunkan kadar Hg, seperti adsorpsi, flokulasi, filtrasi membran, reduksi fotokatalis, dan metode elektrokimia, serta biologis (Wang et al., 2020 dan Rani et al., 2021 dalam Chang et al., 2022). Metode biologis dapat dipilih sebagai metode pengolahan lanjutan pada air lindi yang mengandung Hg. Rani et al. (2021) dalam Chang et al. (2022) mengatakan bahwa pengolahan biologis sesuai untuk mengolah air limbah yang terkontaminasi Hg dalam jumlah kecil dan dapat diterapkan pada skala pengolahan yang besar karena bersifat ekonomis, pengoperasian yang mudah, berkelanjutan, dan pencemaran sekunder yang minim. Salah satu metode pengolahan secara biologis adalah *constructed wetland*. Penyisihan polutan dalam air limbah dapat melalui adsorpsi, presipitasi, metabolisme mikroba, dan penyerapan oleh tumbuhan. Terdapat beberapa penelitian pengolahan air limbah mengandung Hg dengan *constructed wetland*, seperti penelitian Puspitasari et al. (2019) dan Chang et al. (2022). Penelitian Puspitasari et al. (2019) menggunakan tanaman melati air (*Echinodorus palaefolius*) dengan media serat eceng gondok dan tanah humus mampu mengolah Hg dengan konsentrasi 8,59 mg/L dengan efisiensi penurunan mencapai 92,76% dengan pengoperasian selama 58,5 jam. Penelitian lain oleh Chang et al. (2022) mendapatkan hasil bahwa penggunaan tumbuhan *L. salicaria* dan media berupa *biochar* mampu menurunkan Hg dengan konsentrasi awal 180.0 µg/L sebesar 94%. Beberapa penelitian tersebut masih berskala laboratorium sehingga diperlukan penelitian lanjutan dalam skala lapangan untuk mengetahui efektivitas penerapan *constructed wetland* dalam menurunkan Hg dalam air lindi dengan tumbuhan, media tanam, dan sistem operasi tertentu.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan:

Air lindi pada *inlet* IPAS 3 TPST Bantargebang memiliki pH sebesar 8,6; BOD₅ sebesar 933 mg/L, COD 3110 mg/L, dan Hg 0,1896 mg/L. pH air lindi tergolong ke dalam air lindi usia tua. Rasio antara BOD₅ dan COD berdasarkan perhitungan adalah 0,3 sehingga memiliki tingkat biodegradabilitas sedang dan termasuk air lindi usia sedang akibat adanya pencampuran air lindi. Tipe air lindi ini sesuai untuk diolah menggunakan metode pengolahan *existing*, yakni metode kombinasi biologis dan fisika-kimia yang terdiri dari aerasi dan koagulasi-flokulasi, serta *sandfilter*. Metode pengolahan saat ini mampu mengolah air lindi sesuai baku mutu, dengan nilai pH 6,7; BOD₅ sebesar 44 mg/L; COD sebesar 146 mg/L; dan Hg <0,0005 mg/L.

Saran:

Perlu dilakukan penelitian terkait karakteristik air lindi pada inlet IPAS 3 lebih lanjut karena pada penelitian ini hanya didasarkan atas beberapa parameter, sedangkan air lindi memiliki karakteristik polutan yang beragam. Pengambilan sampel air lindi dengan variasi temporal perlu dilakukan agar dapat dianalisis pengaruh waktu dan cuaca terhadap karakteristik air lindi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfani, Z. J. (2022). *Metode Oksidasi Menggunakan H₂O₂ Pada Lindi dari Inlet IPAS 3 UPST Bantargebang*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- An, Y., Zhang, R., Yang, S., Wang, Y., Lei, Y., Peng, S., & Song, L. (2022). Microbial mercury methylation potential in a large-scale municipal solid waste landfill, China. *Waste Management*, *145*(174), 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.04.038>
- Angrianto, N. L., Manusawai, J., & Sinery, A. S. (2021). Analisis Kualitas Air Lindi dan Permukaan pada areal TPA Sowi Gunung dan Sekitarnya di Kabupaten Manokwari Papua Barat. *Cassowary*, *4*(2), 221–233. <https://doi.org/10.30862/cassowary.cs.v4.i2.79>
- Aziz, H. A., Ramli, S. F., & Hung, Y. T. (2023). Physicochemical Technique in Municipal Solid Waste (MSW) Landfill Leachate Remediation: A Review. In *Water (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/w15061249>
- Chang, J., Peng, D., Deng, S., Chen, J., & Duan, C. (2022). Efficient treatment of mercury(II)-containing wastewater in aerated constructed wetland microcosms packed with biochar. *Chemosphere*, *290*(September 2021), 133302. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133302>
- Corsino, S. F., Capodici, M., Di Trapani, D., Torregrossa, M., & Viviani, G. (2020). Assessment of landfill leachate biodegradability and treatability by means of allochthonous and autochthonous biomasses. *New Biotechnology*, *55*, 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2019.10.007>
- DLH DKI Jakarta. (2022). *Laporan Implementasi Pengelolaan Lingkungan TPST Bantargebang Semester I*.
- Fazzino, F., Bilardi, S., Moraci, N., & Calabrò, P. S. (2021). Integrated treatment at laboratory scale of a mature landfill leachate via active filtration and anaerobic digestion: Preliminary results. *Water (Switzerland)*, *13*(20). <https://doi.org/10.3390/w13202845>
- Gómez, M., Corona, F., & Hidalgo, M. D. (2019). Variations in the properties of leachate according to landfill age. *Desalination and Water Treatment*, *159*(June 2018), 24–31. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24106>
- Iravanian, A., & Ravari, S. O. (2020). Types of Contamination in Landfills and Effects on the Environment: A Review Study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *614*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012083>
- Jayawardhana, Y., Kumarathilaka, P., Herath, I., & Vithanage, M. (2016). Municipal Solid Waste Biochar for Prevention of Pollution From Landfill Leachate. In *Environmental Materials and Waste: Resource Recovery and Pollution Prevention* (pp. 117–148). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803837-6.00006-8>
- Lindamulla, L., Nanayakkara, N., Othman, M., Jinadasa, S., Herath, G., & Jegatheesan, V. (2022). Municipal Solid Waste Landfill Leachate Characteristics and Their Treatment Options in Tropical Countries. *Current Pollution Reports*, *8*(3), 273–287. <https://doi.org/10.1007/s40726-022-00222-x>
- Ma, S., Zhou, C., Pan, J., Yang, G., Sun, C., Liu, Y., Chen, X., & Zhao, Z. (2022). Leachate from municipal solid waste landfills in a global perspective: Characteristics, influential factors and environmental risks. *Journal of Cleaner Production*, *333*, 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130234>
- Mohd-Salleh, S. N. A., Shaylinda, M. Z. N., Othman, N., Azizan, M. O., Yashni, G., & Afnizan, W. M. W. (2020). Sustainability analysis on landfilling and evaluation of characteristics in landfill leachate: A case study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *736*(7). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/736/7/072002>

- Mosquera, L. F. G., Giraldo, S. A., & Meza, A. Z. (2022). Landfill leachate treatment using hydrodynamic cavitation exploratory evaluation. *Heliyon*, 8(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09019>
- Noerfitriyani, E., Hartono, D. M., Moersidik, S. S., & Gusniani, I. (2018). Leachate characterization and performance evaluation of leachate treatment plant in Cipayung landfill, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 106(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/106/1/012086>
- Podlasek, A., Vaverková, M. D., Koda, E., Jakimiuk, A., & Martínez Barroso, P. (2023). Characteristics and pollution potential of leachate from municipal solid waste landfills: Practical examples from Poland and the Czech Republic and a comprehensive evaluation in a global context. *Journal of Environmental Management*, 332(January). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117328>
- Puspitasari, R. F., Prasetya, A., & Rahayuningsih, E. (2019). Penurunan Logam Hg dalam Air Menggunakan Sistem Sub-Surface Flow Constructed Wetland: Studi Efektivitas. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(1), 41. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.39339>
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 468–493. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>
- Sari, R. N., & Afdal. (2017). Karakteristik Air Lindi (Leachate) di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 6(1), 93–99.
- Tao, Z., Dai, S., & Chai, X. (2017). Mercury emission to the atmosphere from municipal solid waste landfills: A brief review. *Atmospheric Environment*, 170, 303–311. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.09.046>
- Vallero, D. A., & Blight, G. (2019). The Municipal Landfill. In *Waste: A Handbook for Management* (2nd ed., pp. 235–258). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815060-3.00012-8>
- Vaverková, M. D. (2019). Landfill impacts on the environment— review. *Geosciences (Switzerland)*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/geosciences9100431>
- Widiarti, I. W., & Muryani, E. (2018). Kajian Kualitas Air Lindi Terhadap Kualitas Air Tanah. *Jurnal Tanah Dan Air (Soil and Water Journal)*, 15(1), 1–9.
- Youcai, Z. (2018). Leachate Generation and Characteristics. *Pollution Control Technology for Leachate from Municipal Solid Waste*, 1–30. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815813-5.00001-2>