Indo. J. Chem. Sci. 15 (3) (2026)
Indonesian Journal of Chemical Science
http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs

Effectiveness of Wastewater Treatment Technology Implementation at the Cipayung Landfill Leachate Treatment Plant Based on BOD, COD, and Total Nitrogen Parameters

Maritza Putri Eka Ghani [1]✉, Triastuti Sulistyaningsih[2], Nanik Wijayati[3]

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima: 27-06-2026

Disetujui: 18-08-2026

Dipublikasikan: 13-11-2026

Keywords:
Air lindi
IPAL
BOD
COD
Total Nitrogen

Abstract

The Cipayung Landfill (TPA) produces leachate with high organic matter and nitrogen compounds content, thus potentially polluting the surrounding aquatic environment. The Wastewater Treatment Plant (WWTP) system at the Cipayung Landfill uses a biological process through a stabilization pond to reduce pollutant concentrations before being discharged into water bodies. This study aims to analyze the effectiveness of wastewater treatment technology at the Cipayung Landfill WWTP based on Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), and total nitrogen parameters and their relationship to environmental biotechnology processes. The research samples were leachate at the WWTP outlet and outfall water flowing into the Pesanggerahan River. BOD parameter testing was carried out using the Winkler method based on SNI 6989.72:2009, COD using the closed reflux method based on SNI 6989.2:2019, and total nitrogen using the Method 10071 Test'N Tube™ Vials method. The results showed that the levels of BOD, COD, and total nitrogen in leachate were 4893.1 mg/L, 7835.821 mg/L, and 1050 mg/L, respectively, while at the outfall point they were 29.5 mg/L, 46.479 mg/L, and 11.95 mg/L. The decrease in parameter concentrations indicates the presence of biodegradation activity by aerobic and anaerobic microorganisms in the wastewater treatment pond. However, the effectiveness of biological treatment is not optimal because the levels of BOD and COD in the outfall still exceed the surface water quality standards due to the high organic load and overload conditions at the Cipayung Landfill.

Abstrak

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Cipayung menghasilkan air lindi dengan kandungan bahan organik dan senyawa nitrogen yang tinggi sehingga berpotensi mencemari lingkungan perairan di sekitarnya. Sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di TPA Cipayung menggunakan proses biologis melalui kolam stabilisasi untuk menurunkan konsentrasi pencemar sebelum dibuang ke badan air. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas teknologi pengolahan air limbah pada IPAL TPA Cipayung berdasarkan parameter Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), dan total nitrogen serta kaitannya dengan proses bioteknologi lingkungan. Sampel penelitian berupa air lindi pada outlet IPAL dan air outfall yang mengalir menuju Sungai Pesanggerahan. Pengujian parameter BOD dilakukan menggunakan metode Winkler berdasarkan SNI 6989.72:2009, COD menggunakan metode refluks tertutup berdasarkan SNI 6989.2:2019, dan total nitrogen menggunakan metode Method 10071 Test'N Tube™ Vials. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar BOD, COD, dan total nitrogen pada air lindi berturut-turut sebesar 4893,1 mg/L, 7835,821 mg/L, dan 1050 mg/L, sedangkan pada titik outfall sebesar 29,5 mg/L, 46,479 mg/L, dan 11,95 mg/L. Penurunan konsentrasi parameter menunjukkan adanya aktivitas biodegradasi oleh mikroorganisme aerob dan anaerob di dalam kolam IPAL. Namun, efektivitas pengolahan biologis belum optimal karena kadar BOD dan COD pada outfall masih melebihi baku mutu air permukaan akibat tingginya beban organik dan kondisi overload di TPA Cipayung.

© 2026 Universitas Negeri Semarang

✉ Correspondence address:
Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
E-mail: mrtzputrii@students.unnes.ac.id

p-ISSN 2252-6951
e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Pengelolaan sampah yang tidak efektif menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang terjadi di Indonesia. Penanganan sampah di Indonesia umumnya masih menggunakan metode konvensional, yaitu membuang sampah dan membiarkan sampah tersebut membusuk secara alami di tempat yang terbuka serta berada jauh dari wilayah perkotaan (Kahfi, 2017). Berdasarkan Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, Tempat Pemrosesan Akhir atau TPA sampah ialah tempat di mana sampah dapat diolah dan dikembalikan ke alam dengan metode yang aman bagi manusia dan lingkungan. Masalah pengelolaan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yang belum terselesaikan dapat menjadi bahaya bagi manusia dan lingkungan.

Lindi atau *leachate* merupakan cairan yang terbentuk dari air (seperti hujan) yang mengalir melalui timbunan limbah atau akibat proses penguraian limbah organik (Saputri, 2018). Senyawa organic dan anorganik dengan kandungan yang sangat tinggi, seperti hidrokarbon, natrium, sulfat, kalium, nitrogen, dan logam berat, ditemukan dalam air lindi. Kandungan ini akan terus meningkat seiring bertambahnya waktu, yang mengakibatkan komposisi air lindi menjadi lebih kompleks dan sulit untuk diproses (Purnomo, 2021). Kandungan yang ada di dalam air lindi dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk intensitas hujan, tipe limbah, dan keadaan di TPA (Kasam *et al.,* 2016).

Sifat kimia dan fisika air lindi dapat memengaruhi komposisi air tanah dan air sungai di sekitarnya. Air lindi yang mengalir menuju sungai berpotensi memengaruhi kualitas sumber air di sekitar TPA (Ramlia dan Djalla, 2018). Meningkatnya berbagai aktivitas manusia di sekitar sungai seperti permukiman, kegiatan domestik, dan keberadaan TPA memungkinkan masuknya berbagai jenis limbah yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan kimia, fisika, dan mikrobiologi air yang dapat menjadi indikasi adanya pencemaran. Hal ini didukung oleh penelitian Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, (2023) bahwa sekitar 76% dari sungai-sungai utama di Indonesia telah mengalami pencemaran pada tingkat yang cukup memprihatinkan.

Tingkat pencemaran yang disebabkan oleh limbah manusia telah mencapai 80%. Pencemaran tersebut dapat menyebabkan penurunan kualitas perairan sehingga tidak sesuai lagi dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Sebuah badan air dianggap mengalami penurunan kualitas jika badan air tersebut tidak dapat dimanfaatkan sesuai dengan standar mutu air yang berlaku. Standar mutu yang dimaksud merujuk pada tingkat kualitas air yang menggambarkan apakah suatu sumber air mengalami pencemaran atau dalam keadaan baik pada waktu tertentu, serta melakukan perbandingan dengan standar mutu air yang telah ditentukan.

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Cipayung merupakan satu-satunya sarana prasarana/fasilitas untuk pembuangan sampah akhir di Kota Depok. TPA Cipayung mulai beroperasi sejak tahun 1984. TPA ini memiliki luas 10,6 hektar dengan area landfill 5,1 hektar. TPA Cipayung memiliki daya tampung sebesar 1.200.000 m^3 dengan elevasi 23–30 m. Pada saat ini, TPA Cipayung sudah melebihi daya tampung atau *overcapacity* sejak 3 tahun terakhir karena menerima sampah 1.000 hingga 1.200 ton per hari. Jumlah itu telah meningkat dari tahun 2023, yaitu 900 ton per hari, dengan ketinggian tumpukan sampah TPA Cipayung mencapai 30 meter.

Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) merupakan instalasi pengolahan air limbah yang dapat digunakan untuk mengurangi pencemaran lingkungan dengan menetralkan limbah terlebih dahulu sebelum dibuang. Sistem IPAL yang diterapkan di TPA Cipayung menggunakan kolam stabilisasi yang terdiri atas kolam penampungan awal, kolam anaerobik, dan kolam maturasi/pematangan. Pada penelitian ini, sampel diambil dari titik outlet Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) TPA Cipayung dan *outfall* menuju badan air Sungai Pesanggerahan.

Pengelolaan sampah yang belum efektif dapat berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan, terutama melalui lindi yang dihasilkan. Berdasarkan permasalahan tersebut, dilakukan pengambilan sampel air lindi di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Cipayung yang terletak di Kota Depok untuk selanjutnya diuji menggunakan parameter BOD, COD, dan total nitrogen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas sistem Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) TPA Cipayung dan potensi pengaruh air lindi terhadap penurunan kualitas air sungai akibat sistem pengelolaan sampah dengan menggunakan metode *open dumping* di TPA Cipayung, Kota Depok.

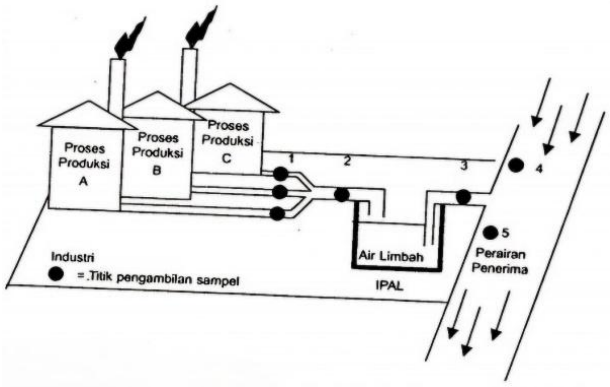
Metode

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air lindi dari titik outlet Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) TPA Cipayung dan outfall menuju badan air Sungai Pesanggerahan. Adapun variabel bebas dalam penelitian ini adalah suhu udara, pH sampel, temperatur sampel, dan lokasi pengambilan sampel.

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah pH, kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan kadar total nitrogen. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah prosedur pengambilan dan penyimpanan sampel (SNI 8990:2021), Metode pengujian (SNI 6989.72:2009 untuk nilai BOD, SNI 6989.2:2019 untuk nilai COD, dan Method 10071 Test'N Tube™ Vials untuk nilai total nitrogen. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu peralatan pengambilan contoh uji air limbah, lemari inkubasi, botol kaca, pipet volumetrik 1,0; 5,0; 10,0; 25,0; dan 50,0 mL, pipet ukur 5,0; 10,0; dan 25,0 mL, botol winkler 100 mL, erlenmeyer 100 mL, gelas piala 400 mL dan 1000 mL, labu ukur 100,0; 200,0; dan 1000,0 mL, pH meter, *magnetic stirer*, oven, timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 mg, ampul borosilikat 10 mL (diameter 19 mm sampai dengan 20 mm), botol vial 10 mL, DRB200 reaktor, spektrofotometer portabel HACH DR1900, *hot plate,* Akuademin, kalium dihidrogen fosfat (KH_2PO_4) Merck, Dikalium hidrogen fosfat (K_2HPO_4) Merck, Dinatrium hidrogen fosfat heptahidrat ($Na_2HPO_4.7H_2O$) Merck, Amonium klorida (NH_4Cl) Merck, Magnesium sulfat ($MgSO_4.7H_2O$) 1,68 g/cm^3 Merck, Kalsium klorida ($CaCl_2$) 1,85 g/cm^3 Merck, Feri klorida ($FeCl_3.6H_2O$) 1,82 g/cm^3 Merck, kapsul bibit mikroba (polyseed), glukosa (p.a) 1,543 g/cm^3 Merck, asam glutamat (p.a) 1,538 g/cm^3 Merck, Indikator amilum (kanji) 0,3 g/mL Merck, asam salisilat 1,44 g/cm^3 Merck, Mangan sulfat ($MnSO_4.H_2O$) Merck, Natrium hidroksida (NaOH) 1,04 g/mL Merck, Natrium iodida (NaI) Merck, Natrium azida (NaN_3) 1,846 g/cm^3 Merck, Asam sulfat (H_2SO_4) 6 N 1,84 g/cm^3 Merck, Sodium thiosulfat ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 1,74 g/cm^3 Merck, Kalium Bi-iodat ($KH(IO_3)_2$) Merck, Kalium iodida (KI) 10% Merck, Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) Merck, Merkuri (II) sulfat ($HgSO_4$) 6,4 g/cm^3 Merck, Perak sulfat (Ag_2SO_4) 98,5% Merck, Kalium Hidrogen Phtalat ($HOOCC_6H_4COOK$) Merck, total nitrogen persulfate reagent, total nitrogen (TN) reagent A, dan total nitrogen (TN) reagent B.

Preparasi Sampel

Sampel uji diambil berdasarkan SNI 06-6989.59-2008 untuk metode pengambilan contoh air limbah. Skema pengambilan sampel uji disajikan pada Gambar 1. Alat pengambil sampel disiapkan dan dibilas menggunakan sampel uji sebanyak tiga kali. Sampel diambil sesuai kebutuhan analisis, dihomogenkan, lalu dimasukkan ke dalam botol sesuai parameter pengujian. Pengujian parameter pH, suhu, daya hantar listrik, kekeruhan, dan oksigen terlarut dilakukan segera karena mudah berubah dan tidak dapat diawetkan. Sampel untuk analisis laboratorium diawetkan sebelum pengujian.



Gambar 1. Skema Pengambilan Sampel
Sumber: SNI 06-6989.59-2008

Pengujian Parameter *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Disiapkan dua botol DO yang ditandai A1 dan A2, kemudian masing-masing diisi sampel hingga meluap dan ditutup tanpa membentuk gelembung udara. Setelah dihomogenkan, ditambahkan akuademin pada mulut botol. Botol A2 diinkubasi pada suhu 20 ± 1 °C selama 5 hari, sedangkan A1 langsung dianalisis maksimal 30 menit setelah pengenceran. Pengukuran DO dilakukan secara titrasi iodometri (modifikasi azida) sesuai SNI 06-6989.14-2004 dengan menambahkan 1 mL $MnSO_4$ dan 1 mL alkali iodida azida, kemudian dibiarkan hingga terbentuk endapan. Selanjutnya ditambahkan 1 mL H_2SO_4 pekat, dihomogenkan hingga endapan larut, kemudian 50 mL larutan dititrasi menggunakan $Na_2S_2O_3$ dengan indikator amilum hingga warna biru hilang.

Hasil pengukuran A1 merupakan nilai DO hari ke-0, sedangkan A2 merupakan nilai DO hari ke-5. Prosedur yang sama dilakukan terhadap blanko menggunakan larutan pengencer untuk memperoleh nilai B1 dan B2, serta terhadap kontrol standar menggunakan larutan GGA untuk memperoleh nilai C1 dan C2.

Pengujian Parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Sampel uji atau larutan kerja sebanyak 2,5 mL dimasukkan ke dalam tabung atau ampul, kemudian ditambahkan 1,5 mL *digestion solution* dan 3,5 mL larutan asam sulfat. Tabung ditutup, dikocok hingga homogen, kemudian direfluks pada suhu 150 ± 2 °C selama 2 jam. Setelah itu, sampel didinginkan hingga suhu ruang dan dibiarkan hingga suspensi mengendap serta diperoleh larutan yang jernih.

Spektrofotometer portabel HACH DR1900 dioptimalkan sesuai petunjuk penggunaan, kemudian diatur pada panjang gelombang 420 nm atau 600 nm. Serapan masing-masing larutan kerja diukur dan digunakan untuk membuat kurva kalibrasi hubungan antara absorbansi dan kadar COD. Persamaan garis lurus ditentukan dan koefisien regresi diperiksa, apabila nilai $r < 0{,}995$ dilakukan pemeriksaan dan pengulangan hingga diperoleh $r \geq 0{,}995$.

Sampel dengan kadar COD ≤ 90 mg/L, pengukuran dilakukan pada panjang gelombang 420 nm, sedangkan sampel dengan kadar COD 100–900 mg/L diukur pada 600 nm. Larutan blanko digunakan untuk menetapkan absorbansi nol, kemudian serapan sampel diukur dan nilai COD dihitung berdasarkan persamaan linier kurva kalibrasi.

Pengujian Parameter Total Nitrogen

Total nitrogen *low range* (0,5–25,0 mg/L N) diukur dengan cara reaktor DRB200 dipanaskan hingga 105 °C. Disiapkan dua *HR Total Nitrogen Hydroxide Digestion Reagent Vial* dan masing-masing ditambahkan satu *Total Nitrogen Persulfate Reagent*. Sebanyak 2 mL akuademin dimasukkan ke vial blanko dan 2 mL sampel ke vial sampel. Keduanya dikocok dan dipanaskan selama 30 menit, kemudian didinginkan hingga suhu ruang. Selanjutnya ditambahkan reagen TN A dan TN B secara berturut-turut, masing-masing dikocok dan didiamkan selama 3 dan 2 menit. Sebanyak 2 mL larutan blanko dan sampel kemudian dipindahkan ke vial reagen TN C, dikocok, dan didiamkan selama 5 menit. Pengukuran dilakukan menggunakan program 350 N (*Total HR TNT*) dengan memasukkan *sample cell* blanko untuk *zero*, kemudian *sample cell* sampel untuk pembacaan.

Untuk *range* yang menggunakan volume sampel 0,5 mL, prosedur dilakukan dengan tahapan yang sama, tetapi sebanyak 0,5 mL akuademin digunakan sebagai blanko dan 0,5 mL sampel sebagai larutan uji. Setelah proses digesti dan penambahan reagen TN A, TN B, serta TN C, pengukuran dilakukan menggunakan program 394 N (*Total HR TNT*). *Sample cell* blanko digunakan untuk menetapkan nilai *zero*, kemudian *sample cell* sampel dimasukkan dan hasil pengukuran dibaca dengan menekan "*READ*".

Hasil dan Pembahasan

Gambaran Umum Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL)

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang terdapat di TPA Cipayung terdiri atas tiga kolam pengolahan, meliputi kolam penampungan awal, kolam anaerobik, dan kolam maturasi. Kolam penampungan awal merupakan tahap pertama dalam Instalasi PengolahanaAir Limbah (IPAL) TPA Cipayung yang berfungsi menampung dan menstabilkan limbah sebelum memasuki proses pengolahan berikutnya. Pada kolam ini terjadi proses pengendapan awal terhadap partikel kasar dan pemisahan material yang mudah mengapung, sehingga dapat mengurangi beban pencemar pada unit pengolahan selanjutnya serta membantu menjaga kestabilan aliran dan karakteristik limbah yang akan diolah.

Kolam anaerobik merupakan tahap kedua pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) TPA Cipayung yang berfungsi mengolah limbah dengan kandungan bahan organik yang tinggi melalui aktivitas mikroorganisme anaerobik dalam kondisi tanpa atau sangat sedikit oksigen. Proses ini efektif menurunkan kadar bahan organik dengan menguraikannya menjadi senyawa yang lebih sederhana. Namun, memiliki keterbatasan karena tidak mampu menghilangkan beberapa polutan seperti senyawa anorganik dan organik yang stabil, sehingga masih diperlukan pengolahan lanjutan untuk meningkatkan kualitas air limbah sebelum dibuang ke lingkungan.

Kolam maturasi merupakan tahap akhir pengolahan air limbah pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) TPA Cipayung yang umumnya tidak menggunakan aerator dan memiliki kedalaman sekitar 0,5 – 1,5 meter. Kolam ini berfungsi untuk meningkatkan kualitas air limbah secara fisik dan biologis. Pada kolam ini, limbah cair diberi waktu tinggal yang cukup dalam kondisi tenang sehingga partikel tersuspensi dapat mengendap secara alami (sedimentasi) dan mikroorganisme melanjutkan proses penguraian sisa bahan organik menjadi senyawa yang lebih stabil. Proses ini efektif dalam mengurangi padatan tersuspensi dan sisa polutan. Kolam penampungan awal, kolam anaerobik, dan kolam maturasi disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kolam Penampungan Awal (a), Kolam Anaerobik (b), dan Kolam Maturasi (c)

Analisis Parameter Pengujian Kualitas Air

Pengambilan sampel telah dilakukan dan diperoleh data hasil lapangan yang digunakan untuk memberikan gambaran awal mengenai kondisi fisik dan kimia lingkungan pada lokasi penelitian sebagai dasar analisis lebih lanjut. Parameter lingkungan pada lokasi penelitian disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan di laboratorium, diperoleh data hasil pengukuran kualitas air lindi TPA Cipayung dan air permukaan Sungai Pesanggerahan yang disajikan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Parameter Lingkungan

Parameter	Satuan	Hasil Analisis	
		Lindi	*Outfall*
pH	-	7,26	7,26
Temperatur Sampel	Celcius (°C)	28	27
Temperatur Udara	Celcius (°C)	27,7	28,2
Kelembaban	-	81%	80%
Konduktivitas	µS/cm	11.930	435,4
Warna Sampel	-	Hitam Pekat	Tidak berwarna sedikit keruh
Bau Sampel	-	Berbau	Tidak berbau
Cuaca	-	Berawan	Berawan

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Kualitas Air Lindi di TPA Cipayung

Parameter Uji	Baku Mutu	Hasil Analisis	Satuan	Metode Analisis
BOD	150	4893,1	mg/L	SNI 6989.72:2009
COD	300	7835,821	mg/L	SNI 6989.2:2019
Total Nitrogen	60	1050	mg/L	Method 10071 Test'N Tube™ Vials

Tabel 4. Data Hasil Pengukuran Kualitas Air Permukaan di Sungai Pesanggerahan

Parameter Uji	Baku Mutu	Hasil Analisis	Satuan	Metode Analisis
BOD	3	29,5	mg/L	SNI 6989.72:2009
COD	25	46,479	mg/L	SNI 6989.2:2019
Total Nitrogen	15	11,95	mg/L	Method 10071 Test'N Tube™ Vials

Parameter *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Hasil analisis parameter *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) pada lokasi penelitian disajikan untuk menggambarkan tingkat pencemaran bahan organik dalam air. Nilai BOD yang diperoleh selanjutnya dianalisis dan dibahas dengan mengacu pada baku mutu yang berlaku. Sebelum hasil pengujian BOD dapat dihitung dan dianalisis secara akurat, diperlukan pembakuan larutan natrium tiosulfat ($Na_2S_2O_3$) yang digunakan dalam proses titrasi, sehingga konsentrasi larutan dapat diketahui secara pasti melalui reaksi

iodometri dengan menggunakan larutan kalium biiodat ($KH(IO_3)_2$) sebagai standar primer. Selanjutnya dilakukan penetapan blanko akuademin dan blanko pengencer, sehingga dapat diketahui adanya kontribusi oksigen terlarut yang berasal dari pelarut maupun bahan pengencer, serta untuk mengoreksi nilai pengukuran sampel agar hasil yang diperoleh lebih akurat dan mencerminkan kondisi sebenarnya.

Pengujian parameter DO dilakukan dengan menggunakan metode Winkler, yaitu titrasi iodometri (modifikasi azida). Pada tahap awal, larutan buffer fosfat yang telah diaerasi dengan oksigen dicampurkan dengan larutan mangan sulfat ($MnSO_4$) dan larutan alkali iodida azida dalam suasana basa (alkalis), sehingga terbentuk endapan mangan(II) hidroksida ($Mn(OH)_2$) yang kemudian teroksidasi menjadi mangan(III) hidroksida ($Mn(OH)_3$) atau mangan oksida. Dalam proses ini, oksigen terlarut dalam sampel berperan sebagai oksidator. Reaksi yang terjadi yaitu sebagai berikut:

$$Mn^{2+} + 2OH^- \rightarrow Mn(OH)_2\downarrow$$

$$4Mn(OH)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4Mn(OH)_3\downarrow$$

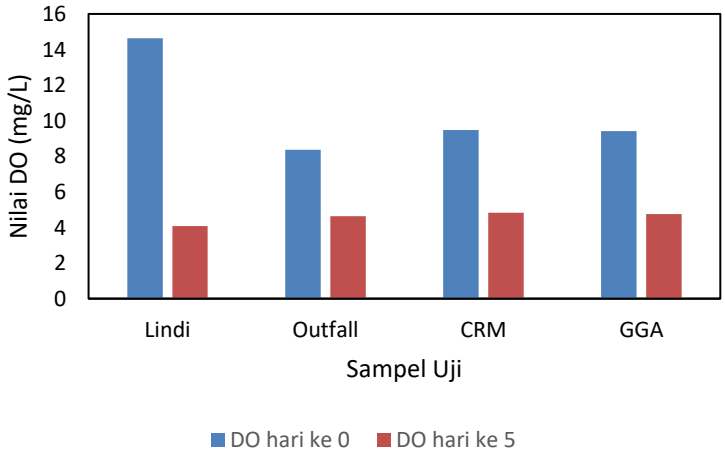
Selanjutnya, dilakukan penambahan asam sulfat (H_2SO_4) dan kalium iodida (KI) sehingga endapan MnO_2 akan larut kembali. Pada proses ini, $Mn(OH)_3$ akan mengoksidasi ion iodida (I^-) menjadi iodin (1_2) yang jumlahnya setara dengan konsentrasi oksigen terlarut dalam sampel. Reaksi yang terjadi yaitu sebagai berikut:

$$2Mn(OH)_3 + 2I^- + 6H \rightarrow 2Mn^{2+} + I_2 + 6H_2O$$

Iodium yang dibebaskan selanjutnya dititrasi dengan larutan natrium tiosulfat ($Na_2S_2O_3$) hingga berwarna kuning jerami. Dalam reaksi ini, I_2 direduksi kembali menjadi I^-, sedangkan tiosulfat teroksidasi menjadi tetrationat ($S_4O_6^{2-}$). Menjelang titik akhir, indikator amilum membentuk warna biru dengan I_2, dan ketika seluruh I_2 telah bereaksi, warna biru hilang menandakan titrasi selesai. Reaksi yang terjadi yaitu sebagai berikut:

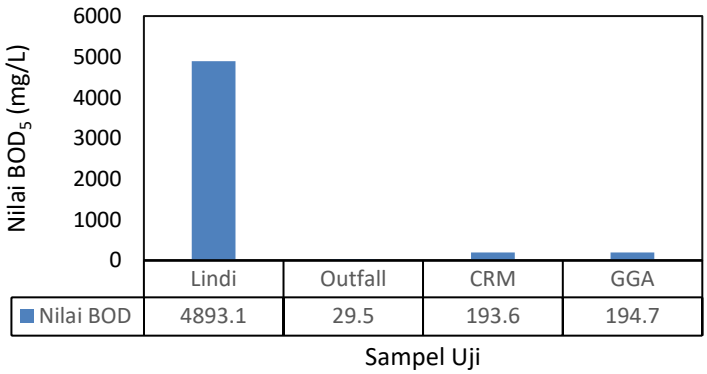
$$I_2 + 2S_2O_3^{2-} \rightarrow 2I^- + S_4O_6^{2-}$$

Nilai DO hari ke-0 menggambarkan kadar oksigen terlarut awal sebelum inkubasi, sedangkan DO hari ke-5 menunjukkan kadar oksigen setelah proses inkubasi selama lima hari. Selisih antara DO_0 dan DO_5 mencerminkan besarnya konsumsi oksigen oleh mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik atau nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD). Hasil pengukuran *Dissolved Oxygen* (DO) pada hari ke-0 dan hari ke-5 untuk sampel uji lindi dan *outfall* disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Pengukuran *Dissolved Oxygen* (DO)

Hasil pengukuran *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dengan inkubasi selama lima hari dari sampel uji lindi, *outfall*, CRM, dan GGA, disajikan pada Gambar 4. Berdasarkan data hasil pengukuran *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) pada sampel uji lindi, *outfall*, CRM, dan GGA, masing-masing didapatkan nilai *Relative Percent Difference* (RPD) < 30% yang menunjukkan metode pengujian memiliki akurasi dan presisi yang baik.



Gambar 4. Hasil Pengukuran *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

Pada penelitian ini, nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) yang diperoleh dari semua titik pengambilan sampel menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan yaitu baku mutu air lindi berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah dengan nilai BOD sebesar 150 mg/L serta baku mutu air permukaan berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dengan nilai BOD sebesar 3 mg/L.

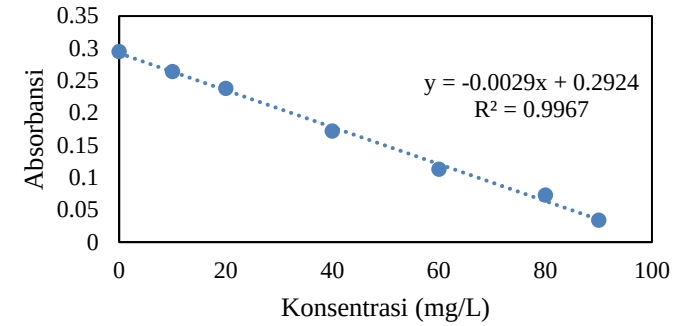
Berdasarkan hasil pengukuran pada Gambar 4, nilai BOD air lindi sebesar 4893,1 mg/L jauh lebih tinggi dibandingkan titik *outfall* sebesar 29,5 mg/L, yang menunjukkan bahwa proses biodegradasi bahan organik pada kolam IPAL telah mampu menurunkan beban organik meskipun *effluent outfall* masih melebihi baku mutu air permukaan, sehingga efektivitas pengolahan biologis belum optimal. Dalam kajian bioteknologi lingkungan, penurunan nilai BOD tersebut terjadi akibat aktivitas mikroorganisme aerob dan anaerob pada kolam IPAL yang memanfaatkan senyawa organik sebagai substrat metabolisme, di mana bakteri heterotrof menguraikan bahan organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana melalui proses biodegradasi biologis. Penelitian oleh Nurrahma, A dan Rosariawari, F. (2023) menunjukkan bahwa sistem pengolahan biologis berbasis biofilm seperti *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan proses aerobik-anoksik mampu menurunkan kadar BOD air lindi hingga 90% karena adanya pertumbuhan mikroorganisme pada media lekat yang meningkatkan efisiensi degradasi bahan organik, sehingga tingginya nilai BOD pada titik *outfall* penelitian ini mengindikasikan bahwa kapasitas mikroorganisme pada IPAL TPA Cipayung belum bekerja maksimal akibat beban organik air lindi yang terlalu tinggi (*overload*).

Parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD)

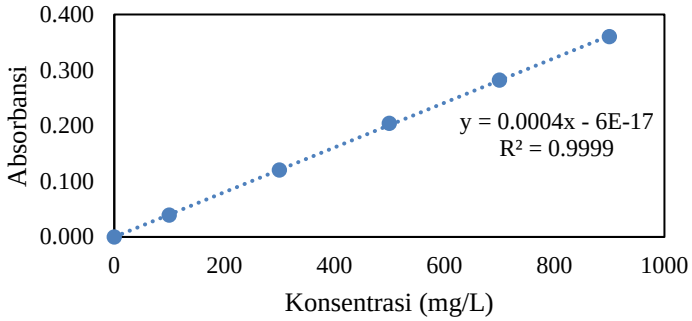
Hasil analisis parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada lokasi penelitian disajikan untuk menggambarkan tingkat pencemaran bahan organik yang dapat teroksidasi secara kimia dalam air. Nilai COD yang diperoleh selanjutnya dianalisis dan dibahas dengan mengacu pada baku mutu yang berlaku. Pada pengujian COD, senyawa organik yang terdapat dalam sampel akan dioksidasi oleh kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) dalam suasana asam kuat dan pemanasan. Ion dikromat ($Cr_20_7^{2-}$) yang berwarna oranye bertindak sebagai oksidator dan mengalami reduksi menjadi ion kromium (Cr^{3+}) yang berwarna hijau. Perubahan warna ini menunjukkan terjadinya reaksi oksidasi-reduksi antara zat organik dan dikromat. Semakin banyak senyawa organik yang teroksidasi, semakin banyak pula ion dikromat yang tereduksi menjadi Cr^{3+}. Oleh karena itu, jumlah $Cr_20_7^{2-}$ yang tereduksi berbanding lurus dengan kadar bahan organik dalam sampel, yang kemudian dinyatakan sebagai nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*). Reaksi yang terjadi sebagai berikut :

$$\text{Bahan Organik} + Cr_20_7^{2-} + H^+ \rightarrow CO_2 + H_2O + Cr^{3+}$$

Sebelum hasil pengujian COD dapat dihitung dan dianalisis secara akurat, diperlukan penentuan linearitas kurva kalibrasi untuk memastikan bahwa terdapat hubungan yang linier antara konsentrasi standar COD dengan nilai absorbansi yang diukur oleh spektrofotometer. Pada penelitian ini dilakukan penentuan linearitas kurva kalibrasi *low range* dan *high range* yang disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

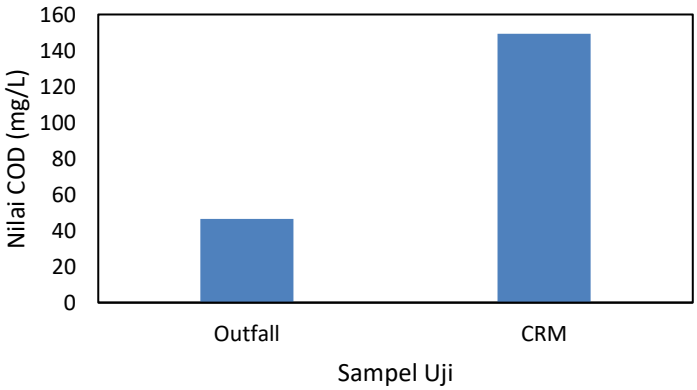


Gambar 5. Kurva Linearitas (*Low Range*)

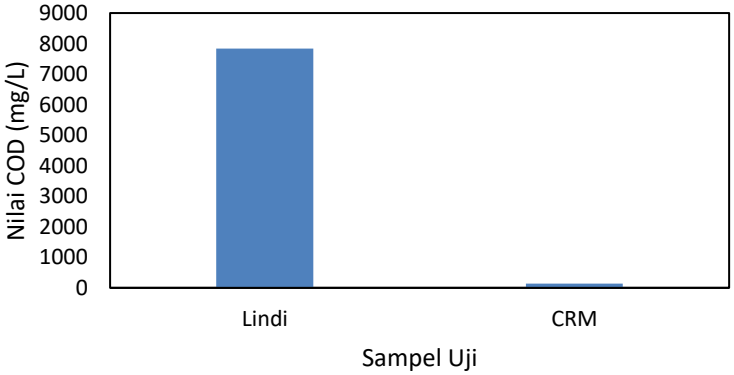


Gambar 6. Kurva Linearitas (*High Range*)

Pengukuran *Chemical Oxygen Demand* (COD) dilakukan pada beberapa sampel uji, yaitu lindi, *outfall*, dan CRM. Nilai absorbansi masing-masing sampel dimasukkan ke dalam persamaan kurva kalibrasi sehingga diperoleh nilai konsentrasi terbaca (C-*Read*). Selanjutnya, C-*Read* yang telah didapatkan dikalikan dengan faktor pengencer sesuai masing-masing sampel. Pada pengujian ini, masing-masing sampel diuji secara duplo sehingga ditentukan rata-rata keduanya sebagai nilai akhir COD dalam satuan mg/L. RPD (*Relative Percent Difference*) dihitung untuk mengetahui ketelitian pengujian, dengan rumus selisih kedua hasil dibagi rata-rata, kemudian dikalikan 100%. Hasil pengujian dinyatakan memenuhi kriteria presisi apabila nilai RPD ≤ 10%. Secara keseluruhan, didapatkan nilai *Relative Percent Difference* (RPD) ≤ 10% yang menunjukkan metode pengujian memiliki akurasi dan presisi yang baik. Pengukuran *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada masing-masing sampel disajikan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Hasil Pengukuran *Chemical Oxygen Demand* (COD) *Low Range*



Gambar 8. Hasil Pengukuran *Chemical Oxygen Demand* (COD) *High Range*

Pada penelitian ini, nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang diperoleh dari semua titik pengambilan sampel menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan yaitu baku mutu air lindi berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah dengan nilai COD sebesar 300 mg/L serta baku mutu air permukaan berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dengan nilai COD sebesar 25 mg/L.

Berdasarkan hasil pengukuran pada Gambar 7 dan Gambar 8, nilai COD pada air lindi sebesar 7835,821 mg/L mengalami penurunan yang sangat signifikan pada titik *outfall* menjadi 46,479 mg/L, yang menunjukkan bahwa kolam IPAL di TPA Cipayung telah mampu menurunkan sebagian besar senyawa organik teroksidasi melalui proses pengolahan biologis, meskipun nilai COD *outfall* masih melebihi baku mutu air permukaan sehingga efektivitas pengolahan belum optimal. Dalam kajian bioteknologi lingkungan, penurunan COD tersebut terjadi karena aktivitas mikroorganisme aerob dan anaerob pada kolam IPAL yang memanfaatkan bahan organik kompleks sebagai sumber energi melalui proses biodegradasi dan oksidasi biologis, di mana bakteri seperti *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, dan bakteri metanogen berperan dalam menguraikan senyawa organik terlarut menjadi senyawa yang lebih sederhana. Penelitian oleh Sugito *et al.*, (2024) menunjukkan bahwa teknologi bioteknologi berbasis biofilm dan kombinasi proses anaerob-aerob mampu meningkatkan efisiensi penurunan COD air lindi hingga lebih dari 85% melalui peningkatan aktivitas metabolisme mikroorganisme dan stabilitas komunitas mikroba, sehingga tingginya nilai COD pada titik *outfall* penelitian ini mengindikasikan bahwa kapasitas biodegradasi mikroorganisme pada IPAL TPA Cipayung belum sepenuhnya mampu mengimbangi tingginya beban organik air lindi akibat kondisi *overload* timbunan sampah.

Parameter Total Nitrogen

Hasil analisis parameter total nitrogen pada lokasi penelitian disajikan untuk menggambarkan tingkat kandungan senyawa nitrogen dalam air. Nilai total nitrogen yang diperoleh selanjutnya dianalisis dan dibahas dengan mengacu pada baku mutu yang berlaku. Pengujian total nitrogen menggunakan metode digesti persulfat (*Persulfate Digestion Method*) yang mengubah seluruh bentuk nitrogen organik dan anorganik menjadi nitrat (NO_3^-). Pada sampel uji, seluruh bentuk nitrogen yang meliputi nitrogen organik, amonia (NH_3/NH_4^+), dan nitrit (NO_2^-) dioksidasi menjadi nitrat (NO_3^-) melalui proses digesti menggunakan persulfat dalam kondisi pemanasan. Reaksi oksidasi utama terjadi ketika persulfat terurai, menghasilkan oksigen aktif. Oksigen aktif ini kemudian mengoksidasi seluruh nitrogen menjadi nitrat. Reaksi yang terjadi yaitu sebagai berikut:

$$S_2O_8^{2-} + H_2O \rightarrow 2SO_4^{2-} + 2H^+ + [O]$$

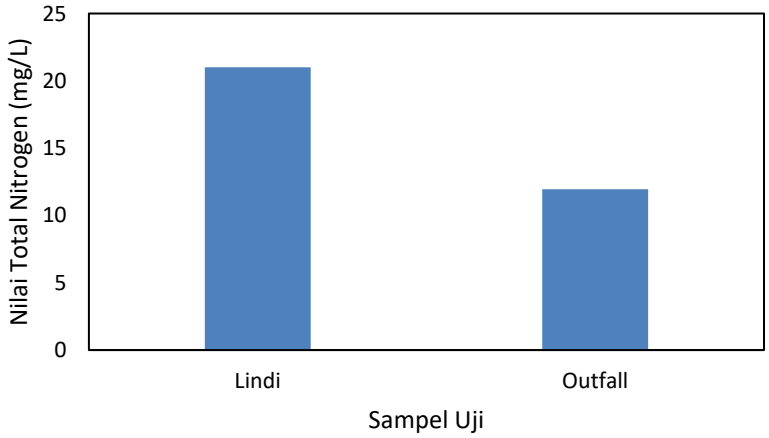
$$\text{N-organik} + NH_3 + NO_2^- \rightarrow NO_3^-$$

Nitrat yang terbentuk akan direduksi menjadi nitrit. Nitrit akan bereaksi dengan amina aromatik dalam suasana asam, membentuk garam diazonium dan dikopel menjadi senyawa azo berwarna kuning hingga oranye. Reaksi yang terjadi yaitu sebagai berikut:

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^-$$

$$NO_2^- + \text{Amina Aromatik} \rightarrow \text{Garam Diazonium} \rightarrow \text{Azo Dye}$$

Pada kisaran rendah (*low range*), warna yang dihasilkan cenderung lebih pucat sehingga absorbansi yang terbaca lebih kecil, namun tetap sebanding dengan konsentrasi nitrogen total dalam sampel. Pada kisaran tinggi (*high range*), warna yang dihasilkan jauh lebih pekat sehingga sering memerlukan pengenceran sampel sebelum analisis agar berada dalam rentang pembacaan alat spektrofotometer. Intensitas warna yang lebih kuat menghasilkan nilai absorbansi yang lebih besar pada pengukuran spektrofotometri, yang kemudian dikonversi menjadi konsentrasi total nitrogen. Perbedaan utama pada high range terletak pada penyesuaian volume atau pengenceran sampel untuk menjaga akurasi hasil pengukuran. Hasil pengukuran parameter total nitrogen, disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil Pengukuran Total Nitrogen

Pada penelitian ini, nilai total nitrogen pada titik pengambilan sampel lindi menunjukkan nilai yang melebihi baku mutu yang ditetapkan. Sementara itu, nilai total nitrogen pada titik outfall masih memenuhi baku mutu. Baku mutu air lindi mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah, dengan batas total nitrogen sebesar 60 mg/L. Adapun baku mutu air permukaan mengacu pada Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, dengan batas total nitrogen sebesar 15 mg/L.

Berdasarkan hasil pengukuran pada Gambar 9, nilai total nitrogen pada air lindi sebesar 1050 mg/L mengalami penurunan pada titik *outfall* menjadi 11,95 mg/L, yang menunjukkan bahwa proses pengolahan biologis pada kolam IPAL mampu mereduksi senyawa nitrogen melalui aktivitas mikroorganisme meskipun efektivitasnya belum sepenuhnya optimal. Dalam kajian bioteknologi lingkungan, penurunan total nitrogen tersebut terjadi melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi oleh bakteri seperti *Nitrosomonas sp.* dan *Nitrobacter sp.* pada zona aerob serta bakteri denitrifikasi pada zona anaerob, di mana senyawa amonia diubah menjadi nitrat kemudian direduksi menjadi gas nitrogen sehingga kandungan nitrogen dalam air lindi berkurang. Penelitian oleh Rozika dan Purnomo, (2023) menunjukkan bahwa teknologi biologis berbasis biofilter dan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan proses aerob-anoksik mampu meningkatkan efisiensi penyisihan total nitrogen melalui pembentukan biofilm mikroorganisme pada media lekat, sehingga penurunan kadar total nitrogen pada titik outfall penelitian ini mengindikasikan adanya aktivitas biodegradasi nitrogen di kolam IPAL TPA Cipayung walaupun kapasitas mikroorganisme kemungkinan belum mampu mengolah beban nitrogen yang tinggi secara maksimal akibat kondisi *overload* air lindi.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di TPA Cipayung mampu menurunkan kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan total nitrogen pada air lindi melalui proses pengolahan biologis yang melibatkan aktivitas mikroorganisme aerob dan anaerob. Nilai BOD mengalami penurunan dari 4893,1 mg/L menjadi 29,5 mg/L, COD dari 7835,821 mg/L menjadi 46,479 mg/L, dan total nitrogen dari 1050 mg/L menjadi 11,95 mg/L pada titik *outfall*. Penurunan tersebut menunjukkan adanya proses biodegradasi bahan organik dan transformasi senyawa nitrogen pada kolam IPAL yang berkaitan dengan penerapan bioteknologi lingkungan. Namun, kadar BOD dan COD pada titik *outfall* masih melebihi baku mutu air permukaan berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, sehingga efektivitas pengolahan IPAL belum optimal. Kondisi ini diduga

disebabkan oleh tingginya beban pencemar organik akibat sistem *open dumping* dan kondisi *overload* TPA Cipayung yang menyebabkan kapasitas biodegradasi mikroorganisme pada IPAL belum mampu mengolah air lindi secara maksimal.

Daftar Referensi

Badan Standardisasi Nasional. (2004). SNI 06-6989.14-2004: Cara Uji Oksigen Terlarut Secara Yodometri (Modifikasi Azida). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2009). SNI 6989.72:2009: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional (2019). SNI 6989.2:2019: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) Dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2021). SNI 8990:2021: Metode Pengambilan Contoh Uji Air Limbah. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Kahfi A. (2017). Tinjauan terhadap pengelolaan sampah. Universitas Islam Negeri (UIN) Alauddin Makassar.

Kasam, K., Sarto, S., Syamsiah, S., & Prasetya, A. (2016). Pattern of Characteristics of Leachate Generation from Municipal Solid Waste Landfill. International Journal of Environmental Science and Development, 7(10), 768-771.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2016). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2023). Buku Informasi Statistik (BIS) Infrastruktur PUPR Tahun 2023. Jakarta: Pusat Data dan Teknologi Informasi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Nurrahma, A., & Rosariawari, F. (2023). *Pengolahan Lindi (Leacheate) dengan Metode Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dengan Proses Aerobik-Anoksik untuk Menurunkan Konsentrasi COD, TSS, dan Amonia*. Envirous, 1(2), 54–58.

Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.

Purnomo, C. W. (2021). Solusi Pengelolaan Sampah Kota. Yogyakarta: UGM Press.

Ramlia, R., & Djalla, A. (2018). Uji kandungan Logam Berat Timbal (Pb) di Perairan Wilayah Pesisir Parepare. Jurnal Ilmiah Manusia Dan Kesehatan, 1(3), 255-264.

Rozika, D. I., & Purnomo, Y. S. (2023). *Pengolahan Lindi (Leachate) Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dengan Proses Oxic-Anoxic*. Envirous, 2(1), 106–114.

Saputri, L. D. (2018). Pengaruh penambahan lindi dengan MOL dan lindi tanpa MOL terhadap proses pengomposan sampah organik di TPA Winongo. Madiun: Program Studi Kesehatan Masyarakat, Stikes Bhakti Husada Mulia.

Sugito, S., et al. (2024). *Combined Treatment of Landfill Leachate Using Coagulation-Flocculation and Anaerobic-Aerobic Biofilter with Bioball*. Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia, 11(2), 366–375.