

BAB I. PENDAHULUAN UMUM

1.1 Latar Belakang

Sampah di Indonesia saat ini masih menjadi masalah nasional. Sampah jika tidak dikelola dengan baik bisa mencemari lingkungan dan membahayakan manusia, sehingga sampah perlu dikelola secara komprehensif dan terpadu. Menurut Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008, sampah merupakan sisa kegiatan manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat.

Sistem pengolahan TPA di Indonesia beberapa menggunakan sistem pengolahan *Sanitary Landfill* dan *Open Dumping* secara umum yang diharapkan dapat mencegah pencemaran lingkungan disekitar (Savitri, 2018). Masalah sistem pengolahan *Open Dumping* dapat mempengaruhi proses penyaluran lindi dan adanya tumpukan sampah pada kolam instalasi pengolahan lindi, sehingga proses pengolahan tidak berlangsung. Dampak potensial dari hal tersebut menyebabkan lindi yang dihasilkan berasal dari timbunan sampah mengalir ke sungai atau masuk ke dalam tanah tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu (Syahrul. et al., 2021)

Hampir setiap kota besar di Indonesia telah menyediakan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah, namun kebanyakan dari TPA ini hanya berfokus pada pengolahan sampah saja. Padahal timbunan sampah juga menimbulkan aliran air lindi (*leachate*), ketika air seperti air hujan meresap melalui timbunan sampah di tempat pemrosesan akhir (TPA) sampah. Air ini kemudian melarutkan dan membilas bahan-bahan kimia dan unsur-unsur dari sampah yang terkubur, yang kemudian menghasilkan cairan yang disebut air lindi (Abdel-Shafy, H. I., & Shehata, M. 2024). Seandainya sudah ada unit pengolahannya, unit pengolahan tersebut masih bersifat konvensional bahkan limbah dari unit pengolahan tersebut masih berada di atas baku mutu yang telah ditetapkan pemerintah (Hadiwidodo. et al., 2012).

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) merupakan tempat dimana sampah mencapai tahap terakhir dalam pengelolaannya sejak mulai timbul di sumber, pengumpulan, pemindahan atau pengangkutan, pengolahan dan pembuangan. TPA merupakan tempat dimana sampah diisolasi secara aman agar tidak menimbulkan gangguan terhadap lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu diperlukan penyediaan fasilitas dan perlakuan yang benar agar keamanan tersebut dapat dicapai dengan baik (Damanhuri, 1995). Untuk mengantisipasi dampak negatif yang diakibatkan oleh metode pembuangan akhir sampah yang tidak memadai seperti yang selalu terjadi di berbagai kota di Indonesia.

Kegiatan pengelolaan sampah yang benar dan terkoordinasi secara sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan berdasarkan Undang-Undang No 18 Tahun 2008 sangat membantu terhadap pencegahan dan pengendalian dampak langsung pada manusia dan lingkungan, namun semakin tingginya laju pertumbuhan penduduk juga sangat mempengaruhi jumlah sampah yang harus dikelola (Georgieva, A., & Marinov, M. 2021). Sampah yang tanpa adanya pemilahan terlebih dahulu sebelum masuk TPA dan ditambah dengan umur TPA akan menghasilkan kualitas air lindi jauh melampaui baku mutu. Dampak sampah terhadap lingkungan dapat terjadi antara lain saat proses pencucian sampah padat terutama oleh air hujan (Kjeldsen, P., et al. 2002)

Air lindi dari tempat pemrosesan akhir sampah (TPA) merupakan air limbah yang sangat tercemar. Komposisi air lindi ditentukan oleh proses biologis, kimia, dan fisik dan rezim aliran air di tempat pembuangan sampah tersebut. Selain itu, konsentrasi bahan polutan dan volume air lindi dari TPA dipengaruhi oleh jenis dan

komposisi sampah, kondisi iklim, serta kondisi tempat pembuangan akhir tersebut. Air lindi dari tempat pembuangan sampah umumnya memiliki kandungan bahan organik (COD dan BOD), amonium yang tinggi, logam serta berbagai jenis garam anorganik lainnya. Karena kandungannya tersebut, air lindi berpotensi mencemari air permukaan atau air tanah, jika dibuang langsung ke lingkungan tanpa mengalami penanganan yang memadai (Suprihatin et al., 2019). Jika tidak diolah dan dikumpulkan dengan aman, lindi dari landfill ini dapat menjadi sumber potensial pencemar bagi air permukaan dan dalam tanah (Aziz et al., 2009). Sedangkan berdasarkan Prihastini (2011), air lindi adalah suatu cairan yang berasal dari proses dekomposisi sampah yang melarutkan senyawa berbahaya.

Hasil dari Instalasi Pengolahan Air Lindi TPA Patommo baik fisik masih berwarna hitam dan bau, maka dari itu perlu peningkatan pengelolaan yang lebih baik sehingga air lindi yang keluar ke badan air sesuai dengan baku mutu air lindi guna mencegah terjadinya pencemaran air lindi. Evaluasi pengelolaan air lindi perlu dilakukan guna menentukan langkah yang dapat dilakukan untuk peningkatan pengelolaan air lindi sehingga apabila Instalasi Pengolahan Air Lindi belum sepenuhnya mendukung dapat memberikan masukan inovasi teknologi yang dibutuhkan. Berdasarkan latar belakang tersebut dilakukan penelitian yaitu “Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Lindi di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Patommo Kabupaten Sidenreng Rappang”

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana kualitas air lindi dan efektivitas dari instalasi pengolahan air lindi di TPA Patommo?
2. Bagaimana strategi pengelolaan instalasi pengolahan air lindi di TPA Patommo?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan:

- 1 Mengevaluasi kualitas air lindi dan efektivitas dari instalasi pengolahan air lindi di TPA Patommo
- 2 Menentukan strategi pengelolaan instalasi pengolahan air lindi di TPA Patommo

1.4 Manfaat Penelitian

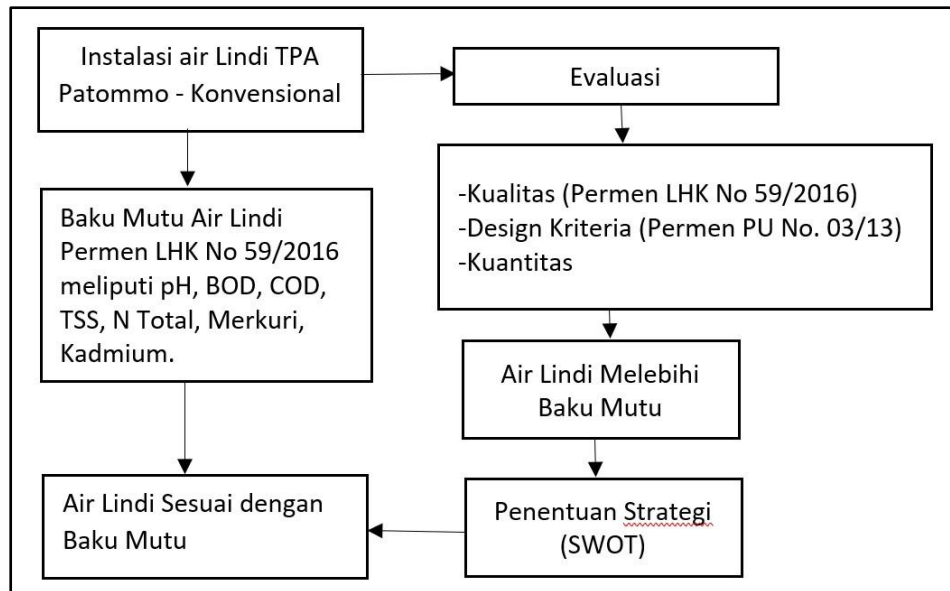
Manfaat penelitian ini dapat ditinjau dari aspek akademik maupun praktis implementatif, seperti diuraikan sebagai berikut:

- 1 Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan akademis di bidang lingkungan, khususnya mengenai strategi pengelolaan pengendalian air lindi
- 2 Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan bagi pemerintah daerah Kabupaten Sidenreng Rappang dalam melakukan pengelolaan di TPA terutama terhadap air lindi

1.5 Kerangka Pikir Penelitian

Penelitian ini didasari oleh kebutuhan untuk mengevaluasi kinerja instalasi pengolahan air lindi di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Patommo yang masih menggunakan sistem konvensional. Evaluasi dilakukan dengan mengacu pada

parameter kualitas air lindi berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) No. 59 Tahun 2016 yang mencakup pH, BOD, COD, TSS, nitrogen total, merkuri, dan kadmium. Selain itu, kriteria desain instalasi berdasarkan Permen PU No. 03/2013 dan aspek kuantitas juga menjadi bagian dari kajian. Hasil evaluasi akan menunjukkan apakah kualitas air lindi telah memenuhi baku mutu. Jika hasilnya menunjukkan bahwa air lindi melebihi ambang batas, maka akan dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan metode SWOT untuk menentukan strategi perbaikan yang tepat. Kerangka pikir ini disusun untuk menggambarkan alur logis dalam mencapai tujuan penelitian.



Gambar 1.1 Kerangka Pikir Penelitian

1.6 Daftar Pustaka

- Abdel-Shafy, H. I., Ibrahim, A. M., Al-Sulaiman, A. M., & Okasha, R. A. (2024). *Landfill leachate: Sources, nature, organic composition, and treatment: An environmental overview*. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(1), 102293. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2023.102293>
- Aziz, S. Q., Aziz, H. A., Yusoff, M. S., Bashir, M. J. K., & Umar, M. (2010). Leachate Characterization in Semi-Aerobic and Anaerobic Sanitary Landfills: A Comparative Study. *Journal of Environmental Management*, 91(12), 2608–2614. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.07.042>
- Damanhuri, E. 1995. Teknik Pembuangan Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan, ITB: Bandung
- Georgieva, A., & Marinov, M. (2021). Determinants of municipal solid waste: a global analysis by countries' income level. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(44), 62421–62430. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15167-9>
- Hadiwidodo M., Oktiawan W., Primadani A.R., Parasmita B.N., dan Gunawan i. 2012. Pengolahan Air Lindi Dengan Proses Kombinasi Biofilter Anaerob Aerob Dan Wetland. Fakultas Teknik UNDIP. Jurnal PRESIPITASI Vol. 9 No.2. ISSN 1907-187X.
- Kjeldsen, Peter; Barlaz, Morton A.; Rooker, Alan P.; Baun, Anders; Ledin, Anna; Christensen, Thomas H. (2002). *Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review*. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32(4), 297–336. <https://doi.org/10.1080/10643380290813462>
- Prihastini, L. 2011. Dampak Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Winongo

Terhadap Kualitas Lingkungan Hidup. Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes 7 Volume II Nomer 1, Januari 2011 ISSN : 2086-3098

Syahrul Al-Qodar Haumahu., Herawati Riogilang., Isri.R Mangangka. 2021. Perancangan Instalasi Pengolahan Lindi Dengan Proses Kombinasi Kolam Anaerobik, Fakultatif, dan Maturasi di TPA Sumompo. Prodi Teknik Sipil. Universitas Samratulangi. Jurnal Tekno Volume 19 Nomor 79. ISSN: 0215-9617.

Suprihatin., Yani M., dan Ratnasari D. 2019. Penyisihan Polutan Dari Air Lindi Tempat Pembuangan Sampah dengan Metode Presipitasi Struvite: Pengaruh Dosis Presipitan dan pH. Jurnal Teknologi Industri Pertanian. Bogor: IPB 29 (2):205-212. ISSN: 0216-3160 EISSN: 2252-390.

Undang Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah

BAB II. EVALUASI KUALITAS AIR LINDI DAN EFEKTIFITAS INSTALASI PENGOLAHAN AIR LINDI DI TPA PATOMMO

2.1 Abstrak

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Patommo merupakan tempat pemrosesan akhir sampah yang berada di Dusun Patommo, Kelurahan Arawa, Kecamatan wattang Pulu, Kabupaten Sidenreng Rappang. Eksisting lokasi sementara ini telah dioperasikan penggunaannya seluas ± 5 Ha. TPA Patommo memiliki Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) yang berfungsi sebagai tempat pengolahan air lindi, namun teknologi yang digunakan pada IPL tersebut masih bersifat konvensional. Instalasi hanya berupa kolam pengendapan sehingga hanya mengandalkan proses fisika saja atau secara gravitasi. Tujuan penelitian ini untuk memastikan bahwa proses pengolahan air limbah berjalan dengan baik, efektif, dan memenuhi standar lingkungan yang telah ditetapkan. Metode yang digunakan antara lain grab sampling, uji laboratorium, matematis, analisis hidrologi dan analisis deskriptif, bertujuan untuk mengevaluasi kondisi eksisting kualitas air lindi, kuantitas air lindi dan desain IPL kemudian membandingkan dengan standar baku mutu air lindi berdasarkan PermenLHK No. 59/2016 dan Permen PU No. 3/2013 tentang kriteria desain sarana dan prasarana penanganan sampah. Evaluasi terhadap instalasi pengolahan lindi TPA Patommo menunjukkan hasil yang kurang efektif dalam memenuhi standar kualitas lindi, terutama untuk parameter BOD, COD, dan total N, namun parameter pH, Hg, dan Cd telah memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Untuk beban hidrolis pada kolam ke empat tidak memenuhi kriteria desain yaitu $6,92 \text{ m}^3/\text{m}^2$ hari, dan kapasitas IPL masih mampu menampung air lindi sebesar $4.332,136 \text{ m}^3$

Kata Kunci: air lindi, instalasi pengolahan air lindi, baku mutu, kriteria desain, evaluasi,

2.2 Pendahuluan

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59 tahun 2016 Air Lindi merupakan cairan yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi-materi terlarut, termasuk materi organik hasil proses dekomposisi secara biologi. Air Lindi (Leachate) sangat berpotensi menyebabkan pencemaran air, baik air tanah maupun permukaan sehingga perlu ditangani dengan baik (Hadiwidodo et al., 2012).

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Patommo merupakan tempat pemrosesan akhir sampah yang berada di Dusun Patommo, Kelurahan Arawa, Kecamatan wattang Pulu, Kabupaten Sidenreng Rappang dengan jarak tempuh ± 3 km dari Lawawoi ibukota Kecamatan Wattang Pulu, dan ± 10 km dari Pangkajene, Ibukota Sidenreng Rappang. Status lahan TPA Patommo yang berdiri pada tahun 2010 dengan luas 3 Ha adalah seluruhnya milik Pemerintah Daerah, Eksisting lokasi sementara ini telah dioperasikan penggunaannya seluas ± 5 Ha.

Pengoperasian *controlled landfill* di TPA Patommo belum didukung dengan kegiatan penutupan sampah yang seharusnya dilakukan minimum setiap 7 hari sekali. Sampah yang sudah merata kemudian ditutup dengan tanah (*cover soil*) setiap 6 bulan sekali, kurangnya penyediaan tanah penutup merupakan kendala dalam melakukan ketentuan pada metode *controlled landfill*. Hal tersebut sangat memungkinkan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) menghasilkan timbulan air lindi yang berpotensi mencemari lingkungan, sehingga perlu dilakukan pengolahan air lindi sebelum dibuang ke media lingkungan.

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Patommo memiliki Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) yang berfungsi sebagai tempat pengolahan *leachate* (air lindi) agar ketika dibuang ke badan air tidak mencemari lingkungan. Secara umum, air lindi banyak mengandung senyawa organik dan anorganik yang tinggi. Air lindi juga dapat didefinisikan sebagai limbah cair yang berasal dari perkolasi air hujan yang melewati timbunan sampah (Mahardika, 2010).

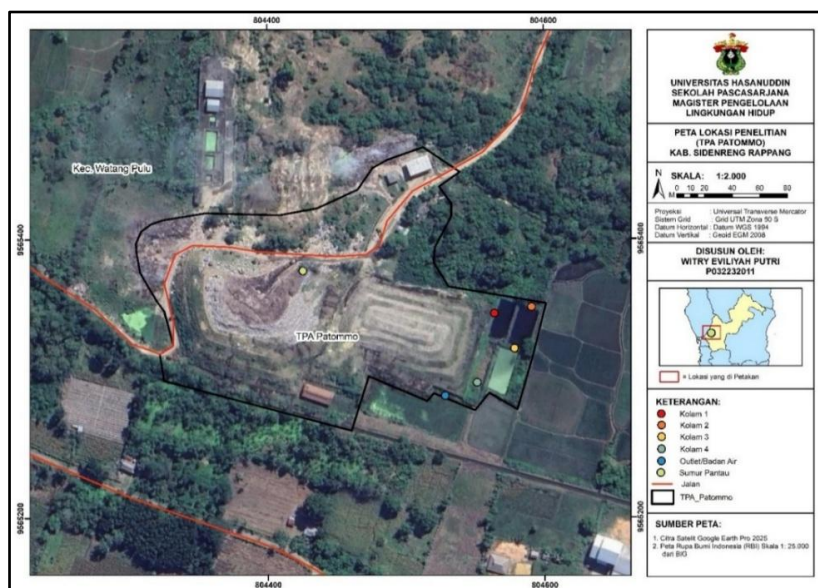
Instalasi Pengelolaan Air Lindi TPA Patommo terdiri dari 4 (empat) kompartmen yang kesemuanya hanya berfungsi sebagai bak pengendapan saja secara grafitasi. Karakteristik air lindi ditentukan oleh pH, BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*), dan kandungan lainnya. Setiap TPA memiliki karakteristik air lindi yang berbeda tergantung dari proses yang telah terjadi didalam landfill (Sari dan Afdal. 2017)

Evaluasi terhadap instalasi pengolahan air lindi dibutuhkan sebagai masukan mengenai hal-hal yang perlu di perbaiki agar terlaksanan pengelolaan air lindi yang berwawasan lingkungan. Hal ini semakin penting untuk direalisasikan mengingat adanya Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah. Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Lindi bertujuan untuk menilai kinerja dan efektivitas dari sistem pengolahan air limbah yang ada. Evaluasi ini sangat penting untuk memastikan bahwa proses pengolahan air limbah berjalan dengan baik, efektif, dan memenuhi standar lingkungan yang telah ditetapkan. Menurut Effendi, 2003 evaluasi juga sangat berguna dalam penentuan strategi untuk pengelolaan air lindi yang baik dan benar.

Hasil keluaran (outlet) Instalasi Pengolahan Air Lindi (IPL) TPA patommo secara fisik masih berwarna hitam dan bau. Mengingat umur TPA Patommo dan IPL telah mencapai ± 14 tahun, maka perlu dilakukan evaluasi guna air keluarannya memenuhi standar baku mutu air lindi sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Lindi.

2.3 Metode Penelitian

2.3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian



Gambar 2.1 Peta Lokasi Penelitian (TPA Patommo)

Penelitian ini dilaksanakan pada Februari - Juni 2025 di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Patommo Kabupaten Sidenreng Rappang, Provinsi Sulawesi Selatan dapat dilihat pada Gambar 2.1. Terkhususnya untuk Instalasi Pengolahan Lindi dan akan dianalisis di laboratorium. Untuk penentuan titik lokasi sampling, penelitian ini menggunakan metode purposive sampling.

2.3.2. Pengambilan Sampel



Gambar 2.2 Pengambilan Sampel Air Lindi

Pengambilan sampel dilokasi penelitian menggunakan metode *grab sampling*. Menurut effendi (2003) dalam Dewa C. et al., 2015, *Grab sample* adalah sampel yang diambil secara langsung dari badan air yang sedang di pantau, dimana air diambil secara langsung dengan memasukkan botol sampel steril kedalam sungai dengan arah berlawanan arus kemudian menutupnya di dalam agar tidak terkontaminasi udara luar. Tata cara pengambilan sampel air lindi sesuai dengan SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. Titik lokasi pengambilan sampel disajikan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Titik Lokasi Pengambilan Sampel

No	Sampel	Titik Koordinat	Lokasi
1	Sampel 1	119.742396-3.927865	Kolam/ Kompartment 1
2	Sampel 2	119.742638-3.927823	Kolam/ Kompartment 2
3	Sampel 3	119.742528-3.928093	Kolam/ Kompartment 3
4	Sampel 4	119.742284-3.928315	Kolam/ Kompartment 4
5	Sampel 5	119.741149-3.927592	Sumur Pantau
6	Sampel 6	119.742077-3.928400	Badan Air (Outlet)

2.3.3. Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan diperlukan untuk mempermudah memperoleh data-data kerja lapangan maupun penyusunan laporan penelitian yang dibutuhkan. Bahan dan alat tersebut terinci dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Alat dan Bahan yang digunakan dalam penelitian beserta kegunaannya

No	Alat dan Bahan	Kegunaan
1	Botol Sampel	Wadah Sampel Lindi dan Endapan
2	Meteran	Mengukur Dimensi IPL
3	Data Curah Hujan	Intensitas Curah Hujan
4	Kamera	Dokumentasi Objek Penelitian
5	Alat Uji Laboratorium	Menentukan kualitas lindi dan ukuran endapan
6	Alat tulis	Mencatat Data Penelitian

2.3.4. Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data kualitas air lindi, kuantitas air lindi, dan data keadaan umum lokasi penelitian yang berkaitan dengan tujuan dari penelitian ini. Jenis dan sumber data yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Jenis dan Sumber Data

No	Komponen	Jenis Data	Teknik Pengumpulan
1	Kualitas Air Lindi		
	pH	Primer	Laboratorium
	BOD	Primer	Laboratorium
	COD	Primer	Laboratorium
	TSS	Primer	Laboratorium
	N Total	Primer	Laboratorium
	Kadmium	Primer	Laboratorium
Endapan Air Lindi	Primer	Laboratorium	
2	Kuantitas Air Lindi		
	Data Curah Hujan	Sekunder	Data BMKG
3	Desain IPL		
	Dimensi IPL	Primer dan Sekunder	Data DLH Kab. Sidrap dan Observasi Lapangan
4	Kondisi Umum Lokasi Penelitian	Sekunder	Studi Pustaka/ Observasi Lapangan

2.3.5. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan panduan untuk melakukan kegiatan penelitian sehingga dapat tersusun secara terencana, teratur, dan sistematis. Tahapan penelitian disusun sesuai tahapan kegiatan yang akan dilakukan yang berfokus pada evaluasi kualitas air lindi dan instalasi pengolahan air lindi untuk mengetahui efektifitas pengelolaannya.

2.3.5.1. Analisis Kualitas Air Lindi

Tahap ini merupakan awal dari seluruh rangkaian kegiatan penelitian. Pengambilan sampel air lindi yang dilakukan di TPA Patommo dilakukan pada Inlet instalasi pengelolaan air lindi, 4 (empat) kompartemnt kolam, outlet dan sumur pantau. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif. Pendekatan ini digunakan untuk menggambarkan kondisi air lindi di TPA Patommo.



Gambar 2.3 Sampel Air Lindi

Parameter yang diukur adalah pH (potensial Hidrogen), BOD (Biological Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), dan TSS (Total Suspended Solid), N total, Merkuri dan Cadmium (Cd). Parameter tersebut dapat menggambarkan efektivitas unit pengolahan air limbah (Bitton 1994; Rahmawati et al. 2005). Analisis air lindi TPA sampah Ngegong menggunakan kriteria air lindi berdasarkan Lampiran 1 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 dapat dilihat pada table 2.4.

Tabel 2.4 Baku Mutu Air Lindi

Parameter	Kadar Paling Tinggi	
	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

(Sumber: Permen Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia No 59 Thn 2016)

Pengukuran pH, BOD, COD, TSS, dan Cd dilakukan di Laboratorium Lingkungan Hidup Provinsi Sulawesi Selatan, sedangkan untuk N Total, Merkuri dilakukan di Laboratorium Balai Besar Industri Hasil Perkebunan, Mineral Logam dan Maritim (BBIHPMM). Metode analisis parameter sesuai dengan standar dan prosedur standar yang berlaku. Sampel yang telah diperoleh akan dilakukan pengujian dengan menggunakan standar pengujian dan metode yang dapat dilihat pada tabel 2.5

Tabel 2.5 Metode Analisis Laboratorium

Parameter	Metode Analisis
pH	SNI 6989.11:2019
BOD	SNI 6989.72:2009
COD	SNI 6989.73:2019
TSS	SNI 6989.2:2019
N Total	AOAC 973.48 , 19 th 2005
Merkuri	SNI 6989.78:2011
Kadmium	SNI 6989.84.2019

1. Analisis pH (SNI 6989.11:2019)

Pengukuran pH pada setiap sampel air lindi menggunakan alat pH meter. pH meter terlebih dahulu dikalibrasi sebelum digunakan, kemudian mencelupkan elektroda ke dalam sampel air lindi sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap, selanjutnya mencatat hasil pembacaan skala atau angka pada tampilan dari pH meter.

2. Analisis BOD (SNI 6989.72:2009)

Analisis BOD dilakukan dengan menggunakan metode titrasi iodometri. Tahap pertama mengisi botol BOD dengan masing-masing sampel air lindi tanpa gelembung udara, kemudian ditambahkan reagen dan inokulum, selanjutnya mengukur DO awal (DO_0) pada Sebagian setiap sampel, inkubasi sisa sampel selama 5 hari pada 20°C dalam gelap, setelah 5 hari ukur DO akhir (DO_5), kemudian hitung nilai BOD_5 .

3. Analisis COD (SNI 6989.73:2019)
 Analisis COD dilakukan dengan menggunakan metode refluks tertutup secara spektrofotometri. Sampel yang akan dianalisis disiapkan, Sampel yang sudah dilarutkan direfluks menggunakan peralatan refluks tertutup. Pada metode refluks tertutup, pelarut yang digunakan akan menguap, tetapi didinginkan kembali oleh kondensor sehingga tetap berada dalam sistem. Proses refluks ini memastikan reaksi atau ekstraksi berlangsung sempurna pada suhu yang lebih tinggi dan dalam waktu yang relatif singkat. Setelah proses refluks, larutan hasil refluks mungkin perlu dipisahkan dari komponen lain, atau diencerkan sesuai kebutuhan sebelum diukur dengan spektrofotometer. Larutan hasil refluks atau bagian yang sudah dipisahkan kemudian diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang tertentu. Data absorbansi yang diperoleh dari spektrofotometer diolah untuk menentukan konsentrasi zat terlarut dalam sampel
4. Analisis TSS (SNI 6989.2:2019)
 Analisis TSS dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri. Sampel air atau limbah harus dihomogenkan untuk memastikan distribusi padatan tersuspensi merata. Sampel disaring melalui filter membran yang telah diketahui beratnya (pre-weight filter) dengan ukuran pori tertentu (misalnya, 0.45 μm atau 0.7 μm - 1.5 μm). Filter yang berisi residu padatan tersuspensi dikeringkan dalam oven pada suhu yang ditentukan (misalnya, 103-105°C) hingga beratnya konstan. Filter yang telah kering didinginkan dalam desikator untuk menghindari penyerapan uap air dari udara. Filter yang berisi residu padatan tersuspensi ditimbang. Perbedaan berat antara filter sebelum dan sesudah penyaringan adalah berat padatan tersuspensi. TSS dihitung berdasarkan berat padatan tersuspensi dan volume sampel yang digunakan.
5. Analisis N Total (AOAC 973.48, 19th 2005)
 Analisis N Total dilakukan menggunakan metode Kjeldahl, yang merupakan prosedur klasik untuk menentukan total nitrogen bahan organik, metode ini terdiri dari 3 tahapan yaitu Digesti, Netralisasi – Destilasi, dan Titrasi. Tahap Digesti dimulai dengan menimbang ± 0.5 –1.0 g masing-masing sampel ke dalam tabung Kjeldahl. Kemudian tambahkan 10–15 mL H_2SO_4 dan ± 1 g campuran katalis. Panaskan sampai larutan jernih (2–3 jam). Kemudian dinginkan. Tahap Netralisasi-Destilasi, tambahkan ± 50 mL NaOH 40% secara perlahan ke dalam larutan digesti. Destilasi amonia yang terbentuk di tampung dalam 50 mL larutan borat + indikator. Tahap Titrasi, titrasi distilat dengan HCl 0.1 N sampai titik akhir indikator berubah warna.
6. Analisis Merkuri (SNI 6989.78:2011)
 Analisis Merkuri dilakukan menggunakan Metode Spektrofotometri Serapan Atom dengan Sistem Amalgamasi Uap Dingin (Cold Vapor AAS). Ambil 100 mL sampel air lindi ke dalam wadah kaca. Tambahkan 5 mL H_2SO_4 , 2 mL HNO_3 , 5 mL KMnO_4 (larutan 5%), dan 2 mL $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$. Panaskan ± 2 jam (95–100°C) hingga larutan jernih dan warna ungu stabil. Setelah dingin, tambahkan $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ untuk menghilangkan kelebihan KMnO_4 . Tambahkan SnCl_2 sebagai reduktor, sehingga akan terbentuk Hg^0 (logam) dalam bentuk uap. Uap Hg dialirkan ke AAS, kemudian baca dan catat absorbansi pada 253.7 nm.
7. Cadmium (SNI 6989.84.2019)
 Uji kadmium dilakukan menggunakan Spektrofotometri Serapan

Atom (SSA) nyala. Sampel air disaring untuk menghilangkan partikel tersuspensi. Sampel diawetkan sesuai dengan persyaratan SNI. Logam Cd ditimbang dan dilarutkan dalam asam nitrat (HNO_3). Larutan diencerkan hingga mencapai konsentrasi yang diinginkan. Sampel disemprotkan ke dalam nyala api AAS. Absorpsi cahaya oleh atom Cd diukur. Konsentrasi Cd dalam sampel ditentukan berdasarkan kurva kalibrasi.

2.3.5.2 Analisis Desain Instalasi Pengolahan Air Lindi

Evaluasi terhadap desain IPL dilakukan untuk mengetahui kinerja setiap unit operasi dan unit proses. Tahapan evaluasi dilakukan dengan mengumpulkan data kondisi eksisting kemudian dilakukan perhitungan yang meliputi dimensi unit. Pengukuran dimensi unit adalah Langkah penting dalam evaluasi system pengolahan yang efektif, dimulai dengan batasan ukuran masing-masing unit pengolahan. Setelah dilakukan pengumpulan data dan perhitungan maka hasilnya akan dibandingkan dengan kriteria desain berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 03 Tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga untuk kemudian dievaluasi guna mengetahui kinerja setiap unit.



Gambar 2.4 Instalasi Pengolahan Air Lindi Patommo

2.3.5.3 Analisis Kuantitas Air Lindi

Pengukuran Kuantitas Air lindi dilakukan dengan analisis hidrologi menggunakan data curah hujan selama 10 tahun dari minimal 1(satu) stasiun pengamatan (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.12 tahun 2014). Analisis hidrologi dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode analisis frekuensi langsung (*direct frequency analysis*). Analisis ini dilakukan guna menentukan curah hujan rancangan dan intensitas hujan berdasarkan data curah hujan yang tersedia dan menentukan debit air limpasan maksimum (puncak). Curah hujan rancangan adalah jika waktu pengukuran curah hujan lebih lama (jumlah data banyak), maka hasil analisis akan semakin baik (Agung, 2018)

1. Analisa Distribusi Frekuensi

Widyawati et al., (2020) menjelaskan bahwa analisis distribusi frekuensi ini sangat penting untuk memilih jenis distribusi yang sesuai dengan data curah hujan yang akan digunakan agar error yang dihasilkan semakin kecil Analisis distribusi frekuensi digunakan untuk memperoleh probabilitas besaran curah hujan (mm) dalam berbagai periode ulang. Dasar perhitungan distribusi frekuensi adalah parameter yang berkaitan

dengan analisis data yang menghitung nilai rata-rata dan pengukuran dispersi (Soewarno, 2014).

Dalam analisa hidrologi diperlukan besaran curah hujan rencana yang terjadi di daerah tersebut. Curah hujan rencana adalah hujan sebesar tahunan dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu. Dalam analisa curah hujan rencana dapat dilakukan dengan beberapa cara, misalnya distribusi normal, distribusi Gumbell, distribusi log normal, distribusi log pearson tipe III dan sebagainya.

Metode-metode ini harus diuji mana yang bisa dipakai dalam perhitungan. Pengujian tersebut melalui pengukuran dispersi. Untuk melakukan pengukuran dispersi, terlebih dahulu harus diketahui faktor-faktor berikut:

- a. Harga rata-rata (X_r)(1)

$$X_r = \frac{\sum X_i}{n}$$

Dimana:

X_r = curah hujan rata-rata (mm)

X_i = besarnya curah hujan daerah (mm)

- b. Standart deviasi (S_d)

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_r)^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

S_x = Standar deviasi

X_i = curah hujan rata-rata (mm)

X_r = harga rata-rata

n = jumlah data

- c. Koefisien Skewness (C_s)

$$C_s = \frac{n \cdot \sum (X_i - X_r)^3}{(n-1)(n-2)(S_d)^3} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

X_i = curah hujan rata-rata (mm)

X_r = harga rata-rata

n = jumlah data

S_d = Standar deviasi

- d. Koefisien Courtosis (C_k)

$$C_k = \frac{\frac{1}{10} \sum (X_i - X_r)^4}{S_d^4} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

X_i = curah hujan rata-rata (mm)

X_r = harga rata-rata

S_d = Standar deviasi

- e. Koefisien Variasi

$$C_v = \frac{S_d}{X_r} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

X_r = harga rata-rata

S_d = Standar deviasi

- f. Uji distribusi data log hanya menghitung C_s nya saja untuk mengetahui kesesuaian uji distribusi tersebut cocok atau tidak.

$$C_s = \frac{n \cdot \sum (X_i - X_r)^3}{(n-1)(n-2)S_d^3} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

S_d = Standar deviasi

X_i = curah hujan rata-rata (mm)

X_r = harga rata-rata

n = jumlah data

2. Uji Kesesuaian Distribusi

Menurut Soewarno (2014), untuk menentukan kecocokan (*the goodness of fit test*) distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian parameter. Pada penelitian ini untuk keperluan analisis uji kecocokan digunakan dua metode statistik yaitu Uji Kolmogorov-Smirnov, dan Uji ChiSquare.

a. Uji Kolmogorov-Smirnov

Menurut Basuki (2009), uji kecocokan Kolmogorov- Smirnov, sering juga disebut uji kecocokan non parametrik (non parametric test), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Statistik uji KolmogorovSmirnov ditentukan berdasarkan Persamaan (7)

$$D = \max_x |F_a(x) - F_e(x)| \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

Keterangan:

- F_a = Probabilitas empiris
- F_e = Probabilitas teoritis

b. Uji ChiSquare

Uji Chi-Square dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Statistika uji ChiSquare ditentukan berdasarkan Persamaan (8)

$$Xh^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:

- Xh² = parameter chi-kuadrat hitung
- G = jumlah sub-kelompok
- E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke i
- O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub ke i

3. Analisa Intensitas Curah Hujan

Astarini, dkk (2022) Intensitas curah hujan didefinisikan sebagai ketinggian curah hujan yang terjadi pada kurun waktu dimana air hujan berkonsentrasi. Analisa intensitas curah hujan ini dapat diproses berdasarkan data curah hujan yang telah terjadi pada tahun-tahun sebelumnya. Perhitungan besarnya intensitas curah hujan dapat dipergunakan beberapa rumus empiris dalam hidrologi. Intensitas curah hujan biasanya dinotasikan dengan huruf "I" (Armanda, 2015).

Penentuan intensitas curah hujan menggunakan rumus Mononobe, yaitu:

$$I = I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana:

- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- t = Lama waktu hujan atau waktu konstan (jam)
- R₂₄ = Curah hujan maksimum harian (mm)

4. Analisa Debit Air Limpasan dan Debit Air Maksimum

Perhitungan debit air limpasan dihitung dengan rumus rasional sebagai berikut:

$$Q_{maks} = 0,278 \times C \times I \times A \dots\dots\dots(10)$$

Dimana:

- Q_{maks} = debit air limpasan maksimum (m³/detik)
- C = koefisien limpasan
- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- A = Luas daerah tangkapan hujan (km²)

2.4 Hasil dan Pembahasan

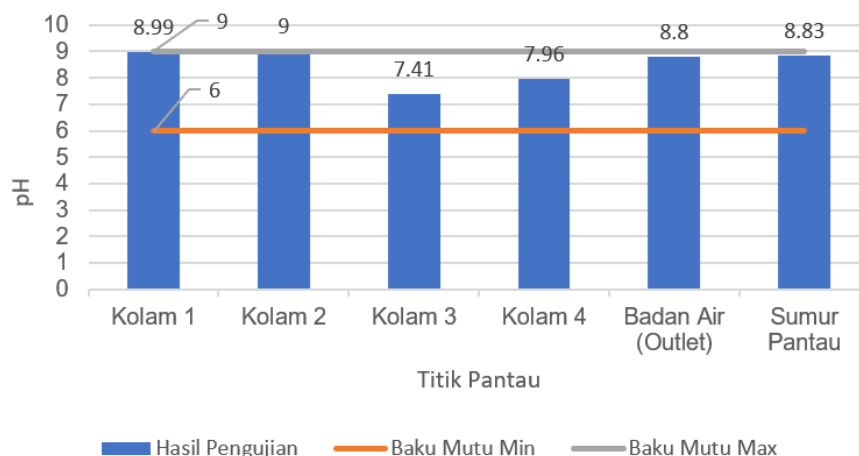
2.4.1 Kualitas Air Lindi

2.4.1.1 Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH merupakan salah satu parameter penting dalam analisis kualitas air lindi karena menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan yang berpengaruh terhadap proses dekomposisi biologis dan potensi pencemaran lingkungan. Menurut Priambodho (2005), bahwa pada proses pertambahan umur tumpukan sampah akan terjadi fase fermentasi metana sebagai hasil dekomposisi biologis anaerobik yang hampir sempurna dengan nilai pH berfluktuasi 7,5 – 9. Kelangsungan hidup organisme akuatik sangat dipengaruhi oleh tingkat keasaman. Oleh karena itu, pH air sering digunakan untuk menentukan kualitasnya. Rentang pH 6,0 hingga 8,0 ideal untuk pertumbuhan sebagian besar bakteri (Afiah et al., 2025).

Berdasarkan hasil uji laboratorium (Gambar 2.5) pH air lindi TPA Patommo tergolong basa dan berada pada batas toleransi baku mutu air lindi sesuai PerMenLHK No. 59/2016 yaitu 6 – 9. Pada Kolam 1 dan Kolam 2, nilai pH masing-masing sebesar 8,99 dan 9,00, mendekati batas maksimum baku mutu. Hal ini mengindikasikan bahwa proses penguraian sampah telah memasuki atau bahkan mencapai tahap metanogenesis, yaitu fase dekomposisi anaerobik lanjutan yang menghasilkan metana dan menyebabkan pH meningkat (Chapman, 2000; Priambodho, 2005). Sedangkan pada Kolam 3, pH terendah tercatat sebesar 7,41, yang masih dalam rentang netral namun lebih rendah dibanding titik lainnya. Perbedaan ini dapat mencerminkan perbedaan tahap dekomposisi atau pengaruh dari air hujan dan pelarutan senyawa asam (Novaldi et al., 2021).

Selanjutnya, Kolam 4, Badan Air (*Outlet*), dan Sumur Pantau masing-masing menunjukkan nilai pH sebesar 7,96, 8,80, dan 8,83. Nilai pH pada outlet dan sumur pantau menunjukkan bahwa meskipun telah terjadi proses peluruhan alami atau pengolahan, air lindi yang keluar dari TPA masih bersifat basa lemah. Jika kondisi ini berlanjut tanpa pengendalian, pH yang tinggi dapat berdampak negatif terhadap biota perairan di lingkungan sekitar. Secara umum, data tersebut menunjukkan bahwa sistem pengelolaan air lindi di TPA telah mampu mempertahankan pH dalam batas yang dapat diterima menurut standar lingkungan. Namun, perhatian perlu diberikan pada titik dengan nilai pH mendekati ambang batas atas untuk mencegah pelampauan yang bisa berdampak ekologis, terutama pada sistem perairan penerima. Kelangsungan hidup organisme akuatik sangat dipengaruhi oleh tingkat keasaman. Karena itu, pH air sering digunakan untuk menentukan kualitasnya. Rentang pH 6,0 hingga 8,0 ideal untuk pertumbuhan sebagian besar bakteri (Dey et al., 2017).



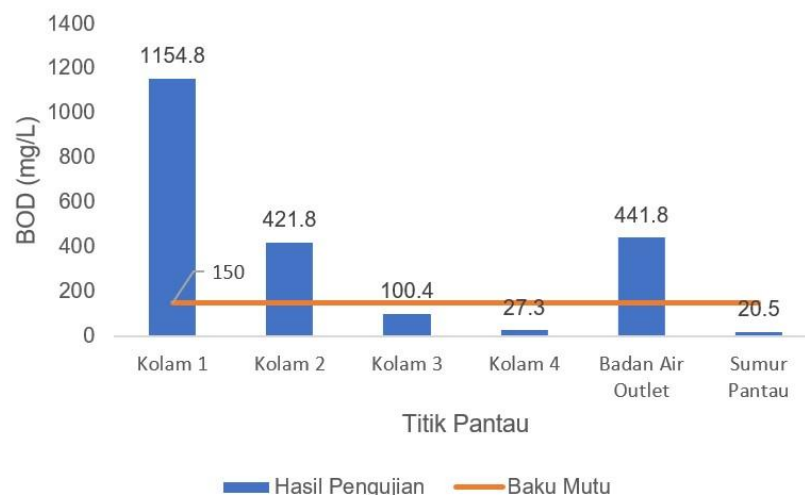
Gambar 2.5 Nilai pH Pada Setiap Titik Pantau

2.4.1.2 BOD (*Biological Oxygen Demand*)

BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) merupakan parameter penting untuk menilai tingkat pencemaran organik dalam air. Nilai BOD menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air secara biologis. Semakin tinggi nilai BOD, semakin besar kandungan bahan organik dalam air, yang menandakan tingkat pencemaran yang tinggi dan potensi membebani ekosistem akuatik.

Berdasarkan hasil uji laboratorium yang ditampilkan (Gambar 2.6), nilai BOD limbah cair di titik pemantauan Kolam 1 menunjukkan angka tertinggi, yaitu 1154,8 mg/L, yang jauh melebihi batas maksimum standar kualitas BOD sebesar 150 mg/L (berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016). Nilai ini menunjukkan bahwa lindi di kolam ini mengandung konsentrasi bahan organik yang sangat tinggi dan berada pada tahap awal dekomposisi anaerobik limbah padat.

Selanjutnya, kolam 2 menunjukkan nilai BOD yang tinggi sebesar 421,8 mg/L, yang berarti bahwa lindi di titik ini belum mengalami pengurangan beban organik yang signifikan. Hal ini dapat disebabkan oleh proses pengolahan yang kurang optimal atau kurangnya proses biologis alami seperti sedimentasi dan oksidasi. Kolam 3 (100,4 mg/L), Kolam 4 (27,3 mg/L), dan Sumur Pemantauan (20,5 mg/L) menunjukkan penurunan yang cukup drastis dalam nilai BOD dan sudah berada di bawah ambang batas standar kualitas, terutama Kolam 4 dan Sumur Pemantauan. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar materi organik telah terurai secara biologis, baik melalui proses alami maupun karena pergerakan air yang memungkinkan aerasi atau pengolahan tambahan. Namun, badan air/outlet mengalami peningkatan nilai BOD di atas standar kualitas akibat kerusakan pada pipa drainase lindi, yang seharusnya mengarah ke instalasi tetapi malah langsung ke badan air/outlet. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa meskipun terdapat penurunan nilai BOD di beberapa titik, masih ada titik kritis seperti Kolam 1 dan Saluran Keluar yang menunjukkan potensi pencemaran tinggi dan memerlukan peningkatan pengolahan limbah cair, seperti penambahan kolam aerasi, biofilter, atau reaktor anaerobik untuk mengurangi beban organik secara lebih efektif (Jamshidi, S., & Badalians Gholikandi, G. 2014).

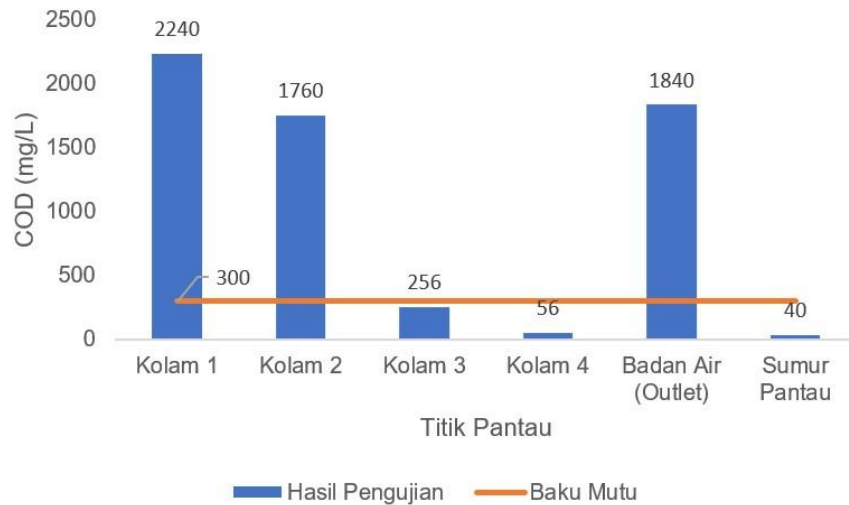


Gambar 2.6 Nilai BOD Pada Setiap Titik Pantau

2.4.1.3 COD (*Chemical Oxygen Demand*)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada air lindi mengacu pada jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi seluruh bahan organik dan anorganik dalam air lindi. Nilai COD yang tinggi pada air lindi menunjukkan tingkat pencemaran yang tinggi oleh bahan organik. COD memiliki standar baku mutu

sebesar 300 mg/l. COD merupakan parameter penting untuk mengukur tingkat pencemaran organik dalam air, di mana nilai yang tinggi mengindikasikan adanya beban pencemar organik yang signifikan, biasanya berasal dari degradasi bahan organik seperti sisa makanan, limbah rumah tangga, dan limbah industri yang belum terurai secara sempurna (Kurniasih et al., 2020).



Gambar 2.7 Nilai COD Pada Setiap Titik Pantau

Berdasarkan hasil Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang ditampilkan (Gambar 2.7), Kolam 1 dan Kolam 2 menunjukkan nilai COD yang sangat tinggi (1.760–2.240 mg/L), yang jauh melebihi standar 300 mg/L. Hal ini menunjukkan beban organik yang sangat tinggi atau kondisi biodegradasi yang buruk di kolam-kolam tersebut. Kolam 3 dan Kolam 4 menunjukkan penurunan yang signifikan menjadi 256 mg/L dan 56 mg/L, menunjukkan bahwa kolam 4/ tahap akhir telah menghilangkan jumlah organik yang signifikan. Badan air/ outlet kembali naik menjadi 1.840 mg/L, menunjukkan bahwa meskipun proses pengolahan di kolam, air keluar masih mengandung tingkat COD yang sangat tinggi, artinya sistem pengolahan tidak efektif atau ada aliran bypass/campuran yang menyebabkan gangguan. Sumur pemantauan (40 mg/L) mendekati standar atau cukup rendah, yang dapat menunjukkan kondisi air tanah/pemantauan yang relatif bersih atau lokasi yang jauh dari sumber polusi. Nilai COD yang sangat tinggi menunjukkan bahwa sistem kolam kemungkinan menerima limbah cair dengan konsentrasi bahan organik yang tinggi, atau bahwa sistem kolam overload atau mengalami kondisi anaerobik/kekurangan oksigen yang menghambat proses oksidasi/biodegradasi. Hal ini dapat merugikan lingkungan penerima karena konsentrasi bahan organik yang tinggi dapat mengurangi oksigen terlarut (DO) di saluran penerima, mempengaruhi kehidupan akuatik, sekaligus menunjukkan bahwa limbah tidak memenuhi standar pembuangan (Deyse et al., 2022).

2.4.1.4 TSS (*Total Suspended Solid*)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan semua materi atau partikel yang tersuspensi dalam air. TSS yang berinteraksi dengan faktor fisika, kimia dan biologi akan mengendap menjadi sedimen, semakin tinggi TSS di perairan menunjukkan adanya pencemaran lingkungan karena tingginya endapan lumpur (Silitonga, N. 2021). Semakin tinggi nilai TSS, maka semakin tinggi pula tingkat pencemaran.

Hasil pengukuran Total Suspended Solids (TSS) pada beberapa titik pemantauan (Gambar 2.8) menunjukkan variasi konsentrasi yang cukup signifikan. Nilai TSS tertinggi tercatat pada Kolam 4 dengan konsentrasi mencapai 3.619 mg/L, jauh di atas standar kualitas yang hanya sekitar 100 mg/L. Nilai TSS di Kolam 1 juga relatif tinggi (515 mg/L), sementara pada Kolam 2, Kolam 3, dan

Badan air (Outlet) masing-masing menunjukkan nilai 127 mg/L, 101 mg/L, dan 139 mg/L. Adapun pada Sumur Pantau, nilai TSS hanya sebesar 14 mg/L, yang menunjukkan bahwa air tanah atau titik tersebut relatif bersih dari padatan tersuspensi.

Konsentrasi TSS yang sangat tinggi pada Kolam 4 menunjukkan adanya akumulasi padatan tersuspensi yang signifikan, hal ini dikarenakan adanya aktivitas penimbunan di area sekitar kolam 4. Selain itu dimungkinkan karena adanya partikel organik, anorganik, maupun material hasil aktivitas biologi seperti alga. Fenomena ini umumnya terjadi akibat overloading, penumpukan sedimen dasar (sludge accumulation), atau waktu tinggal hidrolis (Hydraulic Retention Time/HRT) yang terlalu pendek, sehingga proses pengendapan (settling) tidak berjalan optimal. Menurut Nwankwo et al. (2019), efisiensi penghilangan TSS dalam kolam stabilisasi limbah sangat bergantung pada waktu tinggal dan karakteristik beban masuk. Dalam sistem yang terdesain dengan baik, penghilangan TSS dapat mencapai hingga 97%, tetapi beban yang terlalu tinggi dapat menyebabkan resuspensi sedimen dan meningkatnya nilai TSS pada kolam tahap akhir

Nilai TSS yang tinggi juga dapat berdampak serius terhadap proses biologis di dalam kolam dan kualitas air penerima. Padatan tersuspensi yang berlebihan menghalangi penetrasi cahaya ke dalam air, sehingga mengganggu aktivitas fotosintesis alga dan mengurangi kadar oksigen terlarut (DO). Kondisi ini dapat memperlambat proses degradasi bahan organik dan menyebabkan sistem menjadi lebih anaerob. Rono (2017) menjelaskan bahwa efluen dengan TSS tinggi yang masuk ke badan air dapat meningkatkan kekeruhan, mengurangi penetrasi cahaya, dan memperburuk kondisi oksigen, sehingga menimbulkan gangguan bagi biota perairan.

Secara keseluruhan, hasil grafik menunjukkan bahwa meskipun terdapat titik-titik yang menunjukkan kinerja pengolahan cukup baik (misalnya Kolam 2 dan 3), masih terdapat titik kritis seperti Kolam 4 dan saluran outlet yang berpotensi menyebabkan pencemaran akibat tingginya padatan tersuspensi. Oleh karena itu, sistem kolam perlu ditingkatkan baik dari segi desain maupun operasi untuk memastikan penurunan TSS yang lebih konsisten dan memenuhi standar kualitas lingkungan.



Gambar 2.8 Nilai TSS Pada Setiap Titik Pantau

2.4.1.5 N total

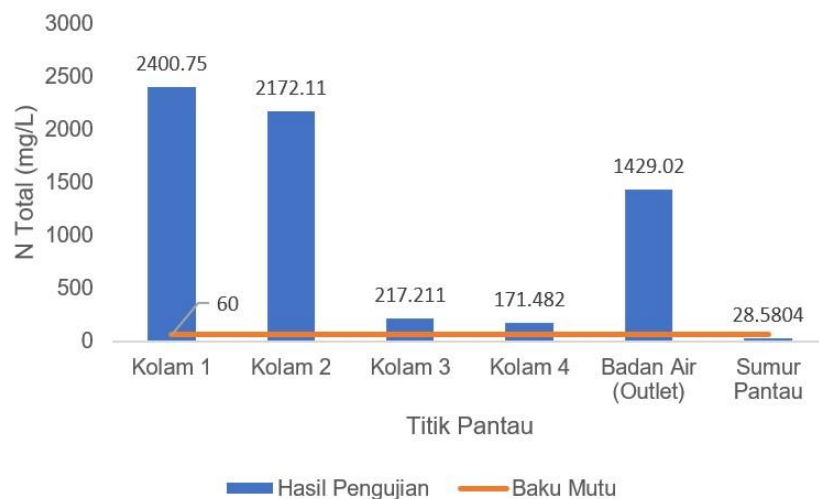
Hasil pengukuran Nitrogen Total (N Total) di beberapa titik monitoring (Gambar 2.9) menunjukkan bahwa konsentrasi nitrogen sangat tinggi pada tahap awal pengolahan (Kolam 1 dan Kolam 2) dengan nilai masing-masing sekitar

2.400,75 mg/L dan 2.172,11 mg/L, kemudian menurun secara signifikan pada Kolam 3 dan Kolam 4 (217,21 mg/L dan 171,48 mg/L), namun kembali meningkat pada saluran outlet (sekitar 1.429,02 mg/L). Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat penurunan konsentrasi nitrogen selama proses pengolahan, beban nitrogen yang sangat besar di awal serta peningkatan kembali di outlet menunjukkan sistem belum mampu mengolah nitrogen secara efektif sehingga masih ada risiko pencemaran nutrisi pada badan air penerima.

Nitrogen dalam limbah biasanya hadir dalam bentuk nitrogen organik, amonia (NH_4^+), nitrit (NO_2^-), dan nitrat (NO_3^-). Dalam kolam stabilisasi limbah, penghilangan nitrogen terutama terjadi melalui proses nitrifikasi-denitrifikasi, sedimentasi, serta penyerapan oleh mikroorganisme dan alga (Camargo Valero & Mara, 2007). Namun, beban nitrogen yang tinggi dapat membatasi efektivitas proses tersebut, terutama jika waktu tinggal hidrolis (Hydraulic Retention Time/HRT) di kolam kurang optimal atau jika terdapat akumulasi sedimen yang menghambat proses biologis (Babu, 2011).

Penurunan nilai N Total di Kolam 3 dan Kolam 4 mengindikasikan terjadinya proses pengurangan nitrogen, namun masih terdapat konsentrasi tinggi di saluran outlet yang berpotensi menyebabkan eutrofikasi pada badan air penerima. Eutrofikasi dapat menyebabkan pertumbuhan alga berlebih yang menurunkan kadar oksigen terlarut (DO) dan akhirnya mengganggu ekosistem akuatik (Muslim, 2004). Oleh karena itu, sistem kolam perlu dirancang dan dioperasikan agar dapat mengurangi beban nitrogen secara signifikan sebelum limbah dilepas ke lingkungan.

Dengan demikian, kondisi dalam grafik ini merefleksikan pentingnya optimasi sistem kolam melalui peningkatan waktu tinggal, penambahan tahapan pengolahan (misalnya kolam polesan atau biofilter), dan pengendalian beban masuk agar konsentrasi nitrogen total dapat ditekan ke bawah standar lingkungan. Langkah ini esensial untuk mencegah pencemaran nutrisi yang berpotensi menurunkan kualitas air dan membahayakan ekosistem perairan di sekitar area pembuangan limbah.



Gambar 2.9 Kadar N Total Pada Setiap Titik Pantau

2.4.1.6 Merkuri (Hg)

Logam berat dapat menyebabkan masalah serius karena bersifat toksik dan berdampak negatif pada lingkungan (Fahrudin et al., 2021). Merkuri (Hg) merupakan salah satu logam berat yang berbahaya dan sering ditemukan dalam air lindi. Keberadaan merkuri dalam air lindi menjadi perhatian serius karena sifatnya yang toksik dan dapat mencemari lingkungan serta membahayakan kesehatan manusia. Sumber utama pencemaran merkuri berasal dari limbah

elektronik seperti baterai, lampu fluoresen, dan peralatan listrik yang dibuang ke TPA, serta dari proses dekomposisi bahan organik. Kabupaten Sidenreng Rappang sendiri telah memiliki Peraturan Daerah Nomor 7 Tahun 2016 tentang Pengelolaan Sampah dimana sampah yang diperbolehkan masuk ke TPA hanya sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi total merkuri (Hg) pada seluruh titik pemantauan Kolam 1, Kolam 2, Kolam 3, Kolam 4, Badan air (Outlet), dan Sumur pantau berada pada kisaran 0,0003 mg/L, jauh di bawah batas standar kualitas air sebesar 0,005 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi perairan di lokasi penelitian masih berada dalam batas aman untuk aktivitas akuakultur dan lingkungan perairan sekitar.

Konsentrasi merkuri yang rendah menunjukkan bahwa sumber pencemar merkuri dari luar (seperti limbah industri atau baterai) sangat minimal, atau bahwa sistem kolam memiliki kemampuan alami dalam menurunkan kadar merkuri melalui proses adsorpsi ke sedimen dan bioakumulasi oleh mikroorganisme serta tumbuhan air (Zhang et al., 2012). Dalam sistem perairan, merkuri yang terlarut biasanya akan berinteraksi dengan bahan organik dan partikel sedimen, membentuk kompleks yang relatif stabil dan tidak mudah tersuspensi kembali ke kolom air (Boening, 2000).

Meski demikian, penting dipahami bahwa bentuk merkuri di lingkungan tidak hanya berupa merkuri anorganik (Hg^{2+}), tetapi juga metilmerkuri (MeHg), yang merupakan hasil metilasi oleh mikroorganisme anaerobik di sedimen (Ullrich et al., 2001). Senyawa MeHg bersifat lebih toksik dan memiliki kemampuan tinggi untuk terakumulasi dan termagnifikasi dalam rantai makanan. Oleh karena itu, meskipun kadar merkuri total di air rendah ($\sim 0,0003$ mg/L), kemungkinan bioakumulasi merkuri di biota akuatik masih perlu diperhatikan (Li et al., 2010).

Oleh karena itu, meskipun kadar merkuri di TPA Patommo tergolong rendah, pengelolaan limbah berbahaya dan kebijakan pengurangan sumber pencemar tetap perlu diperkuat untuk mencegah peningkatan kadar merkuri di masa mendatang.



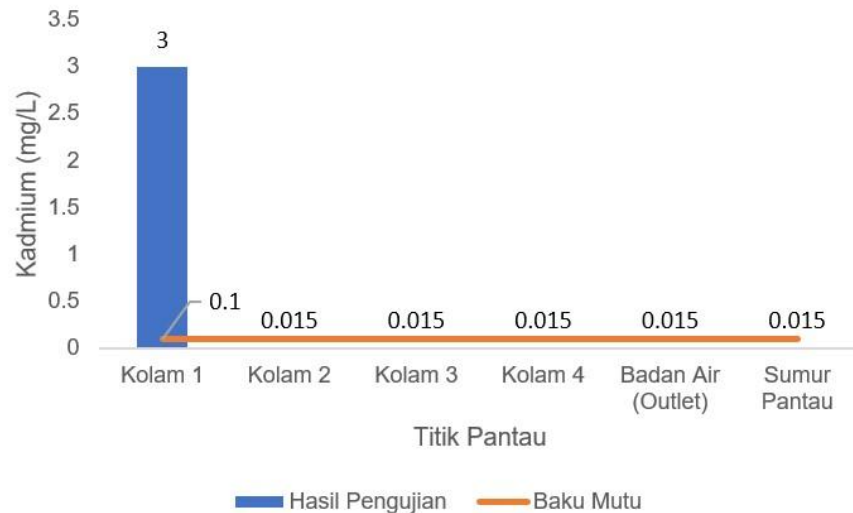
Gambar 2.10 Kadar Hg Pada Setiap Titik Pantau

2.4.1.7 Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) adalah salah satu logam berat yang sering ditemukan dalam air lindi yang berasal dari tempat pembuangan akhir (TPA) sampah. Air lindi, cairan yang dihasilkan dari proses pembusukan sampah, dapat mengandung berbagai senyawa berbahaya, termasuk logam berat seperti kadmium, yang dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia. Kadmium dapat ditemukan dalam berbagai jenis sampah, termasuk baterai, pigmen, dan

beberapa jenis plastik. Kadar Cd (Kadmium) dalam air lindi yang melebihi baku mutu menunjukkan adanya potensi pencemaran lingkungan

Hasil analisis (Gambar 2.11) menunjukkan bahwa kadar kadmium (Cd) pada titik pemantauan Kolam 1 mencapai sekitar 3 mg/L, jauh melebihi baku mutu kualitas air sebesar 0,015 mg/L. Sementara itu, titik pemantauan lainnya Kolam 2, Kolam 3, Kolam 4, Badan air (*Outlet*), dan sumur pantau menunjukkan kadar Cd berkisar antara 0,015 mg/L yang memenuhi batas ambang yang dizinkan. Kandungan Cd yang tinggi umumnya berasal dari limbah industri, pelapukan baterai dan logam, atau pelindian (*leaching*) dari material padat di tempat pembuangan akhir (TPA) dan dapat menunjukkan bahwa proses pengelolaan lindi belum berjalan optimal (Hameed et al., 2023).



Gambar 2.11 Kadar Cd Pada Setiap Titik Pantau

Secara kimia dan ekotoksikologi, kadmium merupakan logam berat beracun yang tidak dapat terdegradasi secara alami serta mudah larut pada kondisi asam. Cd dapat dengan cepat berpindah dari tanah ke air, kemudian teradsorpsi pada partikel tersuspensi atau sedimen, dan selanjutnya terakumulasi di jaringan organisme akuatik (El-Saadani et al., 2022). Akumulasi kadmium dalam jangka panjang dapat menimbulkan dampak toksik seperti gangguan fungsi hati, ginjal, sistem saraf, serta menurunkan tingkat pertumbuhan dan reproduksi organisme air. Konsentrasi tinggi Cd di Kolam 1 (3 mg/L) dengan demikian berpotensi memberikan dampak ekologis serius, terutama jika air tersebut berinteraksi dengan sistem perairan lain atau meresap ke air tanah.

Berbeda dengan Kolam 1, kadar Cd di Kolam 2 hingga Kolam 4, serta pada saluran keluaran (*Outlet*) dan sumur pantau, yang berada di bawah baku mutu, menunjukkan bahwa pencemaran belum menyebar luas dan adanya proses alami yang dapat menurunkan kadar Cd di air. Proses tersebut dapat berupa pengenceran (*dilution*), pengendapan ke sedimen, atau penyerapan oleh mikroorganisme dan bahan organik di kolam. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem pergerakan air lindi atau kondisi hidrogeologinya mungkin membatasi penyebaran kontaminan ke area lain.

Meskipun demikian, kadar Cd yang sangat tinggi di Kolam 1 tetap menjadi indikator adanya *pollution hotspot* yang perlu segera ditangani. Jika tidak dikelola dengan baik, Cd dapat bermigrasi ke area lain atau terakumulasi di sedimen dan organisme, yang pada akhirnya dapat mengancam keamanan ekosistem dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, diperlukan tindakan mitigasi seperti peningkatan efisiensi sistem pengolahan air lindi melalui proses adsorpsi menggunakan karbon aktif atau zeolit, presipitasi kimia, serta pemantauan rutin terhadap kualitas air, sedimen, dan biota akuatik (U.S. EPA, 2016; Santha et al., 2025).

2.4.2 Desain Instalasi Pengolahan Air Lindi



Gambar 2.12 Pengukuran Dimensi Instalasi Pengolahan Air Lindi Patommo

Pengukuran volume tampungan kolam dilakukan dengan mengukur luas bawah kolam menggunakan data sekunder Dinas Lingkungan Hidup Kab. Sidenreng Rappang, sedangkan luas bawah kolam, dan tinggi kolam menggunakan data primer dengan pengukuran secara langsung dilapangan. Volume kolam Instalasi Pengolahan air lindi dapat dilihat pada **Tabel 2.6**. Saat ini IPL TPA Patommo dapat menampung 4.332,136 m³ air lindi.

Tabel 2.6 Dimensi Instalasi Pengolahan Air Lindi TPA Patommo

Kolam	A atas (m ²)	A Bawah (m ²)	A Total (m ²)	H (m)	V (m ³)
Kolam 1	316,13	261	288,565	3,2	923,408
Kolam 2	316,13	261	288,565	3,2	923,408
Kolam 3	534,64	440,64	486,64	3	1462,92
Kolam 4	369,6	312	340,8	3	1022,4
		Total			4.332,136

Dalam pengolahan lindi yang dianjurkan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 3 Tahun 2013 terdapat 4 alternatif teknologi yaitu 1. Kolam Anaerobik, Fakultatif, Maturasi dan Biofilter, 2. Kolam Anaerobik, Fakultatif. Maturasi dan Landtreatment/Wetland, 3. Anaerobic Baffled Reactor (ABR) dengan Aerated Lagoon, 4. Proses Koagulasi Flokulasi, Sedimentasi, Kolam Anaerobik atau ABR. Sedangkan Instalasi Pengolahan Air Lindi di TPA Patommo terdiri dari 4 (empat) kompartmen kolam. Keempat kolam instalasi pengolahan air lindi kesemuanya hanya berupa kolam sedimentasi. Adapun perbandingan desain eksisting kolam dengan kriteria desain kolam sedimentasi dapat dilihat pada Tabel 2.7, Tabel 2.8, Tabel 2.9 dan Tabel 2.10.

Tabel 2.7 Perbandingan Desain Eksisting Kolam 1 dengan Kriteria Desain Kolam Sedimentasi

No	Parameter	Satuan	Desain Eksisting	Kriteria Design	Sumber	Keterangan
1	Lapisan Dasar Kolam		Terpal HDPE Geomembran	Kedap Air	Permen PU 3/2013	Memenuhi
2	Kedalaman	M	3,2	3-5	Permen PU 3/2013	Memenuhi
3	Waktu Detensi	Hari	0,09	0,06-0,13	Permen PU 3/2013	Memenuhi
		Jam	2,15	1,5-3	Permen PU 3/2013	Memenuhi
4	Beban Hidrolik	m ³ /m ² hari	11,68	8-16	Permen PU 3/2013	Memenuhi

Tabel 2.8 Perbandingan Desain Eksisting Kolam 2 dengan Kriteria Desain Kolam Sedimentasi

No	Parameter	Satuan	Desain Eksisting	Kriteria Design	Sumber	Keterangan
1	Lapisan Dasar Kolam		Terpap HDPE Geomembran	Kedap Air	Permen PU 3/2013	Memenuhi
2	Kedalaman	M	3,2	3-5	Permen PU 3/2013	Memenuhi
3	Waktu Detensi	Hari	0,09	0,06-0,13	Permen PU 3/2013	Memenuhi
		Jam	2,15	1,5-3	Permen PU 3/2013	Memenuhi
4	Beban Hidrolik	m ³ /m ² hari	11,68	8-16	Permen PU 3/2013	Memenuhi

Tabel 2.9 Perbandingan Desain Eksisting Kolam 3 dengan Kriteria Desain Kolam Sedimentasi

No	Parameter	Satuan	Desain Eksisting	Kriteria Design	Sumber	Keterangan
1	Lapisan Dasar Kolam		Terpap HDPE Geomembran	Kedap Air	Permen PU 3/2013	Memenuhi
2	Kedalaman	M	3	3-5	Permen PU 3/2013	Memenuhi
3	Waktu Detensi	Hari	0,096	0,06-0,13	Permen PU 3/2013	Memenuhi
		Jam	2,31	1,5-3	Permen PU 3/2013	Memenuhi
4	Beban Hidrolik	m ³ /m ² hari	6,92	8-16	Permen PU 3/2013	Tidak Memenuhi

Tabel 2.10 Perbandingan Desain Eksisting Kolam 4 dengan Kriteria Desain Kolam Sedimentasi

No	Parameter	Satuan	Desain Eksisting	Kriteria Design	Sumber	Keterangan
1	Lapisan Dasar Kolam		Terpap HDPE Geomembran	Kedap Air	Permen PU 3/2013	Memenuhi
2	Kedalaman	M	3	3-5	Permen PU 3/2013	Memenuhi
3	Waktu Detensi	Hari	0,08	0,06-0,13	Permen PU 3/2013	Memenuhi
		Jam	1,94	1,5-3	Permen PU 3/2013	Memenuhi
4	Beban Hidrolik	m ³ /m ² hari	9,89	8-16	Permen PU 3/2013	Memenuhi

Berdasarkan ketiga tabel perbandingan desain eksisting kolam (Kolam 1, Kolam 2, dan Kolam 4) dengan kriteria desain kolam sedimentasi, seluruh parameter utama meliputi lapisan dasar kolam, kedalaman, waktu detensi, serta beban hidrolik menunjukkan bahwa kondisi eksisting telah memenuhi standar yang ditetapkan dalam Menteri Pekerjaan Umum No. 3/2013. Lapisan dasar pada setiap kolam telah menggunakan geomembran HDPE yang bersifat kedap air, sesuai dengan ketentuan "waterproof". Kedalaman kolam berada dalam rentang 3–5 meter, sementara waktu detensi harian dan per jam juga berada dalam batas yang direkomendasikan untuk memastikan efektivitas pengendapan. Selain itu, nilai beban hidrolik pada semua kolam termasuk dalam kisaran yang diizinkan (8–16 m³/m²/hari), yang mengindikasikan bahwa kapasitas aliran masih sesuai dengan kebutuhan proses sedimentasi. Secara keseluruhan, desain eksisting pada ketiga kolam sudah sesuai dengan kriteria desain, sehingga dinyatakan "memenuhi" seluruh persyaratan teknis yang diperlukan.

Untuk Kolam 3, seluruh parameter utama seperti lapisan dasar kolam, kedalaman, dan waktu detensi telah memenuhi kriteria desain. Lapisan dasar kolam menggunakan HDPE geomembrane yang bersifat kedap air (waterproof) sesuai standar teknis. Kedalaman kolam sebesar 3 meter juga berada dalam rentang kriteria 3–5 meter. Waktu detensi sebesar 0,096 hari (sekitar 2,31 jam) termasuk dalam kisaran waktu yang direkomendasikan, yaitu 0,06–0,13 hari atau 1,5–3 jam, yang menunjukkan bahwa kemampuan kolam dalam menahan aliran untuk proses pengendapan sedimen sudah memadai. Namun, parameter beban hidraulik Kolam 3 sebesar 6,92 m³/m²/hari belum memenuhi kriteria desain yang disyaratkan, yaitu 8–16 m³/m²/hari. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas aliran masuk terhadap luas permukaan kolam masih relatif rendah, sehingga efisiensi sedimentasi dapat berkurang.

2.4.3 Kuantitas Air Lindi

2.4.3.1 Analisis Hidrologi

Analisis curah hujan ini perlu dilakukan untuk evaluasi kemampuan instalasi pengolahan lindi dalam menampung air lindi TPA Patommo sebelum masuk ke badan air. Analisis hidrologi berkaitan dengan besarnya intensitas hujan yang terjadi secara terus menerus pada lokasi penelitian, curah hujan rancangan dan debit air limpasan maksimum. Analisis hidrologi pada penelitian ini menggunakan data curah hujan dari BMKG selama 10 tahun.

Data curah hujan yang tersedia dari data sekunder dilakukan perhitungan terlebih dahulu untuk mendapatkan besaran curah hujan rencana, intensitas curah hujan, dan debit air lindi. Data curah hujan yang digunakan untuk menentukan curah hujan rencana yaitu tahun 2003 – 2012. Untuk detail informasi curah hujan per tahun dan detail perhitungan ditampilkan pada **Lampiran D**, sedangkan rekapitulasi hasil perhitungan ditampilkan dalam **Tabel 2.11**

Tabel 2.11 Curah Hujan Harian Rerata Tahun 2003-2012

Tahun	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
CH (Rerata)	159	157	253	151	219	225	236	348	251	294

Data curah hujan rerata yang ada digunakan untuk menentukan curah hujan rencana. Curah hujan rencana ditentukan dengan menggunakan metode log person tipe III dengan pertimbangan bahwa metode ini dinilai lebih fleksibel dan cocok untuk data yang curah hujan yang didapatkan, menurut uji kesesuaian distribusi pun, metode distribusi log pearson III cocok digunakan untuk analisis frekuensi data hujan yang didapatkan (lihat **Lampiran E**). Distribusi log Pearson tipe III banyak digunakan dalam analisis hidrologi terutama dalam analisis data dengan nilai ekstrim. Bentuk distribusi log Pearson tipe III merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson tipe III dengan menggantikan variat menjadi nilai logaritmatik.

Besaran curah hujan rencana yang digunakan yakni curah hujan rencana dengan periode ulang 10 tahun yaitu sebesar 321.13 mm/hari. Pemilihan periode ulang hujan 10 tahun diambil untuk penelitian karena meninjau data curah hujan yang diambil berdasarkan rerata curah hujan. Tabel curah hujan rencana berdasarkan periode ulang dengan distribusi Pearson tipe III, dapat dilihat pada **Tabel 2.12**.

Tabel 2.12 Curah Hujan Rencana

Periode Ulang (Tahun)	Curah Hujan Rencana (mm)
2	214.24
5	275.73
10	321.13
20	383.98
50	434.93
100	489.56

Besarnya intensitas curah hujan sebesar mm/jam dengan metode Mononobe. Intensitas curah hujan yang digunakan untuk menghitung debit air lindi yaitu intensitas hujan dengan periode ulang 10 tahun dan lama hujan 24 jam yaitu sebesar 4.014 mm/jam. Pengambilan lama hujan 24 jam didasarkan oleh pengambilan waktu hujan maksimum yaitu selama 24 jam. Hasil analisis intensitas curah hujan dapat dilihat pada **Tabel 2.13**.

Tabel 2.13 Intensitas Curah Hujan dengan Periode Ulang

Lama hujan (t) (jam)	Intensitas Curah Hujan (mm/jam) dengan Periode Ulang (Tr)				
	2	5	10	20	50
1	22.282	28.677	33.399	39.936	45.235
6	6.748	8.685	10.115	12.095	13.699
12	4.251	5.471	6.372	7.619	8.630
18	3.244	4.175	4.863	5.815	6.586
24	2.678	3.447	4.014	4.800	5.437

2.4.3.2 Debit Air Lindi

Debit air lindi adalah volume air lindi (m^3) yang dihasilkan atau dialirkan dari sebuah landfill/TPA. Pengukurannya penting untuk desain dan pengoperasian sistem pengolahan air lindi yang efektif. Debit air lindi sangat dipengaruhi oleh curah hujan sebagai sumber utama debit air lindi. Curah hujan akan menjadi limpasan ketika melebihi laju infiltrasi kedalam tanah sehingga air hujan ketika telah menyentuh tanah akan menjadi limpasan menuju ketempat yang lebih rendah dengan membawa material menuju instalasi pengolahan air lindi melalui pipa pengaliran air lindi.

Tata guna lahan sangat memberikan dampak terhadap debit air lindi yang dihasilkan. Tempat pemrosesan akhir sampah dianggap sebagai kawasan terganggu (*Disturb Area*), sehingga memiliki nilai koefisien limpasan (C) sebesar 0,7 (**Lampiran G**) dengan periode ulang 10 tahun. Luas TPA Patommo yang berdiri sejak tahun 2010 ini yaitu 5 Ha. Sehingga menghasilkan debit air lindi 3.374,56 m^3 (**Tabel 2.14**)

Tabel 2.14 Debit Air Lindi

T	Koefisien Konversi	C	I (mm/Jam)	A (km/2)	Q (m^3 /Jam)	Q (m^3)	
10	0,278	0,7	4.014	1207	0,05	0,039	3.374,56

2.5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi instalasi pengolahan air lindi tempat pemrosesan akhir (TPA) sampah Patommo Kabupaten Sidenreng Rappang menunjukkan bahwa kualitas lindi menunjukkan penurunan signifikan dalam konsentrasi polutan dari Kolam 1 hingga Kolam 4, memenuhi sebagian besar standar sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59/2016. Namun, beberapa masalah masih ada: TSS meningkat di Kolam 4 akibat masuknya lumpur dan tanah, Total N di semua kolam masih di atas standar kualitas, dan BOD dan COD di outlet melebihi standar akibat kerusakan pipa drainase, menyebabkan leachate mengalir langsung ke saluran tanpa pengolahan. Desain existing sistem pengolahan lindi TPA Patommo berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 3 Tahun 2013 untuk kolam pengendapan gravitasi, yaitu lapisan dasar kolam, kedalaman, dan waktu penahanan, telah memenuhi kriteria desain, namun beban hidraulik pada Kolam 4 tidak memenuhi kriteria desain. Volume penyimpanan Instalasi Pengolahan Lindi TPA Patommo saat ini sebesar 4.332,136 m^3 lindi dan masih mampu menampung aliran lindi yang masuk ke LTP sebesar 3.374,56 m^3 .

2.6 Daftar Pustaka

- Afiah, N., Fahrudin, F., & Samawi, M. F. (2025). Utilizing activated sludge substrates the conduit tofu and slaughterhouse industries to treatment greywater. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 26(7), 392–402. <https://doi.org/10.12912/27197050/205572>.
- Agung Bimantara. 2018. Perencanaan Kolam Pengendapan Di Area Penambangan Batubara PT. Mifa Bersaudara, Muerebo, Aceh Barat. Yogyakarta; Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknologi Mineral UPN veteran Yogyakarta.
- Almeida, R. de, Porto, R. F., Quintaes, B. R., Bila, D. M., Lavagnolo, M. C., & Campos, J. C. (2023). A review on membrane concentrate management from landfill leachate treatment plants: The relevance of resource recovery to close the leachate treatment loop. *Waste Management & Research*, 41(2), 264–284.
- Armanda, Lutfhia. 2015. Evaluasi Pengelolaan Run Off Air Tambang Di Pit B, Pt. Mifa Bersaudara. Institut Teknologi: Bandung.
- Astarini Asih., dkk. 2022. Studi Perbandingan Metode Penentuan Intensitas Curah Hujan Berdasarkan Karakteristik Curah Hujan Kalimantan Barat. Universitas Tanjungpura. *Jurnal PRISMA FISIKA*, Vol. 10, No.1, Hal 1-7. ISSN 2337-8204.
- Babu, M. (2011). Effect of algal biofilm and operational conditions on nitrogen removal in wastewater stabilization ponds. PhD Thesis, Wageningen University. <https://doi.org/10.18174/160658>
- Basuki, Winaesih.I, Adhyani N.L. (2009). Analisis Periode Ulang Hujan Maksimum Dengan Berbagai Metode. *J.Agromet* 23 (2):76-92.
- Chapman, D. (2000). *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring* (2nd ed.). UNESCO/WHO/UNEP.
- Boeing, D. W. (2000). *Ecological effects, transport, and fate of mercury: A general review*. *Chemosphere*, 40(12), 1335–1351. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(99\)00283-0](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00283-0)
- Camargo Valero, M. A., & Mara, D. D. (2007). Further contributions to the understanding of nitrogen removal in waste stabilisation ponds. *Water Science & Technology*, 55(11), 87-92. <https://doi.org/10.2166/wst.2007.349>
- Desye, B., Belete, B., Amare Alemseged, E., Angaw, Y., & Asfaw Gebrezgi, Z. (2022). *Evaluation of waste stabilization pond efficiency and its effluent water quality: A case study of Kito Furdisa Campus, Jimma University, Southwest Ethiopia*. *The Scientific World Journal*, 2022, Article ID 2800034. <https://doi.org/10.1155/2022/2800034>
- Dewa C., Susnawati L.D., dan Widiatmono B.R. 2015. Daya Tampung Sungai Gede Akibat Pencemaran Limbah Cair Industri Tepung Singkong di Kecamatan Ngadiluwih Kabupaten Kediri. Fakultas teknologi Pertanian. Universitas Brawijaya. *Jurnal Sumber Daya alam dan Lingkungan*.
- Dey, S., Uddin, M. S., & Manchur, M. A. (2017). *Physicochemical and Bacteriological Assessment of Surface Water Quality of the Karnaphuli River in Bangladesh*. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 11(4), 1721-1728. <https://doi.org/10.22207/JPAM.11.4.10>
- Dias, S., & von Sperling, M. (2011). Performance of a series of polishing ponds in the treatment of sanitary sewage. *Environmental Technology*, 32(13-14), 1643-1652. <https://doi.org/10.1080/09593330.2011.578445>
- Elmaghnougi, I., Tribak, A. A., & Maatouk, M. (2022). *Leachate Monitoring and an Assessment of Groundwater Pollution from the Tangier Landfill*. *Geomatics and Environmental Engineering*, 16(3), 111–130.

<https://doi.org/10.7494/geom.2022.16.3.111>

- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumber Daya Dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta: Kanisius.
- Fahrudin, F., Samawi, M. F., Tuwo, M., & Tanjung, R. E. (2021). The effect of heavy metal lead (Pb) on the growth of ammonia-degrading bacteria and physical changes of *Eichhornia crassipes* in groundwater phytoremediation. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 11(3) 1122–1128. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.11.3.12588>
- Hadiwidodo M., Oktiawan W., Primadani A.R., Parasmitha B.N., dan Gunawan i. 2012. Pengolahan Air Lindi Dengan Proses Kombinasi Biofilter Anaerob Aerob Dan Wetland. Fakultas Teknik UNDIP. Jurnal PRESIPITASI Vol. 9 No.2. ISSN 1907-187X.
- Hameed, F., et al. (2023). Hazardous Effects of Cadmium Contaminated Water on Biological Characteristics of Fish: A Review. *Rhazes: Green and Applied Chemistry*. <https://revues.imist.ma/index.php/RHAZES/article/view/17566>
- Hasan, B. M. R., Islam, M. S., Kundu, P., & Mallick, U. K. (2023). Modeling the Effects of Algal Bloom on Dissolved Oxygen in Eutrophic Water Bodies. *Journal of Mathematics*, 2023, Article ID 2335570. <https://doi.org/10.1155/2023/2335570>
- He, P.-J., Shao, L.-M., Qu, X., Li, G.-J., & Lee, D.-J. (2005). Effects of feed solutions on refuse hydrolysis and landfill leachate characteristics. *Chemosphere*, 59(6), 837-844. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.061>
- Jamshidi, S., & Badalians Gholikandi, G. (2014). An assessment of using anaerobic baffled reactor to upgrade wastewater stabilization ponds: A pilot study. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 9(4), 597–607. <https://doi.org/10.2495/SDP-V9-N4-597-607>
- Jiann, K.-T., Wen, L.-S., & Santschi, P. H. (2016). Clean sampling and analysis of river and estuarine waters for trace metal studies. *Journal of Visualized Experiments*. <https://doi.org/10.3791/54073>
- Kurniasih, R., Wulandari, D., & Hadiyanto, H. (2020). Pengaruh Waktu Retensi terhadap Efisiensi Pengolahan Lindi dengan Sistem Anaerobik. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 26(1), 45-52. <https://doi.org/10.xxxx/jtl.v26i1.xxxx>
- Lee, A. H., Nikraz, H., & Hung, Y. T. (2010). Influence of waste age on landfill leachate quality. *International Journal of Environmental Science and Development*, 1(4), 347-350. <https://doi.org/10.7763/IJESD.2010.V1.68>
- Li, P., Feng, X., Qiu, G., et al. (2010). Mercury pollution in aquatic environments of the Pearl River Delta, China. *Environmental Pollution*, 158(10), 3116–3123. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.06.018>
- Mahardika. 2010. Mendeteksi Dampak Polutan Sampah Terhadap Air Tanah Permukiman Sekitar TPA dengan Menggunakan Metode Geolistrik. *Jurnal Geosaintek*. 3(2) : 99-104.
- Naveen, B. P., Sivapullaiah, P. V., & Sitharam, T. G. (2016). Effect of aging on the leachate characteristics from municipal solid waste landfill. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 2(56), 1940-1945. <https://doi.org/10.3208/jgssp.IND-06>
- Noerfitriyani, E., Hartono, D. M., Mursidik, S., & Danumihardja, I. G. (2021). *Leachate characterization and performance evaluation of leachate treatment plant in Cipayung landfill, Indonesia*. Universitas Indonesia. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/106/1/012086>
- Nwankwo, I. H., Nwaiwu, N. E., & Nwabanne, J. T. (2019). The dynamics of solids removal

in waste stabilization ponds. *Journal of Engineering Research and Reports*, 7(4), 1–10. <https://doi.org/10.9734/jerr/2019/v7i416976>

- Parvin, F., & Tareq, S. M. (2021). Impact of landfill leachate contamination on surface and groundwater of Bangladesh: A systematic review and possible public health risks assessment. *Applied Water Science*, 11, 100. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01431-3>
- Phoummixay, S., Vandeexiong, T., Vilaychaleun, S., & Sihalath, T. (2023). Waste stabilization pond design for wastewater treatment at Huakhua Village, Xaysettha District, Vientiane Capital. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 3(1), 3841. <https://doi.org/10.58471/esaprom.v3i01.3841>
- Priambodho K. 2005. Kualitas Air pada Tempat Pembuangan Akhir Sampah Galuga Kabupaten Bogor. IPB: Bogor
- Priambodho, D. 2005. "Pengaruh Umur Timbunan Sampah terhadap Karakteristik Air Lindi." *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 6(1), 22–30.
- Rahmawati A, Azizah R. 2005. Perbedaan kadar BOD, COD, TSS, dan MPN Coliform pada air limbah sebelum dan sesudah pengolahan di RSUD Nganjuk. *Jurnal Kesehatan LInkungan* 2 (1): 97-110.
- Raj, D., & Maiti, S. K. (2019). Sources, toxicity, and remediation of mercury: An essence review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(9), 566. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7743-2>
- Rono, A. K. (2017). Evaluation of TSS, BOD₅, and TP in sewage effluent receiving Sambul River. *Journal of Pollution Effects & Control*, 5(2), 189. <https://doi.org/10.4176/2375-4397.1000189>
- Sari R N., Afdal. 2017. Karakteristik Air Lindi (*Leachate*) di Tempat Pembunagan Akhir Sampah Air Dingin Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand Vol 6*, No. 1. ISSN 2302-8491
- Silitonga, Nurfalah. 2021. Analisis Temporal Total Suspended Solid (TSS) Terhadap Perubahan Luas Mangrove Di Pesisir Jabon, Sidoarjo Menggunakan Machine Learning Google Earth Engine. Program Studi Ilmu Kelautan Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan Dan Kelautan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya Malang.
- Soewarno. 2014. Aplikasi metode Statistika Untuk Analisis Data Hidrologi. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Ullrich, S. M., Tanton, T. W., & Abdrashitova, S. A. (2001). Mercury in the aquatic environment: A review of factors affecting methylation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 31(3), 241–293. <https://doi.org/10.1080/20016491089226>
- Widyawati., Yuniarti D., dan Goejantoro R. 2020. Analisis Distribusi Frekuensi dan Periode Ulang hujan (Studi Kasus: Curah Hujan Kecamatan Long Iram Kabupaten Kutai Barat Tahun 2013 – 2017). Universitas Mulawarman. *Jurnal EKSPONENSIAL* Volume 11, Nomor 1, Mei 2020. ISSN 2085-7829.
- Zhang, H., Feng, X., Larssen, T., Qiu, G., & Vogt, R. D. (2012). Inland fish and mercury pollution in China. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31(6), 1172–1182. <https://doi.org/10.1002/etc.1820>
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia No 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah.
- Peraturan Menteri PUPR Nomor 03 Tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana

Dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Rumah Tangga.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 12 tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan.

Peraturan Daerah Kabupaten Sidenreng Rappang Nomor 7 Tahun 2016 tentang Pengelolaan Sampah