



ANALISA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) DI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) MANGGAR KOTA BALIKPAPAN

Eko Heryadi, Abdul Rauf, dan Septia Clara Andini

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

* Korespondensi penulis: e.heryadi@ft.unmul.ac.id

ABSTRAK

Salah satu permasalahan di negara Indonesia yaitu masalah pembuangan sampah yang tidak tersistematis pengelolaannya. Meningkatnya jumlah volume sampah akan berbanding sama dengan tingkat konsumsi suatu negara. Materi-materi sebagai pencemar yang dihasilkan di tempat pengolahan akhir harus diolah secara sistematis agar pengolahan sampah dapat seimbang. Jumlah yang terus meningkat ini akan menimbulkan masalah bagi lingkungan jika peningkatan sampah ini tidak diikuti dengan sistem pengelolaan sampah yang baik. Dampak yang ditimbulkan dari peningkatan jumlah sampah ini terhadap lingkungan seperti pencemaran air, pencemaran tanah, dan pencemaran udara. Penelitian ini bertujuan untuk monitoring dan evaluasi kinerja sistem pengolahan limbah cair (IPAL) TPA Manggar Kota Balikpapan serta memberikan rekomendasi strategis untuk peningkatan efektivitas pengolahannya. Berdasarkan perhitungan debit lindi IPAL pada inlet yaitu sebesar 3015,9 m³/hari. Hasil uji kualitas lindi di laboratorium untuk parameter BOD, COD dan TSS masing-masing dengan nilai BOD sebesar 139,45 mg/L, parameter COD sebesar 613,5 mg/L, dan parameter TSS sebesar 313,51 mg/L yang sesuai dengan baku mutu. Untuk meningkatkan efisiensi kinerja IPAL TPA Manggar Balikpapan perlu dilakukan perancangan ulang digesting eksisting bak ekualisasi, bak pengendapan, bak aerasi dan bak stabilisasi agar hasil pengolahan dapat optimal.

Kata Kunci: BOD, COD, Lindi, TSS, TPA Manggar Balikpapan.

1. Pendahuluan

Meningkatnya angka penduduk dan kemajuan tingkat perekonomian di suatu kota secara signifikan akan mempengaruhi pada angka peningkatan sampah di kota tersebut. Meningkatnya jumlah sampah akan menimbulkan permasalahan bagi lingkungan jika tidak diikuti dengan adanya sistem pengolahan sampah yang baik. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) merupakan salah satu metode umum dalam pengelolaan sampah di Indonesia. Adapun tantangan utama yang dihadapi oleh TPA adalah pengolahan limbah cair yang dihasilkan. Limbah cair yang dihasilkan oleh TPA mengandung berbagai bahan kimia dan kontaminan yang dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu, pengolahan limbah cair yang efektif dan berkelanjutan menjadi sangat penting untuk menjaga kelestarian lingkungan.

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada TPA yang secara umum masih belum sistematis dan terolah dengan baik sehingga meningkatkan potensi terjadinya pencemaran air, tanah, dan udara di sekitar TPA. Volume limbah cair yang terus meningkat seiring dengan tingkat konsumsi dan aktivitas manusia menjadi tantangan yang perlu diatasi. Selain itu, implementasi teknologi yang tepat dan pemantauan yang efektif juga menjadi faktor kunci dalam pengelolaan limbah cair di TPA.

Materi yang pada limbah cair di IPAL ialah lindi. Lindi (*leachate*) adalah air limbah yang merupakan air resapan yang melalui limbah TPA, lindi ini dapat melarutkan zat-zat yang ada di dalam tumpukan sampah TPA, sehingga berpotensi mencemari lingkungan. Air lindi biasanya mengandung berbagai senyawa dan zat terlarut, termasuk bahan organik, nutrisi, logam berat, bahan kimia beracun, dan zat-zat lainnya yang ditemukan dalam limbah padat. Kandungan *leachate* dapat bervariasi tergantung pada jenis limbah yang ada di TPA dan tingkat penguraian limbah tersebut. Lindi ini merupakan masalah lingkungan yang signifikan karena dapat mencemari air tanah, air permukaan, atau saluran air di sekitar TPA jika tidak dikelola dengan



baik. Oleh karena itu, TPA yang baik harus memiliki sistem pengelolaan lindi yang efektif. Proses pengelolaan lindi melibatkan pengumpulan, pemantauan, dan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan. Sistem pengumpulan lindi menggunakan sistem drainase atau sumur pengumpulan yang dirancang untuk mengumpulkan air yang meresap dari limbah padat. Kemudian lindi dialirkan ke fasilitas pengolahan IPAL, seperti sistem pengolahan fisik-kimia, proses biologis, atau pengolahan termal, untuk menghilangkan atau mengurangi kontaminan yang terkandung di dalamnya [1]–[3].

Kota Balikpapan merupakan salah satu dari tiga wilayah administratif kota di Provinsi Kalimantan Timur dengan jumlah populasi penduduk sebesar 645.727 jiwa yang merupakan terbesar ketiga setelah Kota Samarinda dan Kabupaten Kutai Kartanegara. Dari segi wilayah, Kota Balikpapan adalah kota dengan luas wilayah terkecil kedua setelah Kota Bontang. Kondisi ini menyebabkan Kota Balikpapan menjadi kota dengan tingkat kepadatan penduduk tertinggi di Kaltim, yaitu 1.260 jiwa/km². Terdapat tiga modal utama yang dimiliki oleh Kota Balikpapan terkait pengelolaan lingkungan, yaitu: (1) Lingkungan yang bersih, (2) Keberadaan Ruang Terbuka Hijau dan Hutan Kota serta (3) Keberadaan fasilitas Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Manggar [4].

Pada IPAL di TPA Manggar Kota Balikpapan terdapat 2 (dua) *plant* pengolahan. IPAL lama dan baru dengan system pengolahan yang berbeda. Pada penelitian ini, terfokus pada IPAL lama yang masih dipergunakan dalam mengolah limbah cair pada TPA. Dari data air lindi yang dihasilkan dari TPA ini yaitu sebesar 200 liter/hari atau 0,04 liter/detik. Adapun pada konsentrasi pengolahan akhir (Outlet) pada parameter BOD, COD dan TSS sebesar 443, 615 dan 115 mg/L, sehingga dapat dilihat pada instalisasi pengolahan IPAL TPA Manggar ini masih belum memenuhi kadar standar baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur No. 02 Tahun 2011 mengenai pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air serta Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir. Penelitian ini bertujuan untuk monitoring dan evaluasi kinerja sistem pengolahan limbah cair (IPAL) dan dapat memberikan rekomendasi strategis untuk peningkatan efektivitas pengolahan di TPA Manggar Kota Balikpapan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini meliputi tinjauan literatur, analisis dan pengolahan data primer dan sekunder pada IPAL TPA Manggar kota Balikpapan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada penelitian ini adalah debit, dimensi eksisting setiap kolam serta komposisi kimia dari lindi yang dihasilkan yaitu parameter BOD, COD, TSS. Adapun pengujian terhadap ketiga parameter tersebut akan dilakukan pada inlet dan outlet pada masing-masing kolam pada IPAL.

Pada penelitian ini, kajian tinjauan literatur akan digunakan untuk memahami perkembangan terkini dalam pengolahan limbah cair pada TPA serta kerangka kerja konseptual yang relevan pada pengolahan IPAL. Analisis data akan dilakukan dengan mengumpulkan dan menganalisis data yang relevan tentang volume lindi, kualitas limbah cair, dan efisiensi sistem pengolahan limbah cair pada TPA Manggar, data yang diambil berupa data laporan TPA Manggar pada kurun waktu tahun 2017 sampai dengan tahun 2020. Efisiensi pengolahan akan dihitung dan dianalisa sesuai dengan baku mutu Permenlhk Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir.

3. Hasil dan Pembahasan

Instalasi Pengolahan Air Limbah di TPA Manggar

Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang terdapat di dalam kompleks TPA Manggar, terdapat sejumlah unit yang terlibat di dalamnya, yaitu kolam stabilisasi, kolam anaerobik, kolam aerobik, kolam maturasi, dan kolam biofilter. Untuk visualisasi tata letak dari semua unit tersebut di dalam IPAL TPA Manggar dapat diamati pada Gambar 1. Adapun detail penjelasan terkait dengan fungsi masing-masing unit IPAL TPA Manggar adalah sebagai berikut:



a. Kolam Stabilisasi

Pada kolam ini terjadi proses stabilisasi air lindi dan pencampuran air lindi yang terdiri dari dua pipa saluran pengumpul lindi serta satu pipa air yang berasal dari bekas pencucian kendaraan operasional TPA Manggar yang juga dialirkan ke kolam ini. Kolam stabilisasi merupakan sebuah kolam buatan yang dirancang khusus untuk memanfaatkan proses alami dengan bantuan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam lindi. Selama proses pengolahan di kolam stabilisasi, mikroorganisme akan mengonsumsi bahan organik dalam limbah cair sebagai sumber energi dan nutrisi, menghasilkan produk akhir yang lebih stabil dan lebih sedikit polutan.

Kolam stabilisasi dapat mengurangi konsentrasi bahan organik, menghilangkan bau yang tidak sedap, serta mengurangi jumlah patogen dan mikroorganisme penyebab penyakit dalam limbah cair [5]. Pada area kolam ini ada 2 jenis aktivitas mikroorganisme yaitu area pengendapan dan area aerobik. Area pengendapan lumpur akan tersuspensi membentuk lumpur sedangkan area aerobik akan mengalami proses oksidasi dengan bantuan oksigen dalam air [6].

b. Kolam Anaerobik

Kolam Anaerobik merupakan kolam kedua di instalasi pengolahan lindi di TPA Manggar. Pada kolam ini memiliki kandungan bahan organik yang tinggi serta mengandung konsentrasi solid yang tinggi karena penambahan tinja yang berasal dari pengepul tinja. Kolam anaerobik menggunakan mikroorganisme anaerobik untuk menguraikan limbah cair. Dalam kolam anaerobik, proses pengolahan limbah cair terjadi dalam kondisi tanpa oksigen atau dengan konsentrasi oksigen yang sangat rendah [7]. Kolam anaerobik efektif dalam menghilangkan sebagian besar bahan organik dalam limbah cair. Namun, proses anaerobik tidak dapat menghilangkan sejumlah polutan tertentu, seperti senyawa anorganik dan beberapa senyawa organik yang lebih stabil [2].

c. Kolam Aerobik

Kolam aerobik adalah kolam yang menerima beban organik yang tidak terlalu tinggi. Kolam aerobik tinggi sekitar 1 m - 1.5 m. Kolam aerobik ini memiliki kondisi untuk mempermudah proses oksidasi. Prinsip kerja dari kolam ini menggunakan oksigen sebagai persyaratan utama untuk proses penguraian limbah cair. Pada kolam ini, oksigen diberikan secara terkontrol ke dalam limbah cair untuk mendukung aktivitas mikroorganisme aerob yang secara efisien menguraikan bahan organik dalam limbah cair [7].

Proses pengolahan limbah cair dalam kolam aerobik melibatkan dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme aerobik yang membutuhkan oksigen. Selama proses ini, bahan organik kompleks seperti protein, lemak, dan karbohidrat diuraikan menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti karbon dioksida, air, dan biomassa mikroorganisme. Kolam aerobik ini sering digunakan sebagai tahap pengolahan utama dalam IPAL untuk menghilangkan bahan organik, bau yang tidak sedap, serta meminimalkan jumlah patogen dan mikroorganisme penyebab penyakit dalam limbah cair sebelum tahap pengolahan lanjutan atau sebelum dibuang secara aman ke lingkungan [6].

d. Kolam Maturasi

Kolam maturasi merupakan kolam anaerobik yang menggunakan prinsip tanpa menggunakan bantuan aerator, kondisi kolam terlihat menunjang tinggi agar tidak menggunakan bantuan aerator. Kolam ini memiliki tinggi 0,5 – 1,5 meter. Kolam ini berfungsi untuk memberikan waktu tambahan bagi partikel-partikel tersuspensi dan mikroorganisme yang masih ada dalam limbah cair untuk mengendap atau mengalami proses penguraian. Kolam ini digunakan untuk menghilangkan partikel-padatan yang tersuspensi dan mikroorganisme yang masih ada dalam limbah cair setelah melalui tahap-tahap pengolahan sebelumnya. Kolam ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas air limbah secara fisik dan biologis.



Kolam maturasi memberikan waktu tinggal yang lebih lama bagi limbah cair dalam kondisi yang tenang. Dalam kondisi yang tenang, partikel-partikel padatan yang masih ada dalam limbah cair akan mengendap ke dasar kolam karena beratnya sendiri. Proses ini dikenal sebagai pengendapan atau sedimentasi. Partikel yang mengendap membentuk lapisan lumpur atau sediment di dasar kolam. Selain pengendapan, kolam maturasi juga memberikan kesempatan bagi mikroorganisme yang masih ada dalam limbah cair untuk melanjutkan proses penguraian. Mikroorganisme yang ada dalam limbah cair akan terus menguraikan bahan organik yang masih tersisa, menghasilkan produk akhir yang lebih stabil dan lebih sedikit polutan. Waktu tinggal limbah cair dalam kolam maturasi bervariasi tergantung pada karakteristik limbah cair dan tingkat pengolahan yang diinginkan. Waktu tinggal yang cukup lama memungkinkan partikel-partikel padatan untuk mengendap sepenuhnya dan mikroorganisme untuk melanjutkan proses penguraian.

Meskipun kolam maturasi biasanya tidak melibatkan proses pengolahan aktif, beberapa kolam maturasi dapat dilengkapi dengan sistem aerasi atau peralatan lainnya untuk memfasilitasi penguraian bahan organik yang lebih lanjut oleh mikroorganisme aerobik yang masih ada. Kolam ini memainkan peran penting dalam menghilangkan partikel-partikel padatan tersuspensi, memperbaiki kualitas air limbah, dan memberikan waktu tambahan bagi mikroorganisme untuk menyelesaikan proses penguraian [8].

e. Kolam Biofilter

Kolam Biofilter adalah kolam yang menggunakan metode pengolahan air kotor atau limbah dengan memanfaatkan mikroorganisme sehingga menjadi air bersih yang dapat dimanfaatkan kembali. Kolam ini berfungsi untuk memperbaiki kualitas air limbah melalui proses pengolahan biologis. Kolam ini dirancang khusus untuk menghilangkan bahan organik terlarut dan menurunkan konsentrasi zat-zat terlarut dalam limbah cair. Kolam biofilter biasanya dilengkapi dengan media filter berpori yang berfungsi sebagai substrat bagi mikroorganisme untuk tumbuh dan melakukan pengolahan limbah cair. Media filter yang digunakan pada TPA Manggar adalah material sintesis (kain Polimer screenanta) yang diletakkan pada dasar sampai permukaan kolam. Permukaan media filter ini menyediakan tempat yang ideal bagi mikroorganisme untuk melekat dan membentuk biofilm [1, 9].

Biofilm adalah lapisan mikroorganisme yang melekat pada permukaan media filter di kolam biofilter. Mikroorganisme dalam biofilm ini adalah mikroorganisme aerobik, yang membutuhkan oksigen untuk melakukan proses penguraian limbah cair. Mikroorganisme tersebut mengonsumsi bahan organik yang terlarut dalam limbah cair, mengubahnya menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti karbon dioksida dan air. Kolam biofilter memiliki kedalaman yang dangkal (1 meter), sehingga sistem aerasi dapat memberikan oksigen tambahan ke dalam kolam. Aerasi membantu menjaga kondisi aerobik yang optimal di dalam kolam biofilter dan memfasilitasi aktivitas mikroorganisme aerobik dalam penguraian bahan organik. Sistem aerasi pada TPA Manggar ialah dengan cara menyemprotkan dan mengalirkan kembali air limbah ke atas permukaan kolam dengan menggunakan bantuan pompa. Pada proses pengolahannya, lindi mengalir melalui media filter di kolam biofilter, sementara mikroorganisme dalam biofilm melakukan proses penguraian bahan organik terlarut. Bahan organik terlarut dalam limbah cair akan diuraikan oleh mikroorganisme aerobik menjadi senyawa yang lebih sederhana. Proses ini membantu mengurangi konsentrasi bahan organik dalam limbah cair dan memperbaiki kualitas air limbah [2].

Selain menghilangkan bahan organik terlarut, kolam biofilter juga dapat menghilangkan kelebihan nutrisi, seperti nitrogen dan fosfor, yang dapat menyebabkan masalah alga dan eutrofikasi di perairan penerima. Mikroorganisme dalam kolam biofilter dapat melakukan proses pengolahan biologi, seperti nitrifikasi dan denitrifikasi, untuk mengubah bentuk nitrogen dalam limbah cair menjadi bentuk yang kurang berbahaya [5].



Gambar 1. Tata Letak Kolam TPA Manggar

Perbandingan Kualitas Limbah dengan Baku Mutu

Sebelum dibuang ke lingkungan, limbah yang dikelola harus diketahui terlebih dahulu kualitas limbah dibandingkan dengan peraturan yang terkait. Dalam hal ini kualitas air limbah dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir. Berikut hasil uji terhadap kualitas air limbah yang dibandingkan dengan baku mutu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Analisis Kualitas Air Limbah (Tahun 2017) dengan Baku Mutu

Tahun	Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu*	Kesesuaian
2017	BOD	mg/L	33	150	✓
	COD	mg/L	107	300	✓
	TSS	mg/L	48	100	✓

*Permenlhk No. P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016

Berdasarkan hasil uji kualitas air limbah yang telah dilakukan terhadap parameter BOD, COD, dan TSS pada tahun 2017, rata-rata kualitas air limbah di TPA Manggar berada di bawah baku mutu standar. Pada parameter TSS di tahun 2017 terdapat satu bulan yang memiliki parameter TSS di atas standar, yaitu pada bulan September sebesar 123 mg/L.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Analisis Kualitas Air Limbah (Tahun 2018) dengan Baku Mutu

Tahun	Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu*	Kesesuaian
2018	BOD	mg/L	21	150	✓
	COD	mg/L	140	300	✓
	TSS	mg/L	65	100	✓

*Permenlhk No. P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016

Berdasarkan hasil uji kualitas air limbah yang telah dilakukan terhadap parameter BOD, COD, dan TSS pada tahun 2018 rata-rata kualitas air limbah di TPA Manggar berada di bawah baku mutu standar. Pada parameter TSS di tahun 2018 terdapat beberapa bulan yang memiliki parameter TSS di atas standar, yaitu pada bulan Maret sebesar 106 mg/L dan September sebesar 260 mg/L.

**Tabel 3.** Perbandingan Hasil Analisis Kualitas Air Limbah (Tahun 2019) dengan Baku Mutu

Tahun	Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu*	Kesesuaian
2019	BOD	mg/L	30	150	✓
	COD	mg/L	158	300	✓
	TSS	mg/L	68	100	✓

*Permenlhk No. P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016

Berdasarkan hasil uji kualitas air limbah yang telah dilakukan terhadap parameter BOD, COD, dan TSS pada tahun 2019, rata-rata kualitas air limbah di TPA Manggar berada di bawah baku mutu standar. Pada parameter TSS di tahun 2019 terdapat beberapa bulan yang memiliki parameter TSS di atas standar, yaitu pada bulan januari sebesar 124 mg/L dan 102 mg/L, bulan april sebesar 105 mg/L, bulan oktober sebesar 132 mg/L, dan bulan november sebesar 122 mg/L.

Tabel 4. Perbandingan Hasil Analisis Kualitas Air Limbah (Tahun 2020) dengan Baku Mutu

Tahun	Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu*	Kesesuaian
2020	BOD	mg/L	47	150	✓
	COD	mg/L	168	300	✓
	TSS	mg/L	80	100	✓

*Permenlhk No. P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016

Berdasarkan hasil uji kualitas air limbah yang telah dilakukan terhadap parameter BOD, COD, dan TSS pada tahun 2020, rata-rata kualitas air limbah di TPA Manggar berada di bawah baku mutu standar. Pada parameter TSS di tahun 2020 terdapat satu bulan yang memiliki parameter TSS di atas standar, yaitu pada bulan januari sebesar 131 mg/L.

Perhitungan Debit

Perhitungan efisiensi tiap kolam pada IPAL dilakukan dengan menggunakan debit yang didapatkan dari hasil rekapan debit dari 2018-2019 yaitu sebesar 172,9 m³/hari.

Tabel 5. Rekapitulasi Debit 2018-2019

Tahun	Satuan	Parameter	Rata-Rata
2018	m ³ /hari	94,1	7,84
2019	m ³ /hari	85,8	7,15

Perhitungan Efisiensi Tiap Kolam Pada IPAL

a. Kolam Stabilitasi

Kriteria desain kolam stabilitasi [10]:

Waktu detensi : 12 – 33 hari
 Kedalaman kolam : 2,5 – 4,0 meter
 Efisiensi pengolahan : 50 – 80%

1) Efisiensi pengolahan 50%

Data existing:

- Debit : 172,9 m³/hari
- Panjang : 48,2 m
- Lebar : 13,4 m
- Kedalaman : 1,92 m
- Data kualitas limbah pada *inlet* kolam stabilitasi
 Parameter BOD : 6.611,11 mg/L



Parameter COD : 29.085,18 mg/L

Parameter TSS : 8.917,78 mg/L

f) Data kualitas limbah pada *outlet* kolam stabilitasi

Parameter BOD : 3.305,56 mg/L

Parameter COD : 14.542,59 mg/L

Parameter TSS : 4.458,89 mg/L

Hasil uji kualitas limbah yang dilakukan terhadap parameter BOD, COD dan TSS, dimana terjadi penurunan pada parameter BOD sebesar 3.305,56 mg/L, parameter COD sebesar 14.542,59 mg/L, dan parameter TSS sebesar 4.458,89 mg/L. Selanjutnya, dilakukan perhitungan terhadap waktu detensi dan efisiensi pengolahan pada kolam stabilitasi dengan menggunakan hasil uji kualitas limbah.

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{a) Volume kolam} &= P \times L \times T \\ &= 48,2 \times 13,4 \times 1,92 \\ &= 1240,0896 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Waktu detensi} &= \frac{V}{Q} \\ &= \frac{1240,0896}{3015,9} \\ &= 0,411183925 \text{ hari} \end{aligned}$$

c) Efisiensi Pengolahan kolam stabilitasi

$$\begin{aligned} \text{BOD} &= \frac{(\text{BOD inlet} - \text{BOD outlet})}{\text{BOD inlet}} \times 100\% \\ &= \frac{(6611,11 - 3305,56)}{6611,11} \times 100\% \\ &= 50\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD} &= \frac{(\text{COD inlet} - \text{COD outlet})}{\text{COD inlet}} \times 100\% \\ &= \frac{(29085,18 - 14542,59)}{29085,18} \times 100\% \\ &= 50\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TSS} &= \frac{(\text{TSS inlet} - \text{TSS outlet})}{\text{TSS inlet}} \times 100\% \\ &= \frac{(8917,78 - 4458,89)}{8917,78} \times 100\% \\ &= 50\% \end{aligned}$$

2) Efisiensi pengolahan 80%

a) Data kualitas limbah pada *inlet* kolam stabilitasi

Parameter BOD : 1.210,53 mg/L

Parameter COD : 5.325,65 mg/L

Parameter TSS : 2.721,48 mg/L

b) Data kualitas limbah pada *outlet* kolam stabilitasi

Parameter BOD : 968,42 mg/L

Parameter COD : 4.260,52 mg/L

Parameter TSS : 2.177,19 mg/L

Hasil uji kualitas limbah yang dilakukan terhadap parameter BOD, COD dan TSS, dimana terjadi penurunan pada parameter BOD sebesar 242,11 mg/L, parameter COD sebesar 1.065,13 mg/L, dan parameter TSS sebesar 544,29 mg/L. Selanjutnya, dilakukan perhitungan terhadap waktu detensi dan efisiensi pengolahan pada kolam stabilitasi dengan menggunakan hasil uji kualitas limbah.



Tabel 6. Perhitungan Kolam Stabilisasi

Perhitungan	Efisiensi 50%	Efisiensi 80%
Volume Kolam	1.240,089 m ³	1.240,089 m ³
Waktu Densitas	0,411 hari	0,411 hari
Efisiensi BOD	50%	20%
Efisiensi COD	50%	20%
Efisiensi TSS	50%	20%

b. Kolam Anaerobik

Kriteria desain kolam anaerobik [10]:

- Waktu detensi : 20 – 50 hari
Kedalaman kolam : 2,5 – 6,0 meter
Efisiensi pengolahan : 50 – 80%

1) Efisiensi pengolahan 50%

Data existing:

- Debit : 172,9 m³/hr
- Panjang : 23 m
- Lebar : 11,6 m
- Kedalaman : 3 m
- Data kualitas limbah pada *inlet* kolam anaerobik
Parameter BOD : 3.305,56 mg/L
Parameter COD : 1.4542,59 mg/L
Parameter TSS : 4.458,89 mg/L
- Data kualitas limbah pada *outlet* kolam anaerobik
Parameter BOD : 1.652,78 mg/L
Parameter COD : 7.271,29 mg/L
Parameter TSS : 2.229,44 mg/L

Hasil uji kualitas limbah yang dilakukan terhadap parameter BOD, COD dan TSS, dimana terjadi penurunan pada parameter BOD sebesar 1.652,78 mg/L, parameter COD sebesar 7.271,29 mg/L, dan parameter TSS sebesar 2.229,44 mg/L. Selanjutnya, dilakukan perhitungan terhadap waktu detensi dan efisiensi pengolahan pada kolam stabilisasi dengan menggunakan hasil uji kualitas limbah.

2) Efisiensi pengolahan 80%

Data existing:

- Data kualitas limbah pada *inlet* kolam anaerobik
Parameter BOD : 968,42 mg/L
Parameter COD : 4.260,52 mg/L
Parameter TSS : 2.177,19 mg/L
- Data kualitas limbah pada *outlet* kolam anaerobik
Parameter BOD : 774,73 mg/L
Parameter COD : 3.408,42 mg/L
Parameter TSS : 1.741,75 mg/L

Hasil uji kualitas limbah yang dilakukan terhadap parameter BOD, COD dan TSS maka dimana terjadi penurunan pada parameter BOD sebesar 193,69 mg/L, parameter COD sebesar 852,1 mg/L, dan parameter TSS sebesar 435,44 mg/L. Selanjutnya, dilakukan perhitungan terhadap waktu detensi dan efisiensi pengolahan pada kolam stabilisasi dengan menggunakan hasil uji kualitas limbah.



Tabel 6. Perhitungan Kolam Anaerobik

Perhitungan	Efisiensi 50%	Efisiensi 80%
Volume Kolam	800,4 m ³	800,4 m ³
Waktu Densitas	4,6292 hari	4,6292 hari
Efisiensi BOD	50%	20%
Efisiensi COD	50%	20%
Efisiensi TSS	50%	20%

c. Kolam Aerobik

Kriteria desain kolam aerobik [10]:

- Waktu detensi : 3 – 12 hari
Kedalaman kolam : 1,5 – 3 meter
Efisiensi pengolahan : 75 – 90%

1) Efisiensi pengolahan 75%

Data existing:

- a) Debit : 172,9 m³/hr
b) Panjang : 44,5 m
c) Lebar : 23 m
d) Kedalaman : 1 m
e) Data kualitas limbah pada *inlet* kolam aerobik
Parameter BOD : 1.652,78 mg/L
Parameter COD : 7.271,29 mg/L
Parameter TSS : 2.229,44 mg/L
f) Data kualitas limbah pada *outlet* kolam aerobik
Parameter BOD : 1.239,58 mg/L
Parameter COD : 5.453,47 mg/L
Parameter TSS : 1.672,08 mg/L

Hasil uji kualitas limbah yang dilakukan terhadap parameter BOD, COD dan TSS, dimana terjadi penurunan pada parameter BOD sebesar 413,19 mg/L, parameter COD sebesar 1817,82 mg/L, dan parameter TSS sebesar 557,36 mg/L. Selanjutnya, dilakukan perhitungan terhadap waktu detensi dan efisiensi pengolahan pada kolam stabilitasi dengan menggunakan hasil uji kualitas limbah.

2) Efisiensi pengolahan 90%

Data existing:

- a) Data kualitas limbah pada *inlet* kolam aerobik
Parameter BOD : 774,73 mg/L
Parameter COD : 3.408,42 mg/L
Parameter TSS : 1.741,75 mg/L
b) Data kualitas limbah pada *outlet* kolam aerobik
Parameter BOD : 697,26 mg/L
Parameter COD : 3.067,57 mg/L
Parameter TSS : 1.567,57 mg/L

Hasil uji kualitas limbah yang dilakukan terhadap parameter BOD, COD dan TSS, dimana terjadi penurunan pada parameter BOD sebesar 77,47 mg/L, parameter COD sebesar 340,84 mg/L, dan parameter TSS sebesar 174,17 mg/L. Selanjutnya, dilakukan perhitungan terhadap waktu detensi dan efisiensi pengolahan pada kolam stabilitasi dengan menggunakan hasil uji kualitas limbah.

**Tabel 7.** Perhitungan Kolam Aerobik

Perhitungan	Efisiensi 75%	Efisiensi 90%
Volume Kolam	1.023,5 m ³	1.023,5 m ³
Waktu Densitas	5,9196 hari	5,9196 hari
Efisiensi BOD	25%	10%
Efisiensi COD	25%	10%
Efisiensi TSS	25%	10%

d. Kolam Maturasi

Kriteria desain kolam maturasi [10]:

- Waktu detensi : 9 – 12 hari
 Kedalaman kolam : 0,5 – 1,5 meter
 Efisiensi pengolahan : 60 – 80%

1) Efisiensi pengolahan 60%

Data existing:

- a) Debit : 172,9 m³/hr
 b) Panjang : 40,5 m
 c) Lebar : 20 m
 d) Kedalaman : 1 m
 e) Data kualitas limbah pada *inlet* kolam maturasi
 Parameter BOD : 1.239,58 mg/L
 Parameter COD : 5.453,47 mg/L
 Parameter TSS : 1.672,08 mg/L
 f) Data kualitas limbah pada *outlet* kolam maturasi
 Parameter BOD : 743,75 mg/L
 Parameter COD : 3.272,08 mg/L
 Parameter TSS : 1.003,25 mg/L

Hasil uji kualitas limbah yang dilakukan terhadap parameter BOD, COD dan TSS, dimana terjadi penurunan pada parameter BOD sebesar 495,83 mg/L, parameter COD sebesar 2.181,39 mg/L, dan parameter TSS sebesar 668,83 mg/L. Selanjutnya, dilakukan perhitungan terhadap waktu detensi dan efisiensi pengolahan pada kolam stabilitasi dengan menggunakan hasil uji kualitas limbah.

2) Efisiensi pengolahan 80%

Data existing:

- a) Data kualitas limbah pada *inlet* kolam aerobik
 Parameter BOD : 697,26 mg/L
 Parameter COD : 3.067,57 mg/L
 Parameter TSS : 1.567,57 mg/L
 b) Data kualitas limbah pada *outlet* kolam aerobik
 Parameter BOD : 557,81 mg/L
 Parameter COD : 2.454,06 mg/L
 Parameter TSS : 1.254,06 mg/L

Hasil uji kualitas limbah yang dilakukan terhadap parameter BOD, COD dan TSS, dimana terjadi penurunan pada parameter BOD sebesar 139,45 mg/L, parameter COD sebesar 613,51 mg/L, dan parameter TSS sebesar 313,51 mg/L. Selanjutnya, dilakukan perhitungan terhadap waktu detensi dan efisiensi pengolahan pada kolam stabilitasi dengan menggunakan hasil uji kualitas limbah.

Tabel 8. Perhitungan Kolam Maturasi

Perhitungan	Efisiensi 60%	Efisiensi 80%
Volume Kolam	810 m ³	810 m ³



Perhitungan	Efisiensi 60%	Efisiensi 80%
Waktu Densitas	4,6847 hari	4,6847 hari
Efisiensi BOD	40%	20%
Efisiensi COD	40%	20%
Efisiensi TSS	40%	20%

e. Kolam Biofilter

Kriteria desain kolam Biofilter [10]:

- Waktu detensi : 9 – 12 hari
 Kedalaman kolam : 0,5 – 1,5 meter
 Efisiensi pengolahan : 60 – 80%

1) Efisiensi pengolahan 60%

Data existing:

- a) Debit : 172,9 m³/hr
 b) Panjang : 49 m
 c) Lebar : 22,3 m
 d) Kedalaman : 1 m
 e) Data kualitas limbah pada *inlet* kolam biofilter
 Parameter BOD : 743,75 mg/L
 Parameter COD : 3.272,08 mg/L
 Parameter TSS : 1.672,08 mg/L
 f) Data kualitas limbah pada *outlet* kolam biofilter
 Parameter BOD : 446,25 mg/L
 Parameter COD : 1.963,25 mg/L
 Parameter TSS : 1.003,25 mg/L

Hasil uji kualitas limbah yang dilakukan terhadap parameter BOD, COD dan TSS, dimana terjadi penurunan pada parameter BOD sebesar 297,5 mg/L, parameter COD sebesar 1.308,83 mg/L, dan parameter TSS sebesar 668,83 mg/L. Selanjutnya, dilakukan perhitungan terhadap waktu detensi dan efisiensi pengolahan pada kolam stabilitasi dengan menggunakan hasil uji kualitas limbah.

2) Efisiensi pengolahan 80%

Data existing:

- a) Data kualitas limbah pada *inlet* kolam biofilter
 Parameter BOD : 557,81 mg/L
 Parameter COD : 2.454,06 mg/L
 Parameter TSS : 1.254,06 mg/L
 b) Data kualitas limbah pada *outlet* kolam biofilter
 Parameter BOD : 446,25 mg/L
 Parameter COD : 1.963,25 mg/L
 Parameter TSS : 1.003,25 mg/L

Hasil uji kualitas limbah yang dilakukan terhadap parameter BOD, COD dan TSS, dimana terjadi penurunan pada parameter BOD sebesar 111,56 mg/L, parameter COD sebesar 490,81 mg/L, dan parameter TSS sebesar 250,81 mg/L. Selanjutnya, dilakukan perhitungan terhadap waktu detensi dan efisiensi pengolahan pada kolam stabilitasi dengan menggunakan hasil uji kualitas limbah.

Tabel 8. Perhitungan Kolam Maturasi

Perhitungan	Efisiensi 60%	Efisiensi 80%
Volume Kolam	1.092,7 m ³	1.092,7 m ³
Waktu Densitas	6,3198 hari	6,3198 hari



Perhitungan	Efisiensi 60%	Efisiensi 80%
Efisiensi BOD	40%	20%
Efisiensi COD	40%	20%
Efisiensi TSS	40%	20%

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan debit limbah sebesar 3.015,9 m³/hari, serta hasil uji kualitas limbah memiliki nilai parameter BOD, COD dan TSS masing-masing dengan nilai BOD sebesar 139,45 mg/L, parameter COD sebesar 613,5 mg/L, dan parameter TSS sebesar 313,51 mg/L yang sesuai dengan baku mutu. Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi kinerja IPAL TPA Manggar Balikpapan yaitu perancangan ulang *digesting existing* bak ekualisasi, bak pengendapan, bak aerasi dan bak stabilisasi agar hasil pengolahan dapat optimal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dinas Lingkungan Hidup Kota Balikpapan dan UPTD TPA Manggar atas kesediaannya menjadi tempat penelitian, serta atas dukungan dan data yang telah diberikan. Dukungan dan kerjasama yang telah diberikan sangat berharga bagi kelancaran dan keberhasilan penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengelolaan lingkungan hidup di Kota Balikpapan.

Referensi

- [1] D. Alfiandy, "Pengolahan leachate di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Tompogunung Kabupaten Semarang," Skripsi, Universitas Diponegoro, Semarang, 2003. [Online]. Tersedia: <http://eprints.undip.ac.id/11868/1/2003MIL3853.pdf>.
- [2] A . Kahar, E. Heryadi, L. Malik, B. N. Widarti, dan I. Meicahayanti, "The study of seeding and acclimatization from leachate treatment in anaerobic bioreactor," *ARPN J Eng Appl Sci.*, vol. 12, no. 8, 2017.
- [3] K. Kardono, "Landfill Gas for Energy: Its Status and Prospect in Indonesia," *J Teknol Lingkung.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–8, 2011.
- [4] BPS Kota Balikpapan, *Kota Balikpapan dalam Angka - Balikpapan Municipality in Figures 2020*, Balikpapan, Indonesia: BPS Kota Balikpapan, 2020. [Online]. Tersedia: balikpapankota.bps.go.id
- [5] N.S. Bolan, R. Thangarajan, B. Seshadri, U. Jena, K. C. Das, H. Wang, et al., "Landfills as a biorefinery to produce biomass and capture biogas," *Bioresour Technol*, vol. 135, pp. 578–87, 2013. [Online]. Tersedia: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.135>
- [6] E. Damanhuri dan T. Padmi, *Pengelolaan Sampah Terpadu*, Bandung, Indonesia: Penerbit ITB, 2018.
- [7] M . von Sperling dan C. de Lemos Chernicharo, *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions: Volume I*, London, UK: IWA Publishing, 2005. [Online]. Tersedia: www.iwapublishing.com
- [8] H. Y. Zhao, J. Li, J. J. Liu, Y. C. Lü, X. F. Wang, dan Z. J. Cui, "Microbial Community Dynamics During Biogas Slurry and Cow Manure Compost," *J. Integr. Agric.*, vol. 12, no. 6, pp. 1087–97, 2013. [Online]. Tersedia: [http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60488-8](http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60488-8).
- [9] M. Gemala dan N. Ulfah, "Efektifitas Metode Kombinasi Pasir Zeolit dan Arang Aktif dalam Pengolahan Air Lindi di Tempat Pembuangan Akhir (TPA)," *J Tek Kim dan Lingkung.*, vol. 4, no. 2, 2020.
- [10] Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, *Peraturan Menteri PU Tahun 2013. tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga*, Nomor 3/PRT/M/ 2013 [Online]. Tersedia: <http://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/144707/permen-pupr-no-03prtm2013-tahun-2013>