

KAJIAN EFLUEN PENGOLAHAN AIR LIMBAH BIOPAL

M Fadhil Novandi¹, Kristianti Utomo², Endah Yunari Nugraheni²

¹Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna, Jakarta

²Dosen Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Sekolah Tinggi Teknologi Sapta Taruna, Jakarta
Email:

Abstrak

Biopal merupakan tangki septik modifikasi yang menggunakan sistem pengolahan setempat. Biopal dirancang agar kedap air dan dapat mengolah limbah tinja. Biopal terdiri dari beberapa tipe tergantung jenis pelanggan yang akan dilayani. Pengolahan air limbah menggunakan Biopal dilakukan secara aerobik dan anaerobik yang mampu mengolah cairan dan padatan dengan efisien. Kajian ini bertujuan untuk mengkaji apakah efluen pengolahan air limbah menggunakan Biopal sudah memenuhi Baku Mutu Air Limbah Domestik yaitu Permen LHK No 68 Tahun 2016, khususnya pH, TSS, COD, BOD, dan Ammonia. Hasil kajian menunjukkan bahwa pada tahun 2021, pengolahan air limbah domestik menggunakan Biopal type 2 di Gedung 1, 2, dan 3 belum efisien. Hal ini disebabkan karena beban organik dan beban ammonia yang masuk ke pengolahan Biopal terlalu tinggi sehingga menyebabkan kandungan ammonia di efluen Biopal belum memenuhi Baku Mutu Air Limbah Domestik. Pada tahun 2022 dilakukan perbaikan proses di biopal Gedung 1, 2, dan 3. Perbaikan yang dilakukan adalah melakukan penyesuaian beban organik dan beban ammonia yang masuk ke dalam biopal dan penambahan 1 unit biopal pada masing-masing Gedung (1, 2, dan 3). Beban organik dan ammonia influen lebih kecil dibanding pada tahun 2021 dengan debit air limbah yang masuk adalah sebesar 6 -8 m³/hari. Tujuan penambahan biopal ini adalah untuk memperbaiki kualitas efluen biopal yang belum optimal pada tahun 2021. Dengan penambahan biopal tersebut, efluen air limbah hasil olahan Biopal pada tahun 2022 sudah memenuhi Baku Mutu Air Limbah Domestik yang disyaratkan, yaitu Permen LHK No 68 Tahun 2016.

Kata Kunci: Biopal, Air Limbah Domestik, Kualitas Air, Tangki Septik, Sistem Setempat

Abstract

Biopal is a modified septic tank that uses an onsite system. Biopal is designed to be watertight and can process black water. Biopal consists of several types depending on the type of customer to be served. Wastewater treatment using Biopal is carried out aerobically and anaerobically which is able to process liquids and solids efficiently. This study aims to assess whether wastewater treatment effluent using Biopal meets the Domestic Wastewater Quality Standards, namely Minister of Environment and Forestry Regulation No. 68 of 2016, especially pH, TSS, COD, BOD and Ammonia. The results of the study show that in 2021, domestic wastewater treatment using Biopal type 2 in Buildings 1, 2 and 3 will not be efficient. This is because the organic load and ammonia load entering the Biopal processing plant is too high, causing the ammonia content in the Biopal effluent to not meet the Domestic Wastewater Quality Standards. In 2022, process improvements will be carried out in biopal Buildings 1, 2, and 3. The improvements made are adjusting the organic load and ammonia load entering the biopal and adding 1 unit of biopal in each building (1, 2, and 3). The influent organic and ammonia load is smaller than in 2021 with the incoming wastewater discharge amounting to 6 -8 m³/day. The aim of adding biopal is to improve the quality of biopal effluent which is not yet optimal in 2021. With the addition of biopal, wastewater effluent processed by Biopal in 2022 will meet the required Domestic Wastewater Quality Standards, namely Minister of Environment and Forestry Regulation No. 68 of 2016.

Keywords: Biopal, Domestic Wastewater, Water Quality, Septic Tank, Onsite System

PENDAHULUAN

Tingginya kepadatan penduduk ibukota sangat berpengaruh pada kualitas hidup masyarakat. Beragam masalah kependudukan pun bisa muncul di kemudian hari. Salah satunya masalah kesehatan lingkungan (sanitasi). Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan/atau kegiatan pemukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen, dan asrama. Air limbah merupakan suatu hal yang perlu diperhatikan karena berpotensi mencemari lingkungan yang selanjutnya bisa berdampak buruk bagi makhluk hidup termasuk manusia. Pengelolaan air limbah memerlukan sarana dan prasarana penyaluran dan pengolahan. Pengolahan air limbah rumah tangga (domestik) dapat ditangani melalui sistem setempat ataupun sistem terpusat. Sistem pengolahan air limbah domestik setempat berfungsi untuk mengumpulkan dan mengolah air limbah domestik (air limbah kakus (black water) dan air limbah non kakus (grey water)) di lokasi sumber. Pengolahan air limbah domestik dilakukan dengan cara pengolahan biologis. Kapasitas pengolahan sistem setempat terdiri atas skala individual dan skala komunal (2 sampai 10 unit rumah tinggal). Sistem pengolahan setempat dapat berupa tangki septik.

Tangki septik merupakan suatu ruangan kedap air dan terdiri dari kompartemen ruang yang berfungsi menampung/mengolah air limbah dari hasil buangan manusia (feses atau urine) dengan kecepatan alir yang sangat lambat sehingga memberi kesempatan untuk terjadinya pengendapan terhadap suspensi benda-benda padat dan kesempatan dekomposisi bahan-bahan organik oleh mikroba anaerobik. Penggunaan tangki septik di Indonesia dianggap sebagai cara penampungan tinja yang terbaik, tetapi pada kenyataannya masih belum memenuhi syarat kesehatan, baik diperkotaan maupun pedesaan. Hal ini disebabkan masih banyaknya pencemaran tanah dan air melalui saluran perembesan. Untuk meminimalisir hal tersebut maka Perusahaan Umum Daerah Pengolahan Air Limbah Provinsi DKI Jakarta (Perumda Paljaya) memproduksi Biopal.

Biopal merupakan tangki septik modifikasi yang menggunakan sistem pengolahan setempat. Biopal dirancang agar kedap air dan dapat mengolah limbah tinja sehingga tidak mencemari lingkungan. Material Biopal terbuat dari Fibre Reinforced Plastic (FPR). Biopal terdiri dari beberapa tipe tergantung jumlah pelanggan yang akan dilayani. Pengolahan air limbah menggunakan Biopal dilakukan secara aerobik dan anaerobik yang mampu mengolah air limbah domestik dengan optimal.

Keunggulan menggunakan Biopal adalah pemasangannya mudah dan cepat, tidak membutuhkan lahan luas karena tanpa sumur resapan, terbuat dari bahan tahan korosi, dan anti bocor sehingga tidak mencemari air tanah.

Kajian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi Biopal dan kualitas efluen dari Biopal apakah sudah memenuhi persyaratan yang berlaku, yaitu Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah kualitas air limbah yang dihasilkan Biopal memenuhi persyaratan kualitas air limbah yang layak dibuang sesuai dengan Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik?
2. Apakah pengolahan air limbah menggunakan Biopal, efisien dalam menyisihkan BOD, COD, dan Ammonia?

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas efluen berdasarkan data primer dan data sekunder yang terkait dengan proses dan kualitas hasil olahan air limbah domestik menggunakan Biopal. Serta membandingkan kualitas efluen pengolahan air limbah domestik menggunakan Biopal dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan tentang keunggulan dan kelemahan proses pengolahan air limbah domestik menggunakan tangki septik modifikasi (Biopal).

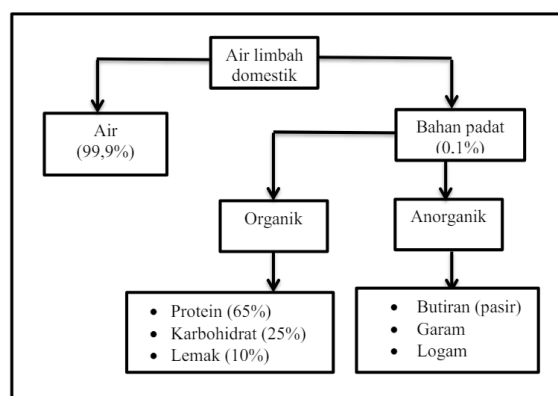
TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Permen LHK No 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, air limbah adalah air sisa dari suatu hasil usaha dan/atau kegiatan. Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air.

Karakteristik air limbah umumnya terbagi ke dalam tiga kategori, yaitu fisika, kimia, dan biologi (Metcalf dan Eddy, 2003). Sifat fisika, kimia, dan biologi air limbah tergantung pada sumber kegiatan penghasil air limbah tersebut. Air limbah domestik memiliki parameter pencemar yang tinggi terutama pada dua jenis material yaitu deterjen dan kotoran manusia.

Menurut Kushwah, et al., (2011), karakteristik air limbah domestik meliputi DO, BOD, COD, konduktivitas, pH dan suhu. Cheerawit, et al., (2012) juga menjelaskan bahwa karakteristik air limbah domestik terdiri dari BOD, COD, turbiditas, lemak, deterjen dan agen-agen lain. Cheerawit, et al., (2012) juga menjelaskan bahwa air limbah domestik yang mengandung berbagai macam parameter pencemar perlu diolah terlebih dahulu sebelum dibuang.

Komposisi air limbah domestik antara lain air dan padatan. Air bisa mencapai 99,9%, sedangkan padatan hanya 0,1%. Secara garis besar komposisi bahan yang terkandung di dalam air limbah domestik dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Komposisi Air Limbah Domestik (Sugiharto, 1997)

Bahan pencemar yang terkandung dalam limbah domestik ada yang bersifat organik maupun anorganik. Komposisi limbah domestik umumnya didominasi oleh bahan organik nitrogen (NH₃, NO₂, NO₃), Fosfor (Total Fosfor dan PO₄), deterjen, fenol, bakteri E. Coli. Parameter kunci yang biasa diukur adalah BOD dan COD. Air limbah domestik apabila tidak diolah akan berdampak negatif bagi lingkungan. Dampak negatif air limbah domestik bagi lingkungan antara lain berkurangnya jumlah oksigen terlarut (Dissolved Oxygen/DO) di dalam air karena sebagian besar oksigen digunakan oleh bakteri untuk melakukan proses pembusukan sampah, penggunaan deterjen yang masuk di dalam limbah domestik secara tidak terkendali dapat meningkatkan senyawa fosfat pada air sungai atau danau dan dapat merangsang pertumbuhan ganggang serta Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Peristiwa eutrofikasi menyebabkan permukaan air danau atau sungai tertutup sehingga menghalangi masuknya cahaya matahari dan mengakibatkan terhambatnya proses fotosintesis. Dampak lebih jauh terjadinya peristiwa eutrofikasi menyebabkan pendangkalan waduk oleh sedimen dan sebagai tempat berkembangnya vektor penyakit. Limbah domestik memicu berkembangnya berbagai macam vektor penyakit seperti molusca dan insekta yang dapat menyebabkan berbagai macam penyakit yang disebut *Water Borne Diseases*. Penyakit tersebut dapat membahayakan manusia dan makhluk hidup lainnya seperti *Schistosomiasis*, demam berdarah (DB), malaria, dan diare. Air limbah domestik mengandung bahan organik dan mikroorganisme yang berbahaya bagi kehidupan. Mikroorganisme yang terdapat pada air limbah domestik ada yang bersifat patogen. Apabila air limbah langsung dibuang ke lingkungan (badan air penerima, tanah dan lain-lain), bahan organik dan mikroorganisme yang terkandung di dalam air limbah akan menimbulkan pencemaran bagi lingkungan. Mikroorganisme patogen akan membahayakan bagi manusia dan makhluk hidup lain karena dapat menimbulkan berbagai macam penyakit yang berbahaya. Lebih lanjut akibat dari pencemaran air limbah domestik di sungai atau

perairan menyebabkan beban biaya pengolahan air bersih yang bersumber dari air permukaan akan lebih tinggi. Berdasarkan PermenPUPR No 4/2017, Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik (SPAL-D) dibagi menjadi dua, yakni SPAL-D Setempat dan SPAL-D Terpusat.

Sistem sanitasi setempat adalah sistem pembuangan air buangan dimana air buangan tidak dikumpulkan dan tidak disalurkan ke dalam suatu jaringan saluran yang akan membawanya ke suatu tempat pengolahan ataupun badan air, melainkan dibuang setempat. Contoh sistem pengolahan setempat adalah tangki septik, cubluk, dan jamban. Tangki septik merupakan ruangan kedap air yang terdiri dari satu atau beberapa kompartemen yang berfungsi menampung atau mengolah air limbah domestik dengan waktu tinggal tertentu sehingga terjadi pengendapan suspensi benda-benda padat dan memberi kesempatan terjadinya penguraian biologis oleh mikroorganisme anaerob menjadi lumpur dan gas dan bidang resapan untuk memungkinkan proses lanjutan penyaringan efluen cair dari tangki septik. Tangki septik konvensional mempunyai keunggulan dan kelemahan. Keunggulan tangki septik konvensional adalah desainnya sederhana dan biasanya relatif murah dalam pemasangan dan perawatannya. Sedangkan kelemahannya adalah memerlukan lahan yang luas untuk bidang resapan, mudah bocor dan merembes sehingga air limbah dapat mencemari air dan tanah. Oleh sebab itu, banyak sekali dikembangkan tangki septik yang dimodifikasi untuk meminimalkan dampak-dampak yang disebabkan oleh tangki septik konvensional.

Biopal adalah tangki septik modifikasi yang berguna untuk mengolah air limbah domestik. Biopal dirancang agar kedap air dan dapat mengolah limbah tinja sehingga tidak mencemari lingkungan.

Biopal terdiri dari 3 tipe, yaitu:

a. Tipe 1

Biopal tipe 1 adalah biopal untuk rumah tinggal 5 orang dengan kapasitas 1,125 m³ yang dapat mengolah *black* dan *grey water*.

Ukuran biopal tipe 1 adalah 1,50mx0,75mx1,30m. Material yang digunakan adalah *Fibre Reinforced Plastic* (FPR). Biopal tipe 1 mengolah limbah secara anaerob dan aerob. Efisiensi penyisihan BOD mencapai 90-92% dan COD 80-86%. Pengurasan lumpur pada tipe 1 yaitu 1-3 tahun.

b. Tipe 2

Biopal tipe 2 adalah biopal untuk rumah tinggal dan perkantoran yang dihuni oleh 15-25 orang. Ukuran biopal tipe 2 adalah 2,50mx1,12mx1,55m. Material yang digunakan adalah *Fibre Reinforced Plastic* (FPR). Kapasitas biopal tipe 2 yaitu 3,3 m³ dengan debit air limbah 1,1 m³/hari. Biopal ini menggunakan pengolahan anaerob dan aerob dengan efisiensi penyisihan BOD mencapai 90-96% sedangkan COD 86-92%. Pengurasan lumpur 1-3 tahun.

c. Tipe 3

Biopal tipe 3 adalah biopal untuk rumah tinggal berisi 5 orang, kapasitas 1,123 m³. Ukuran biopal tipe 3 adalah 1,50mx0,75mx1,30m. Material yang digunakan adalah *Fibre Reinforced Plastic* (FPR). Biopal ini menggunakan pengolahan hanya berfokus pada pengolahan anaerob saja dan dapat mengolah limbah *black* dan *grey water*. Efisiensi BOD mencapai 80-90% dan COD 70-80%. Pengurasan lumpur 1-3 tahun.

Keunggulan menggunakan biopal adalah:

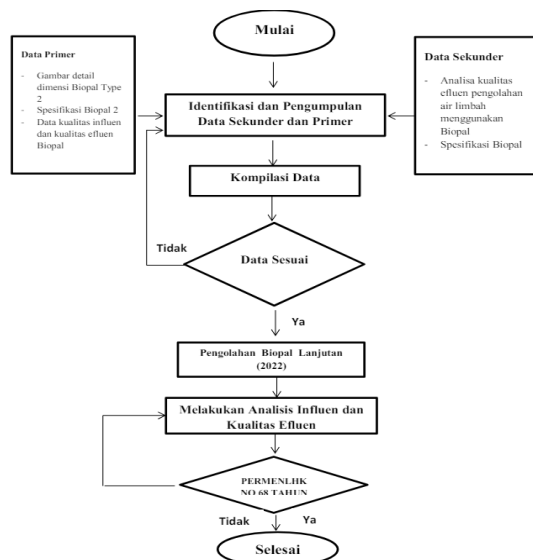
- Pemasangan mudah dan cepat
- Tidak membutuhkan lahan yang luas karena tanpa sumur resapan
- Kedap air dan anti bocor sehingga tidak mencemari air tanah
- Tidak membutuhkan perawatan khusus
- Memenuhi ketentuan pemerintah DKI (Pergub 1/2018)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Gedung yang menggunakan layanan produk Biopal di Kawasan Industri Pulo Gadung, yaitu PT Aica Indria, Vopak dan Koja Trade Mall. Penelitian dilakukan pada bulan Agustus 2022 sampai dengan bulan Desember 2022.

Metode kajian dilakukan secara kualitatif yaitu membandingkan hasil kajian kualitas efluen pengolahan air limbah dengan Biopal dengan parameter baku mutu berdasarkan Permen LHK No 68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah.

Pengumpulan data primer dilakukan dengan cara wawancara, mengamati secara langsung spesifikasi Biopal, pengukuran dimensi Biopal, dan pengambilan sampel efluen dari Biopal. Sedangkan data sekunder bersumber dari Perumda Paljaya berupa gambar detail dimensi Biopal, spesifikasi Biopal, dan data kualitas air baku dan kualitas produksi Biopal.



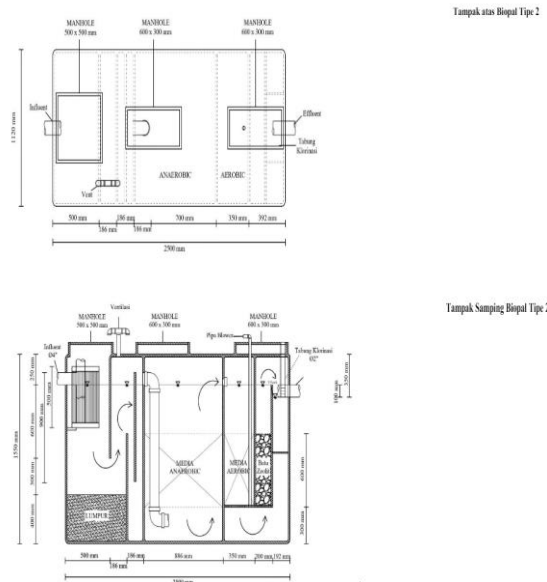
Gambar 2. Metodologi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Pengolahan pada Biopal Tipe 2

Biopal yang dipakai pada kajian ini adalah biopal tipe 2, dikarenakan biopal tipe 2 adalah biopal untuk rumah tinggal dan perkantoran yang dihuni oleh 15-25 orang.

Kapasitas Biopal tipe 2 yaitu 3,300 m³ dengan debit air limbah 1,1 m³/hari. Biopal ini menggunakan pengolahan anaerobik dan aerobik dengan efisiensi penyisihan BOD mencapai 90-96% sedangkan COD 86-92%. Gambar dari Biopal tipe 2 dapat dilihat pada Gambar 2.



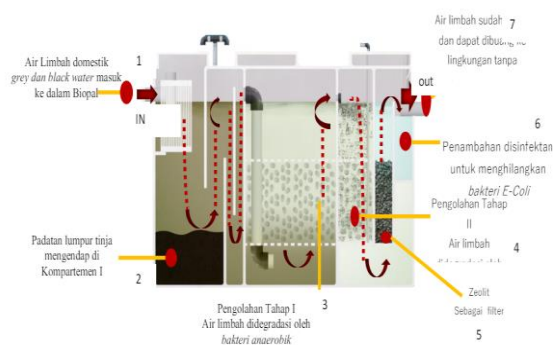
Gambar 3. Biopal Tipe 2

Biopal mengolah air limbah domestik secara aerobik dan anaerobik. Tangki septik ini dirancang agar kedap air, sesuai desain standar dan mampu mengolah limbah tinja sehingga tidak mencemari lingkungan apabila dibuang ke badan air. Biopal adalah pengolahan air limbah dengan sistem setempat.

Proses pengolahan air limbah di Biopal diawali dengan air limbah domestik masuk kedalam kompartemen I (satu) melalui *bar screen* yang berfungsi sebagai penyaring sampah, didalam kompartemen I (satu) padatan lumpur tinja akan mengendap sedangkan air limbah akan masuk ke kompartemen II (dua). Pengolahan air limbah tahap 1 dimulai dari kompartemen II (dua). Air limbah di degradasi oleh bakteri anaerob (bakteri yang tidak membutuhkan oksigen), selanjutnya air limbah akan masuk ke kompartemen III (tiga). Di dalam kompartemen III (tiga), terjadi pengolahan air limbah tahap 2 yang di degradasi oleh bakteri aerob (bakteri yang membutuhkan

oksigen). Setelah itu, air limbah masuk ke kompartemen IV (empat) untuk proses klorinasi menggunakan desinfektan klorin yang berfungsi untuk menghilangkan bakteri *E. Coli*. Setelah melalui tahapan pengolahan limbah di dalam Biopal, maka air limbah dapat disalurkan ke lingkungan/badan air.

Pelanggan yang dilayani Biopal akan di *maintenance* setiap dua minggu sekali untuk pengecekan desinfektan dan pemeliharaan blower aerasi.



Gambar 4. Proses Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Biopal Tipe 2

1. Inlet

Inlet air limbah berasal dari kamar mandi dan dapur yang dialirkan menggunakan pipa PVC melalui *bar screen* Biopal. Kriteria desain Pipa penyalur dan *bar screen* inlet Biopal dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Desain Pipa Penyalur dan Bar Screen Biopal

Pipa PVC	Bar screen
Diameter = 4 in (100 cm)	Dimensi + P . 35 cm x L. 30 cm T.30 cm Jarak antar sekat = 30 mm



Gambar 5. Bar Screen Biopal

2. Unit Sedimentasi 1

Di unit sedimentasi ini air limbah yang padat seperti tinja akan mengendap sedangkan air limbah akan mengalir ke pengolahan selanjutnya.



Gambar 6. Unit Sedimentasi 1 Biopal

• Perhitungan Dimensi Ruang Lumpur

- Asumsi timbunan lumpur yang dihasilkan = 45 liter/orang/tahun.
- Total volume lumpur = 5 orang x 45 liter/orang/tahun = 225 liter/ tahun.
- Desludging interval ditentukan 2 tahun. Volume lumpur yang terjadi pada akhir periode (2 tahun) = 225 liter/tahun x 2 tahun = 450 liter = 0,45 m³ = 450.000 cm³.
- Ditetapkan volume ruang lumpur unit sedimentasi I sebesar 473.984 cm, dengan dimensi sebagai berikut:

- Panjang = 105,8 cm
 - Lebar = 112 cm
 - Kedalaman = 40 cm
 - Freeboard = 35 cm
- Perhitungan Dimensi Ruang Pengendap
 - a. Waktu detensi = 34,1 jam
 - b. Q air limbah = 13,3 cm³ /detik
 - c. $\text{Volume R} = 13,3 \text{ cm}^3 \text{ detik} \times 34 \text{ jam} \times 3600 \text{ detik jam} = 1.632.708 \text{ cm}^3$

Ditetapkan dimensi

- Panjang = 105.8 cm
- Lebar = 112 cm
- Kedalaman = 120 cm
- Freeboard = 35 cm

3. Unit Filter Anaerob

Unit filter anaerob terdapat di kompartemen II (dua), terjadi pengolahan secara anaerob dimana air limbah diuraikan oleh bakteri anaerob yaitu bakteri yang tidak membutuhkan oksigen dalam menguraikan zat organik.



Gambar 7. Unit Filter Anaerob Biopal

- Perhitungan Unit Filter Anaerob
 - a. $T_d = 22.5 \text{ jam}$
 - b. $Q = 13,3 \text{ cm}^3 / \text{detik}$
 - c. $\text{Volume} = 13,3 \text{ cm}^3 \text{ detik} \times 22,5 \text{ jam} \times 3600 \text{ detik jam} = 1.077.300 \text{ cm}^3$
 - d. Ditetapkan dimensi dengan volume 1.077.300 cm³
 - Panjang = 70 cm
 - Lebar = 112 cm
 - Kedalaman air tanpa media = 120 cm
 - Freeboard = 35 cm
- Media Filter
 - a. Jenis = bahan plastik berongga (60% dari total volume)
 - b. Dimensi ruang filter:
 - Panjang = 70 cm
 - Lebar = 112 cm
 - Ketebalan = 100 cm
 - c. $\text{Volume media} = 470.400 \text{ cm}^3$
 - d. Pipa PVC 4 inchi, panjang 500 cm

4. Unit Filter Aerob

Setelah melalui proses dalam unit anaerob, selanjutnya air limbah akan mengalir ke unit aerob. Dalam unit aerob terjadi proses pengolahan air limbah oleh bakteri aerob, yaitu bakteri yang membutuhkan oksigen dalam menguraikan zat organik dalam air limbah.



Gambar 8. Unit Filter Aerob Biopal

- Perhitungan Unit Aerob

- $T_d = 11,2 \text{ jam}$
- $Q = 13,3 \text{ cm}^3 / \text{detik}$
- $\text{Volume} = 13,3 \text{ cm}^3 \text{ detik} \times 11,2 \text{ jam} \times 3600 \text{ detik jam} = 536.256 \text{ cm}^3$
- Ditetapkan Dimensi
 - Panjang = 35 cm
 - Lebar = 112 cm
 - Kedalaman = 120 cm
 - Freeboard = 35 cm

- Media Filter

- Jenis = bahan plastik berongga (60% dari total volume)
- Dimensi ruang filter :
 - Panjang = 35 cm
 - Lebar = 112 cm
 - Ketebalan = 100 cm
 - Volume media = 235.200 cm^3

- Kebutuhan Oksigen

Diketahui:

- Debit maksimal = 1150 liter/hari

- $\text{BOD (in)} = 50 \text{ mg/L}$
- Efisiensi = 60%
- $\text{BOD (out)} = 20 \text{ mg/L}$
- Beban BOD didalam air limbah = $1150 \text{ liter hari} \times 50 \text{ mg L} = 57,5 \text{ gram/hari} = 0,0575 \text{ kg/hari}$
- Jumlah BOD yang dihilangkan = $60\% \times 0,0575 \text{ kg hari} = 0,0345 \text{ kg/hari}$
- Kebutuhan oksigen teoritis = jumlah BOD yang dihilangkan = 0,0345 kg/hari
- Faktor keamanan diterapkan (lebih kurang) 2 kali kebutuhan oksigen terlarut = $2 \times 0,0345 = 0,069 \text{ kg/hari}$
- Temperatur udara rata-rata = 28° C
- Berat udara pada suhu $28^\circ \text{ C} = 1,1725 \text{ kg/m}^3$
- Jika diasumsikan jumlah oksigen di dalam udara 23,2%. Jumlah kebutuhan udara teoritis = $0,069 \text{ kg hari} \times 1,1725 \text{ kg m}^3 \times 0,232 \text{ g} \times 02 \text{ gram udara} = 0,2536 \text{ m}^3 / \text{hari}$
- Jumlah kebutuhan udara aktual = $0,2536 \text{ m}^3 \text{ hari} \times 0,05 = 5,0731 \text{ m}^3 / \text{hari} = 3,52 \text{ liter/menit}$

5. Unit Sedimentasi II



Gambar 9. Unit Sedimentasi II Biopal

- Perhitungan Unit Sedimentasi II
 - a. Waktu detensi = 12,6 jam
 - b. Q air limbah = 13,3 cm³ /detik
 - c. Volume R = 13,3 cm³/detik x 12,6 jam x 3600 detik/jam = 603.288 cm³
 - d. Ditetapkan dimensi:
 - Panjang = 392 cm
 - Lebar = 112 cm
 - Kedalaman = 120 cm
 - Freeboard = 35 cm

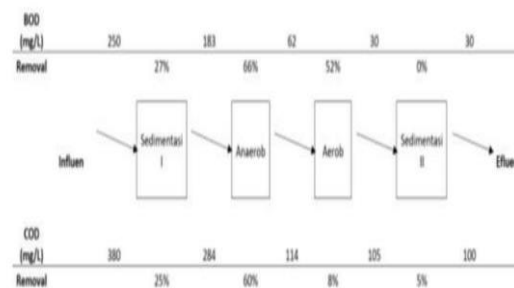


Gambar 10. Bahan Kimia Klorin dan Proses Pembubuhan

6. Unit Klorinasi

- Desinfektan yang digunakan adalah kaporit $\text{Ca}(\text{OCl})_2$
- Diketahui:
 - a. Kadar klor dalam kaporit = 90%
 - b. Berat Jenis kaporit = 0,860 kg/L
 - c. Konsentrasi larutan, Cl = 5%
 - d. DPC = 3,2 mg/L
 - e. Sisa klor = 0,2 - 0,40 mg/L
 - f. Dosis klor = 3,2 + 0,4 mg/L = 3,6 mg/L
 - g. Debit air yang diolah = 1.000 liter/hari
 - h. Debit puncak air yang diolah = 1.150 liter/hari = 13,3 cm³/detik = 0,0133 liter/detik
 - i. Kebutuhan kaporit = $100/90 \times \text{dosis klor} \times \text{Cl} = 100/90 \times 3,6 \text{ mg/L} \times 0,0133 \text{ L/detik} = 0,0532 \text{ mg/detik} = 4,59 \text{ gram/hari}$

7. Perhitungan Mass Balance



Gambar 11. Perhitungan Mass Balance Berdasarkan Pengolahan di Biopal Tipe 2

8. Kecepatan Aliran

Jika perhitungan dimensi telah selesai, maka perlu dilakukan uji kecepatan aliran pada media pada kondisi peak flow.

$$Q = A \cdot V$$

Keterangan

Q = Debit air limbah (m³/detik)

A Luas penampang aliran (m²)

V = Kecepatan aliran (m²/detik)

$$\begin{aligned}
 V_{\text{flow}} &= 13,3 \text{ cm}^3/\text{detik} / 50 \times 122 \text{ cm}^2 \\
 &= 13,3 \text{ cm}^3/\text{detik} / 5600 \\
 &= 0,0024 \text{ cm}^3/\text{detik} < 0,08 \text{ cm}^3/\text{detik} \text{ (dapat mengendap dengan baik)}
 \end{aligned}$$

Waktu detensi (td)

$$\begin{aligned}
 td &= \frac{\text{Volume tank}}{\text{debut air limbah}} \\
 &= 2,5 \times 1,12 \times 1,55 \text{ m}^3 / 13,3 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik} \\
 &= 4,34 / 13,3 \times 10^{-6} \text{ detik} \\
 &= 0,318 \times 10^6 \text{ detik} \\
 &= 318.796 \text{ detik} \\
 &= 3.68 \text{ hari (lebih kurang 3,7 hari)}
 \end{aligned}$$

B. Debit Air Limbah

Tabel 2. Kapasitas Biopal pada Gedung 1, 2, dan 3 Tahun 2021

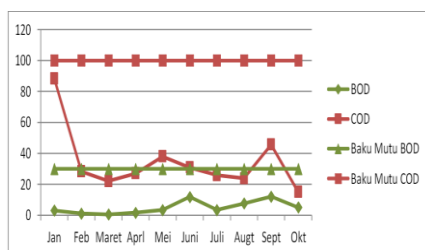
Pelayanan	Gedung 1	Gedung 2	Gedung 3
Kapasitas biopal	3.3 m ³ /hari	3.3 m ³ /hari	3.3 m ³ /hari
Tipe	2 (8 unit biopal)	2 (4 unit)	2 (4 unit)
Dimensi Biopal	2.50 x 1.120 x 1.55 m		
Jumlah pemakai	250 orang	150 orang	150 orang

C. Kualitas Efluen Air Limbah dari Biopal Tahun 2021

1. Gedung 1(Aica Indria)

a. Chemical Oxygen Demand (COD) dan Biologycal Oxygen Demand (BOD)

Berdasarkan data hasil uji laboratorium pada bulan Januari – Oktober 2021, kualitas efluen COD dan BOD pada gedung 1 dapat dilihat pada gambar 12.

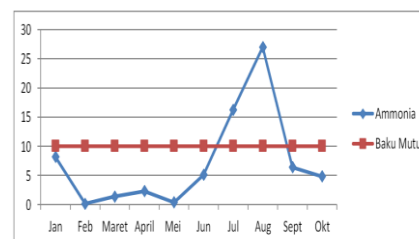


Gambar 12. Grafik Analisis COD dan BOD Gedung 1

Berdasarkan grafik diatas, nilai COD dan BOD pada efluen Biopal Gedung 1 telah memenuhi baku mutu berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016.

b. Ammonia

Berdasarkan data hasil uji laboratorium pada bulan Januari – Oktober 2021, kualitas efluen ammonia pada gedung 1 dapat dilihat pada gambar 13.

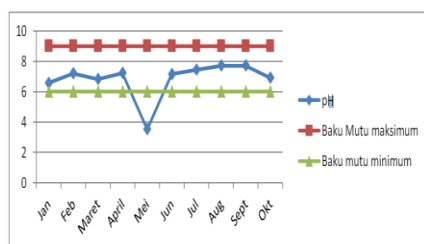


Gambar 13. Grafik Analisis Ammonia Gedung 1

Berdasarkan grafik diatas, nilai ammonia pada efluen Biopal Gedung 1 pada bulan Januari sampai Juni, bulan September, dan bulan Oktober 2021 telah memenuhi baku mutu berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016. Namun pada bulan Juli dan Agustus 2021 belum memenuhi baku mutu. Hal ini disebabkan karena kurang pemeliharaan pada blower aerasi sehingga suplai oksigen yang dibutuhkan tidak efisien.

c. pH

Berdasarkan data hasil uji laboratorium pada bulan Januari – Oktober 2021, kualitas efluen pH pada gedung 1 dapat dilihat pada gambar 14.



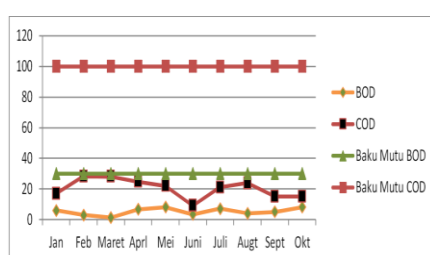
Gambar 14. Grafik Analisis pH Gedung 1

Berdasarkan grafik diatas, nilai pH pada efluen Biopal Gedung 1 telah memenuhi baku mutu berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016. telah memenuhi baku mutu berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016.

2. Gedung 2 (Vopak)

a. Chemical Oxygen Demand (COD) dan Biological Oxygen Demand (BOD)

Berdasarkan data hasil uji laboratorium pada bulan Januari – Oktober 2021, kualitas efluen COD dan BOD pada gedung 2 dapat dilihat pada gambar 15.

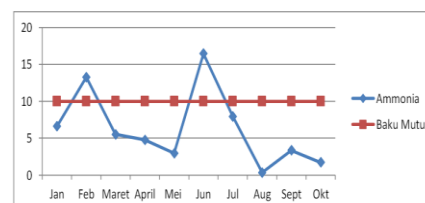


Gambar 15. Grafik Analisis COD dan BOD Gedung 2

Berdasarkan grafik diatas, nilai COD dan BOD pada efluen Biopal Gedung 2 telah memenuhi baku mutu berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016.

b. Ammonia

Berdasarkan data hasil uji laboratorium pada bulan Januari – Oktober 2021, kualitas efluen ammonia pada gedung 2 dapat dilihat pada gambar 16.

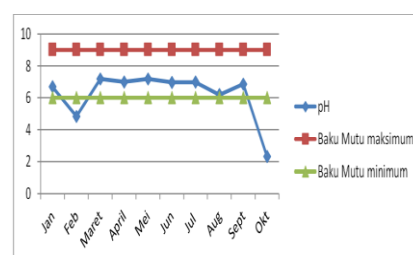


Gambar 16. Grafik Analisis Ammonia Gedung 2

Berdasarkan grafik diatas, nilai ammonia pada efluen Biopal Gedung 2 pada bulan Januari, Maret, April, Mei, Juli, Agustus, September, dan bulan Oktober 2021 sudah memenuhi baku mutu berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016. Namun pada bulan Februari dan Juni 2021 belum memenuhi baku mutu. Hal ini disebabkan karena kurang pemeliharaan pada blower aerasi sehingga suplai oksigen yang dibutuhkan tidak efisien.

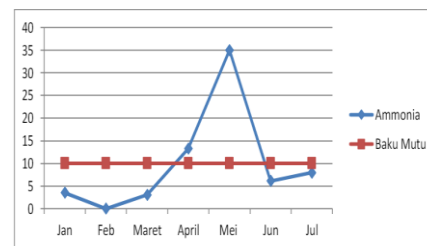
c. pH

Berdasarkan data hasil uji laboratorium pada bulan Januari – Oktober 2021, kualitas efluen pH pada gedung 2 dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17. Grafik Analisis pH Gedung 2

Berdasarkan grafik diatas, nilai pH pada efluen Biopal Gedung 2 telah memenuhi baku mutu berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016. telah memenuhi baku mutu berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016.

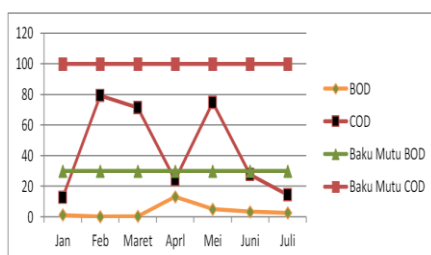


Gambar 19. Grafik Analisis Ammonia Gedung 3

3. Gedung 3 (Koja Trade Mall)

a. Chemical Oxygen Demand (COD) dan Biological Oxygen Demand (BOD)

Berdasarkan data hasil uji laboratorium pada bulan Januari – Oktober 2021, kualitas efluen COD dan BOD pada gedung 3 dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 18. Grafik Analisis COD dan BOD Gedung 3

Berdasarkan grafik diatas, nilai COD dan BOD pada efluen Biopal Gedung 3 telah memenuhi baku mutu berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016.

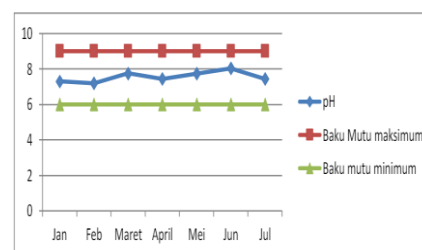
b. Ammonia

Berdasarkan data hasil uji laboratorium pada bulan Januari – Oktober 2021, kualitas efluen ammonia pada gedung 3 dapat dilihat pada gambar 19.

Berdasarkan grafik diatas, nilai ammonia pada efluen Biopal Gedung 3 pada bulan Januari sampai Maret, Juni, dan Juli 2021 sudah memenuhi baku mutu berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016. Namun pada bulan April, Mei dan Juni 2021 belum memenuhi baku mutu. Hal ini disebabkan karena kurang pemeliharaan pada blower aerasi sehingga suplai oksigen yang dibutuhkan tidak efisien.

c. pH

Berdasarkan data hasil uji laboratorium pada bulan Januari – Oktober 2021, kualitas efluen pH pada gedung 3 dapat dilihat pada gambar 20.



Gambar 20. Grafik Analisis pH Gedung 3

Berdasarkan grafik diatas, nilai pH pada efluen Biopal Gedung 3 telah memenuhi baku mutu berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016.

Tabel 3. Kualitas Efluen Biopal Gedung 1 Tahun 2021

No	PARAMETER	26/12/2021	26/1/2021	24/2/2021	25/3/2021	28/4/2021	27/5/2021	6/6/2021	23/6/2021	22/7/2021	29/7/2021	24/8/2021	25/9/2021	28/10/2021	Baku mutu
1	pH (mg/l)	6,38	6,57	7,20	6,82	7,22	3,51	7,09	7,16	6,69	7,44	7,70	7,50	7,70	6-9
2	Biochemical Oxygen Demand, BOD5 (mg/l)	3	0,65	1,15	0,49	1,64	3,35	2,77	11,85	3,35	4,22	7,57	7,00	12,08	30
3	Chemical Oxygen Demand, COD (mg/l)	<2	88,42	28,26	22,03	27,06	37,98	30,87	52,30	25,82	18,56	23,86	16,00	45,65	100
4	Ammonia, NH3-N (mg/l)	8,18	8,36	0,15	1,38	2,28	0,39	5,09		10,08	16,27	12,44	27,00	6,40	10

Pada pengolahan air limbah menggunakan Biopal di Gedung 1 menunjukkan bahwa parameter pH, BOD, dan COD sudah memenuhi baku mutu. Namun untuk parameter ammonia masih ada yang belum memenuhi baku mutu. Hal ini disebabkan karena kurang efisiennya proses aerasi sehingga menyebabkan suplai oksigen tidak optimal. Blower aerasi lemah disebabkan karena kurangnya pemeliharaan blower.

Tabel 4. Kualitas Efluen Biopal Gedung 2 Tahun 2021

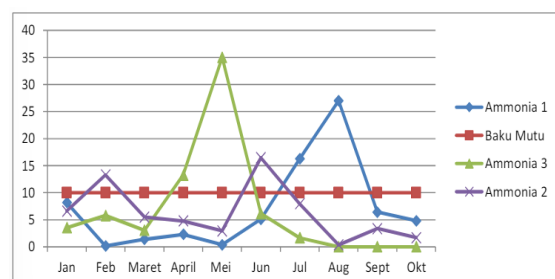
No	PARAMETER	13/1/2021	25/2/2021	31/3/2021	27/4/2021	25/5/2021	30/6/2021	30/7/2021	26/8/2021	30/9/2021	28/10/2021	Baku mutu
1	pH (mg/l)	6,68	4,83	7,18	6,99	7,18	6,96	6,98	6,19	6,85	2,30	6-9
2	Biochemical Oxygen Demand, BOD5 (mg/l)	6	3	1,26	6,64	8	3,33	7,00	4,00	5,00	8,00	30
3	Chemical Oxygen Demand, COD (mg/l)	17	<2	28,10	24,71	22	9,07	21,00	<2	15,00	15,00	100
4	Ammonia, NH3-N (mg/l)	6,61	13,28	5,52	4,78	2,96	16,46	7,99	0,35	3,35	1,72	10

Pada pengolahan air limbah menggunakan Biopal di Gedung 2 menunjukkan bahwa parameter pH, BOD, dan COD sudah memenuhi baku mutu. Namun untuk parameter ammonia masih ada yang belum memenuhi baku mutu. Hal ini disebabkan karena kurang efisiennya proses aerasi sehingga menyebabkan suplai oksigen tidak optimal. Blower aerasi lemah disebabkan karena kurangnya pemeliharaan blower.

Tabel 5. Kualitas Efluen Biopal Gedung 3 Tahun 2021

No	PARAMETER	13/1/2021	10/2/2021	17/3/2021	20/4/2021	28/5/2021	15/6/2021	27/7/2021	Baku mutu
1	pH	7.3	7.19	7.75	7.44	7.74	8.03	8.05	6-9
2	Biochemical Oxygen Demand, BOD5	1.16	0.13	0.32	13.11	5.04	3.29	2.66	30
3	Chemical Oxygen Demand, COD	12.72	79.23	71.41	24.12	74.82	27.6	14.42	100
4	Ammonia, NH3-N	3.54	<0.0579	3.06	13.24	35.01	6.13	1.67	10

Pada pengolahan air limbah menggunakan Biopal di Gedung 3 menunjukkan bahwa parameter pH, BOD, dan COD sudah memenuhi baku mutu. Namun untuk parameter ammonia masih ada yang belum memenuhi baku mutu. Hal ini disebabkan karena kurang efisiennya proses aerasi sehingga menyebabkan suplai oksigen tidak optimal. Blower aerasi lemah disebabkan karena kurangnya pemeliharaan blower.



Gambar 21. Grafik Analisis Ammonia Gedung 1, 2, dan 3 tahun 2021

Berdasarkan grafik diatas, parameter ammonia pada efluen Gedung 1, 2, dan 3 masih ada yang belum memenuhi baku mutu sehingga diperlukan pengolahan lanjutan, misal dengan MBBR, biofilter atau lumpur aktif.

- Perhitungan Beban Organik Biopal pada Tahun 2021

Debit minimum

$$\text{beban organik} : \frac{Q \cdot BOD \text{ in}}{Vol}$$

$$\text{beban organik} : \frac{0.8 \frac{m^3}{\text{hari}} \cdot 250 \frac{mg}{\text{liter}}}{4.34 m^3}$$

Beban organik : 46.08 mg/l/hari

Debit maksimum

$$\text{beban organik} : \frac{Q \cdot BOD \text{ in}}{Vol}$$

$$\text{beban organik} : \frac{10 \frac{m^3}{\text{hari}} \cdot 250 \frac{mg}{\text{liter}}}{4.34 m^3}$$

Beban organik : 576.03 mg/l/hari

- Perhitungan Ammonia Biopal pada Tahun 2021

Debit minimum

$$\text{beban ammonia} : \frac{Q \cdot Ammonia \text{ in}}{Vol}$$

$$\text{beban ammonia} : \frac{0.8 \frac{m^3}{\text{hari}} \cdot 25 \frac{mg}{\text{liter}}}{4.34 m^3}$$

Beban Ammonia : 4.60 mg/l/hari

Debit maksimum

$$\text{beban ammonia} : \frac{Q \cdot Ammonia \text{ in}}{Vol}$$

$$\text{beban ammonia} : \frac{10 \frac{m^3}{\text{hari}} \cdot 25 \frac{mg}{\text{liter}}}{4.34 m^3}$$

Beban Ammonia : 57.60 mg/l/hari

Beban organik pada tahun 2021 berdasarkan perhitungan yaitu beban organik minimum adalah sebesar 46,08 mg/liter/hari

dan beban organik maksimum adalah sebesar 567,03 mg/liter/hari.

Beban ammonia pada tahun 2021 berdasarkan perhitungan yaitu beban ammonia minimum adalah sebesar 4,6 mg/liter/hari dan beban ammonia maksimum adalah sebesar 57,6 mg/liter/hari. Beban organik dan beban ammonia yang masuk ke dalam biopal terlalu tinggi sehingga menyebabkan efluen yang dihasilkan tidak memenuhi baku mutu sesuai dengan Permen LHK No 68 tahun 2016.

Pada tahun 2022, dilakukan perbaikan proses pada biopal di Gedung 1,2, dan 3. Perbaikan yang dilakukan adalah melakukan penyesuaian beban organik dan beban ammonia yang masuk ke dalam biopal dan penambahan 1 unit biopal pada masing-masing Gedung (1,2, dan 3). Beban organik dan ammonia influen lebih kecil dibanding pada tahun 2021 dengan debit air limbah yang masuk adalah sebesar 6 - 8 m³/hari. Penambahan biopal ini merupakan solusi agar efluen yang dihasilkan dapat memenuhi baku mutu yang disyaratkan.

Tabel 6. Kapasitas Biopal pada Gedung 1, 2, dan 3 Tahun 2022

Pelayanan	Gedung 1	Gedung 2	Gedung 3
Kapasitas biopal	3.3 m ³ /hari	3.3 m ³ /hari	3.3 m ³ /hari
Tipe	2 (9 unit biopal)	2 (5 unit biopal)	2 (5 unit biopal)
Dimensi Biopal	2.50 x 1.120 x 1.55 m		
Jumlah pemakai	250 orang	150 orang	150 orang

- Perhitungan Beban Organik Biopal pada Tahun 2022

Debit minimum

$$\text{beban organik} : \frac{Q \cdot BOD \text{ in}}{Vol}$$

$$\text{beban organik} : \frac{6.9 \frac{m^3}{\text{hari}} \cdot 15.25 \frac{mg}{\text{liter}}}{4.34 m^3}$$

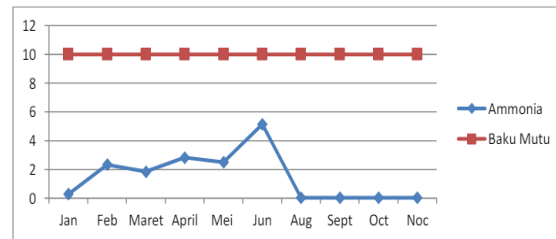
Beban organik : 24.25 mg/l/hari

Debit maksimum

$$\text{beban organik} : \frac{Q \cdot BOD \text{ in}}{Vol}$$

$$\text{beban organik} : \frac{8.4 \frac{m^3}{\text{hari}} \cdot 15.25 \frac{mg}{\text{liter}}}{4.34 m^3}$$

$$\text{Beban organik} : 29.52 \text{ mg/l/hari}$$



Gambar 23. Grafik Analisis Ammonia Efluen Biopal tahun 2022

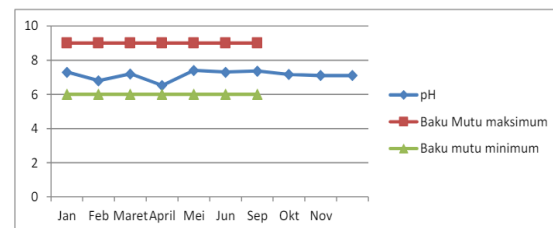
- Perhitungan Ammonia Biopal pada Tahun 2022

Debit minimum

$$\text{beban ammonia} : \frac{Q \cdot Ammonia \text{ in}}{Vol}$$

$$\text{beban ammonia} : \frac{6.9 \frac{m^3}{\text{hari}} \cdot 9.21 \frac{mg}{\text{liter}}}{4.34 m^3}$$

$$\text{Beban ammonia} : 14.64 \text{ mg/l/hari}$$



Gambar 24. Grafik Analisis pH Efluen Biopal tahun 2022

Debit maksimum

$$\text{beban ammonia} : \frac{Q \cdot Ammonia \text{ in}}{Vol}$$

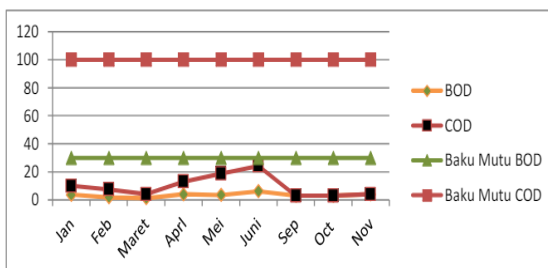
$$\text{beban ammonia} : \frac{8.4 \frac{m^3}{\text{hari}} \cdot 9.21 \frac{mg}{\text{liter}}}{4.34 m^3}$$

$$\text{Beban ammonia} : 17.83 \text{ mg/l/hari}$$

Tabel 7. Perbandingan Beban Organik dan Beban Ammonia Influen Biopal Tahun 2021 dan Tahun 2022

Faktor Faktor	2021	2022
Td	2.91 hari	2.91 + 0.50 = 3.42 hari
Beban Organik	Minimum 46.08 mg/l/hari Maksimum 576.03 mg/l/hari	Minimum 24.25 mg/l/hari Maksimum 29.52 mg/l/hari
Beban Ammonia	Minimum 4.60 mg/liter/hari Maksimum 57.60 mg/l/hari	Minimum 14.64 mg/l/hari Maksimum 17.83 mg/l/hari

Pada tahun 2022 dibangun Biopal tambahan, disebabkan karena pada tahun 2021 proses pengolahan air limbahnya belum optimal. Kapasitas Biopal yang ditambahkan adalah sebesar 29,7 m³. Efluen air limbah hasil olahan Biopal pada tahun 2022 sudah memenuhi Baku Mutu Air Limbah Domestik yang disyaratkan.



Gambar 22. Grafik Analisis COD dan BOD Efluen Biopal tahun 2022

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa beban organik maksimum dan beban ammonia maksimum influen air limbah pada tahun 2021 sangat tinggi sehingga menyebabkan kandungan ammonia pada waktu tertentu belum dapat memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan.

Pada tahun 2022, beban organik dan beban ammonia influen air limbah yang masuk disesuaikan dengan kapasitas pengolahan biopal sehingga efluen air limbah biopal telah memenuhi baku mutu yang disyaratkan.

SIMPULAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Kualitas efluen Biopal Gedung 1, 2, dan 3 pada tahun 2021 untuk parameter pH, COD dan BOD sudah memenuhi baku mutu Permen LHK No. 68 Tahun 2016. Namun untuk parameter ammonia pada waktu tertentu masih belum memenuhi baku mutu Permen LHK No. 68 Tahun 2016.
2. Beban organik influen pada tahun 2021 berdasarkan perhitungan adalah 46,08 mg/liter/hari (debit minimum) dan 567,03 mg/liter/hari (debit maksimum). Sedangkan beban ammonia pada tahun 2021 berdasarkan perhitungan adalah 4,6 mg/liter/hari (debit minimum) dan 57,6 mg/liter/hari (debit maksimum). Beban organik dan beban ammonia influen air limbah yang masuk ke biopal terlalu tinggi sehingga menyebabkan pengolahan air limbah domestik menggunakan biopal belum memenuhi Baku Mutu air limbah domestik yaitu Permen LHK No 68 Tahun 2016.
3. Pada tahun 2022, dilakukan perbaikan proses pada biopal di Gedung 1,2, dan 3. Perbaikan yang dilakukan adalah melakukan penyesuaian beban organik dan beban ammonia yang masuk ke dalam biopal dan penambahan 1 unit biopal pada masing-masing Gedung (1,2, dan 3). Beban organik dan ammonia influen lebih kecil dibanding pada tahun 2021 dengan debit air limbah yang masuk adalah sebesar 6 -8 m³/hari. Tujuan penambahan biopal ini adalah untuk memperbaiki kualitas efluen biopal yang belum optimal pada tahun 2021. Dengan penambahan biopal tersebut, efluen air limbah hasil olahan Biopal pada tahun 2022 sudah memenuhi Baku Mutu Air Limbah Domestik yang disyaratkan.

Saran

Pengoperasian dan pemeliharaan biopal perlu dilakukan sesuai dengan SOP yang ada sehingga pengolahan air limbah domestik dengan biopal dapat optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Mark J. Hammer, "Water and Waste Water Technology", Jhon Wiley & Spns, Inc., 1975.
- Paul N. Cheremisinoff, "Handbook of Water and Wastewater Treatment Technology". Marcel Dekker, Inc., 1995.
- Henze. M. dkk. "Waste Treatment, Biological and Chemicl Process", Sprriinger-Verlag, Lyngby (1995).
- Graff.A. dkk. "Anaecobic Oxidation of Ammonium is a Biologically Mediated Process" Journal of Applied and Enviromental Microbiology (April 1995).
- Kida. K. dkk. "Effcient Removal of Organic Matter and NH from Pot Aleby a Combination of Methane Fermentation and Biological Denitrification and Nitrification Procees" Journal of Process Engineering (1999).
- Metcalf & Eddy, "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", 5th Edition, 2014. Halaman 215-220.
- Ruliasih Marsidi dan Arie Herlambang, Proses Nitrifikasi Dengan Sistem Biofilter Untuk Pengolahan Air Limbah Yang Mengandung Amoniak Konsentrasi Tinggi.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No 68 tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Tchobanoglous, G., & Schroeder, E. D. (1985). "Water Quality". Dalam "Water Quality: Characteristics, Modeling, Modification". Halaman 150-155.