

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik di Kota X

Mohamad Rangga Sururi, Gilang Ramadhan*, Geovania Alves Belo, Ilma Azizah, Mila Dirgawati

Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Nasional, Bandung

*Koresponden email: gilang.ramadhan@mhs.itenas.ac.id

Diterima: 6 Oktober 2025

Disetujui: 7 November 2025

Abstract

Rapid population growth in urban areas of Indonesia, particularly in satellite cities such as City X, has led to an increase in domestic wastewater generation. This condition causes negative impacts on the environment, especially on the quality of water bodies and public health. Limited land availability, uneven distribution of sanitation services, and fluctuations in pollutant loads are major challenges in domestic wastewater management. To address these issues, the construction of a Wastewater Treatment Plant (WWTP) is planned with characteristics of small land footprint, low operational costs, and the ability to accommodate fluctuating pollutant loads. The WWTP service area is planned to cover 591,514 m², with the projected population at the end of the planning period reaching 9.072 people in 2088. Wastewater entering the WWTP system has the following characteristics: BOD 162 mg/L, COD 268 mg/L, TSS 210 mg/L, ammonia 48,57 mg/L, and total coliform 22×10^8 MPN/100 mL. The proposed treatment design alternatives include: a bar screen with dimensions of 2,4 m × 0,5 m × 0,5 m, grit chamber 13,5 m × 10 m × 1 m, grease trap 8,5 m × 2,82 m × 1,19 m, equalization tank 24 m × 24 m × 2 m, MBBR 20,57 m × 4,57 m × 4,57 m, and a disinfection unit 29,76 m × 1,25 m × 3 m. The treated wastewater is expected to comply with domestic wastewater quality standards in accordance with the Regulation of the Minister of Environment and Forestry No. 68 of 2016. The total land area required for this WWTP is 856,6 m².

Keywords: *x city, dwwtp, satellite city, waste water, wwtp design*

Abstrak

Pertumbuhan penduduk yang cepat di kawasan perkotaan Indonesia, terutama pada kota satelit seperti Kota X, hal ini menyebabkan meningkatnya timbunan limbah cair domestik. Kondisi ini menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, terutama terhadap kualitas badan air dan kesehatan masyarakat. Keterbatasan lahan, distribusi sanitasi yang tidak merata, serta fluktuasi beban polutan menjadi kendala utama pada pengolahan limbah cair domestik. Untuk menangani permasalahan tersebut, direncanakan pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan karakteristik lahan berskala kecil, biaya operasional rendah, dan kemampuan menyesuaikan dengan debit polutan yang fluktuatif. Wilayah pelayanan IPAL direncanakan seluas 591.514 m² dengan jumlah penduduk akhir tahun perencanaan diproyeksikan mencapai 9.072 jiwa pada tahun 2088. Limbah cair yang diterima oleh sistem IPAL memiliki karakteristik BOD 162 mg/L, COD 268 mg/L, TSS 210 mg/L, amonia 48,57 mg/L, serta total koliform 22×10^8 MPN/100 mL. Alternatif desain pengolahan yang diusulkan meliputi: *bar screen* dengan dimensi 2,4 m × 0,5 m × 0,5 m, *grit chamber* 13,5 m × 10 m × 1 m, *grease trap* 8,5 m × 2,82 m × 1,19 m, bak ekualisasi 24 m × 24 m × 2 m, MBBR 20,57 m × 4,57 m × 4,57 m, serta unit desinfeksi 29,76 m × 1,25 m × 3 m. Air limbah yang diolah diharapkan memenuhi standar baku mutu air limbah domestik sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016. Total luas lahan yang dibutuhkan untuk IPAL ini adalah 856,6 m².

Kata Kunci: *kota x, ipald, kota satelit, air limbah, desain ipal*

1. Pendahuluan

Sebagai negara berkembang, Indonesia masih menghadapi tantangan signifikan terkait pengelolaan limbah. Praktik pembuangan limbah secara sembarangan oleh masyarakat telah menyebabkan berbagai bentuk pencemaran lingkungan [1]. Akibatnya, sungai-sungai yang melintasi wilayah administratif Kabupaten Bandung, Kota Bandung, dan Kabupaten Bandung Barat mengalami permasalahan serius berupa pencemaran akibat limbah domestik [2]. Fenomena tersebut dipicu oleh peningkatan jumlah penduduk yang signifikan di kawasan metropolitan di Indonesia, terutama di kawasan kota satelit yang mengalami pertumbuhan cepat seiring dengan berkembangnya aktivitas ekonomi pada sektor perdagangan, jasa, dan pendidikan. Akibatnya, terjadi peningkatan permintaan akan perumahan dan permukiman yang

berdampak pada perubahan tata guna lahan dan struktur perkotaan [3]. Pertumbuhan populasi yang pesat di kawasan Kota X mengakibatkan peningkatan signifikan dalam produksi limbah domestik. Hal ini menimbulkan beban semakin berat bagi lingkungan, terutama terkait dengan kualitas sumber daya air [4].

Kabupaten Bandung Barat tahun 2022 mencatat indeks kesehatan masyarakat sebesar 81,22% [5]. Kondisi sanitasi yang relatif baik di wilayah ini berkontribusi pada pencapaian indeks tersebut. Namun, akses terhadap sanitasi yang layak masih belum merata, khususnya di beberapa wilayah, serta keterbatasan area untuk pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPALD) di kawasan kota satelit akibat tingginya kepadatan permukiman. Kondisi ini berpotensi menimbulkan kontaminasi sumber air tanah dan meningkatkan risiko penyakit diare. Oleh karena itu, pembangunan IPAL diperlukan sebagai sistem yang dirancang untuk mengurangi polutan lingkungan melalui proses pengolahan limbah cair sebelum dialirkan ke badan air penerima. Berdasarkan data WHO dan UNICEF, sekitar 60% masyarakat Indonesia belum menerapkan teknologi IPAL, menunjukkan rendahnya kesadaran dan adopsi masyarakat terhadap pengelolaan limbah domestik yang memadai. IPAL dapat menjadi solusi efektif bagi wilayah perkotaan dengan kepadatan penduduk tinggi dan keterbatasan lahan [6]. Penanganan permasalahan ini membutuhkan kerja sama antara pengembang Kota X, petugas kesehatan, dan masyarakat untuk meningkatkan kualitas sanitasi serta ketersediaan air bersih secara merata [7]. Dengan demikian, perancangan dan konstruksi fasilitas pengolahan air limbah yang memadai menjadi langkah penting dalam menjaga keberlanjutan lingkungan perkotaan [4].

Kota X, sebuah kawasan permukiman skala besar seluas 12.500.000 m² yang terletak di wilayah administratif Kecamatan Padalarang dan Batujajar, Kabupaten Bandung Barat. Kawasan Kota X telah menerapkan sistem pengolahan air limbah secara terpusat atau komunal. Masing-masing rumah tangga di kawasan ini dilengkapi dengan jaringan perpipaan yang terhubung langsung ke fasilitas pengolahan air limbah pusat. Air limbah dari seluruh rumah tangga kemudian dikumpulkan dan diolah di fasilitas ini. Sistem ini menggunakan jaringan saluran bawah tanah atau gorong-gorong untuk menyalurkan air limbah yang masuk ke unit pengolahan. Limbah cair yang telah diolah dapat dimanfaatkan kembali untuk keperluan non-konsumsi, seperti irigasi tanaman [8]. Sementara itu, air limbah yang tidak digunakan dialirkan ke Waduk Saguling dengan tetap memastikan bahwa kualitasnya memenuhi standar mutu sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 [9]. Tujuan dari pengelolaan ini adalah untuk mencegah penurunan mutu air di waduk tersebut. Namun, perkembangan Kota X yang pesat, khususnya pada kawasan-kawasan klaster baru, menuntut adanya peningkatan kapasitas pengolahan air limbah. Perencanaan IPAL merupakan langkah strategis untuk mengatasi permasalahan lingkungan yang timbul akibat belum optimalnya pengelolaan limbah cair di Kota X [10].

Menurut Ekasuci [11], hasil dari evaluasi pemanfaatan program IPAL kepada masyarakat menunjukkan bahwa masih kurangnya pemahaman masyarakat tentang IPAL, serta masih kurangnya peran serta masyarakat dalam merawat IPAL, sehingga IPAL seringkali menjadi mudah rusak dan menimbulkan bau tidak sedap. Sehingga, diperlukan sistem *Moved Bed Biofilm Reactor* (MBBR) karena memiliki efisiensi pengolahannya yang tinggi, kebutuhan lahan yang relatif kecil, biaya operasional dan perawatan yang rendah, serta kemampuannya dalam mengatasi debit beban polutan yang fluktuatif [12]. Sejalan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) pada poin 6, yang menekankan pentingnya penyediaan dan pengelolaan air minum serta sanitasi berkelanjutan untuk seluruh masyarakat, pengolahan air limbah menjadi aspek yang semakin krusial untuk diimplementasikan [13]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang IPALD skala kawasan pada Kota X, dengan sasaran mencegah penyebaran penyakit berbasis air serta meningkatkan kualitas hidup masyarakat melalui perluasan akses layanan pengolahan air limbah di wilayah tersebut. Dengan demikian, pembangunan IPAL berperan penting dalam meminimalisir dampak negatif terhadap ekosistem dan kesehatan masyarakat.

2. Metode Perencanaan

Pengumpulan Data

Perencanaan ini disusun dengan memanfaatkan data sekunder dari literatur ilmiah, peraturan pemerintah, dan penelitian terdahulu. Data hasil perolehan mencakup komposisi air limbah domestik sebagai representasi kondisi Kota X, standar kebutuhan air bersih perkotaan, standar kualitas air limbah domestik, standar perencanaan yang digunakan untuk memperhitungkan laju aliran air limbah domestik, serta menentukan dimensi masing-masing unit IPALD yang direncanakan.

Pengolahan Data

Estimasi kuantitas air limbah diawali dengan analisis tata guna lahan dan kapasitas hunian. Proyeksi jumlah penduduk dihitung dengan menggunakan metode geometri, kemudian hasilnya dikonversi menjadi

estimasi kebutuhan air bersih. Selanjutnya, volume timbunan air limbah diproyeksikan mencapai sekitar 80% dari total konsumsi air bersih. Proyeksi fasilitas didasarkan pada analisis tata guna lahan yang telah ditetapkan. Mengingat zona kawasan non-domestik di Kota X telah bersifat permanen, maka proyeksi fasilitas non-domestik sepenuhnya mengacu pada konfigurasi tata guna lahan yang ada saat ini. Sehingga, untuk proyeksi penduduk [14] dan proyeksi fasilitas [15] digunakan persamaan berikut :

$$P_n = P_0(1 + r)^n$$

$$\text{Fasilitas } T_n = \frac{\text{Jumlah jiwa } T_n - \text{Jumlah jiwa di } T_{n-1}}{\text{Standar fasilitas}} + \text{Jumlah unit di } T_n$$

Evaluasi kualitas air limbah domestik dilakukan dengan membandingkan konsentrasi masing-masing parameter terhadap standar mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Mengingat sistem pengolahan air limbah di Kota X belum beroperasi, perencanaan ini menggunakan data kualitas air limbah domestik yang bersumber dari literatur ilmiah. Hasil analisis tersebut dimanfaatkan untuk mengidentifikasi parameter yang melebihi standar mutu, selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi penyisihan guna menentukan tingkat reduksi yang dibutuhkan pada setiap unit pengolahan.

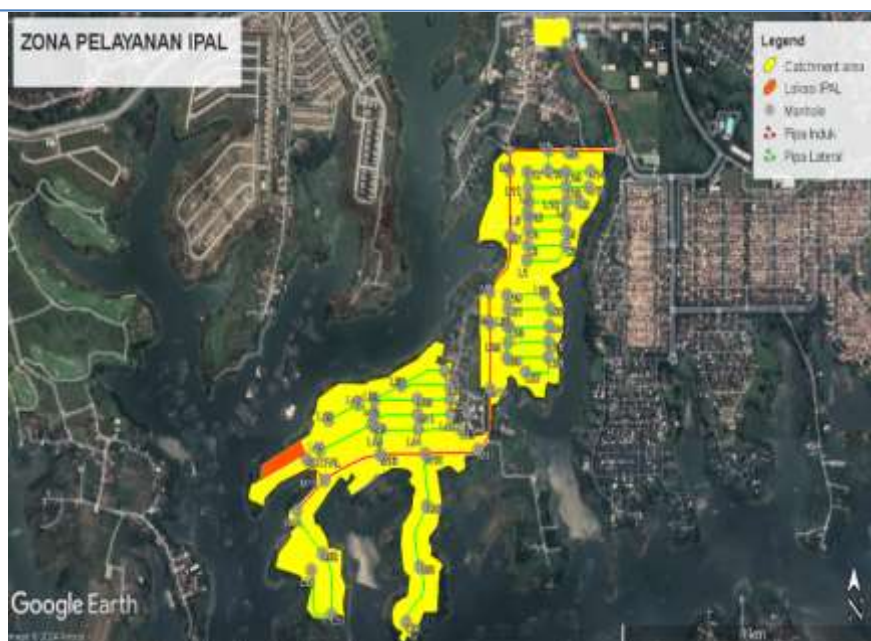
Perencanaan Dimensioneering Alternatif Pengolahan

Pada tahapan ini, pemilihan teknologi IPALD dilakukan dengan menggunakan metode *Weighted Ranking Technique* (WRT). Metode ini merupakan pendekatan komparatif yang menilai alternatif berdasarkan pembobotan terhadap parameter- parameter yang dianggap relevan [16]. Sistem IPAL yang direncanakan terdiri atas beberapa unit pengolahan yang tersusun secara berurutan, yaitu: bar screen, grit chamber, grease trap, bak ekualisasi, Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), serta bak desinfeksi. Setelah teknologi pengolahan dipilih, dilakukan perhitungan dimensi pada setiap unit pengolahan, yang kemudian dijadikan dasar dalam penyusunan rancangan detail desain.

3. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Air Limbah

Luas wilayah yang menjadi cakupan pelayanan pengolahan air limbah direncanakan seluas 591.514 m², yang merupakan bagian dari kawasan perkotaan Kota X dengan total luas 12.500.000 m². Lokasi IPAL direncanakan pada lahan hijau seluas 8.339 m². Lokasi IPAL dipilih berdasarkan aspek tata guna lahan, topografi (elevasi terendah), dan risiko bencana (bebas banjir). Selain itu, lokasi IPAL yang berdekatan dengan Waduk Saguling dimanfaatkan sebagai badan air penerima dari efluen hasil pengolahan. Tujuan utama dari pengolahan air limbah adalah menurunkan konsentrasi polutan sehingga memenuhi standar mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 [17]. Sehingga, efluen dapat dibuang menuju badan air penerima tanpa menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Pada **Gambar 1** menunjukkan peta zona pelayanan yang menjadi area layanan IPAL beserta titik lokasi IPAL yang direncanakan. Kemudian pada **Tabel 1** menunjukkan jumlah rumah pada setiap klaster di kawasan Kota X yang digunakan untuk menghitung jumlah penduduk pada akhir tahun perencanaan.



Gambar 1. Zona Pelayanan SPALDT Di Kota X

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tabel 1. Rincian Jumlah Tiap Jenis Klaster Di Kawasan Kota X

Klaster	Jumlah	Luas Rumah (m ²)	Luas Wilayah (m ²)
Tatar Naganingrum	246	300	100.000
Tatar Candraesmi	204	300	110.000
Tatar Purbasari	221	200	90.000
Tatar Teja Kencana	35	400	90.000
Tatar Titiswara	28	700	70.000
Tatar Subanglarang	47	400	50.000
Tatar Kumalasinta	25	300	60.000

Sumber: Hasil Observasi, 2025

Perhitungan persentase tata guna lahan diketahui setelah mengetahui luas persentase ruang terbuka hijau Kota X yaitu 48% dari luas total kawasan, kemudian luas persentase sarana prasarana didapatkan sebesar 52% dibandingkan dengan kapasitas hunian yang ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$nr_n = \frac{\text{luas klaster (m}^2\text{)}}{\text{luas rumah m}^2\text{/rumah}}$$

$$P \text{ akhir perencanaan} = nr_n \times \text{jumlah jiwa per KK}$$

$$\text{Jumlah P akhir perencanaan} = nr_1 + nr_2 + \dots nr_n$$

Keterangan :

nr_n = Jumlah rumah akhir tahun perencanaan klaster n

P akhir perencanaan = Jumlah penduduk akhir tahun perencanaan klaster n

Jumlah P akhir perencanaan = Jumlah penduduk akhir tahun perencanaan pada semua klaster

Total jumlah penduduk berdasarkan hasil perhitungan pada akhir periode perencanaan adalah sebesar 9.000 jiwa. Perhitungan proyeksi penduduk dimulai dari tahun 2024 sebagai tahun eksisting dengan jumlah penduduk sebesar 4.030 jiwa, kemudian dilakukan proyeksi penduduk menggunakan laju pertumbuhan penduduk rata-rata Kabupaten Bandung Barat tahun 2020 hingga 2024 yaitu 0,012. Berdasarkan proyeksi penduduk menggunakan metode geometri, diperoleh jumlah penduduk sebesar 9.072 jiwa pada tahun 2088, yang ditetapkan sebagai akhir periode perencanaan.

Estimasi debit air limbah domestik di Kota X dilakukan dengan mengasumsikan bahwa 80% berasal dari kebutuhan air bersih sejumlah 372,26 L/orang.hari akan menjadi air limbah. Dengan demikian, diperoleh debit air limbah sebesar 298 L/orang.hari. Komposisi air limbah yang menjadi acuan penelitian ini diperoleh dari literatur yang memiliki jumlah penduduk lebih besar dari jumlah penduduk akhir tahun

perencanaan, yakni 14.490 jiwa [1]. Standar mutu air limbah domestik mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016 [9]. Komposisi awal air limbah ditampilkan pada Tabel 2.

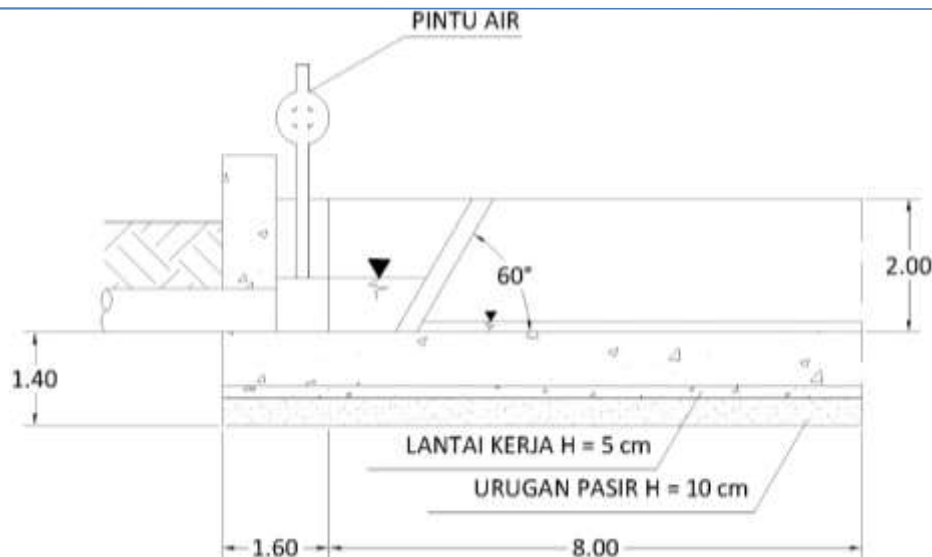
Tabel 2. Komposisi Air Limbah Domestik Awal

Parameter	Konsentrasi [1]	Satuan	Standar Mutu [9]	Keterangan
pH	6,95	-	6-9	Sesuai
BOD	162	mg/L	30	Tidak sesuai
COD	268	mg/L	100	Tidak sesuai
Rasio BOD/COD	0,6	-	-	-
TSS	210	mg/L	30	Tidak sesuai
Minyak & Lemak	20	mg/L	5	Tidak sesuai
Amonia	48,57	mg/L	10	Tidak sesuai
Total Koliform	28×10^8	MPN/100 ml	3000	Tidak sesuai

Perencanaan IPAL

Bar screen direncanakan sebagai unit pertama bersama dengan saluran pembawa yang berfungsi untuk penyaringan kasar [18]. Dimensi *bar screen* untuk ukuran panjang $\times$ lebar $\times$ tinggi adalah 2,4 m $\times$ 0,5 m $\times$ 0,5 m. Perhitungan *bar screen* diawali dengan ditetapkan faktor maksimum harian (fmd) sebesar 1,8, *safety factor* 7,5%, kecepatan saluran pembawa (vsp) 0,6 m/s, lebar saluran pembawa (Lsp) 0,5 m, *free board* 20%, kedalaman 0,5-7,5 m, lebar bar (w) 0,08 m, jarak batang (b) 0,05 m, kemiringan horizontal (sin) 60°, kecepatan saluran penyaring (v) 0,6 m/s [19] [20]. Perhitungan *bar screen* disajikan sebagai berikut. Rancangan *bar screen* yang diterapkan dalam penelitian ini ditampilkan pada **Gambar 2**.

1. $Q_{md} = Q_{avg} \times F_{md} = 0,031 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,8 = 0,056 \text{ m}^3/\text{s}$
2. $Q_{total} = Q_{md} + (safety\ factor \times Q_{md}) = 0,056 \text{ m}^3/\text{s} + (7,5\% \times 0,056 \text{ m}^3/\text{s}) = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$
3. $A_c = \frac{Q_{total}}{v_{sp}} = \frac{0,06 \text{ m}^3/\text{s}}{0,6 \text{ m/s}} = 0,1 \text{ m}^2$
4. $H_{efektif} = \frac{A_c}{L_{sp}} = \frac{0,1 \text{ m}^2}{0,5 \text{ m/s}} = 0,2 \text{ m}$
5. $H_{fb} = free\ board \times H_{efektif} = 20\% \times 0,2 \text{ m} = 0,04 \text{ m}$
6. $H_{total} = H_{efektif} + H_{fb} = 0,2 + 0,04 \text{ m}$ (tidak memenuhi kriteria desain 0,5 – 0,75 m, sehingga H_{total} menggunakan ketinggian minimum dari kriteria desain, yaitu 0,5 m)
7. $LSP = n \times w + ((n + 1) \times b)$
 $0,5 \text{ m} = n \times 0,08 \text{ m} + ((n + 1) \times 0,05 \text{ m})$
 $0,5 \text{ m} = 0,08 n + (0,05 \text{ m}) n + 0,05 \text{ m}$
 $0,5 \text{ m} - 0,05 \text{ m} = (0,13 \text{ m}) n$
 $n = \frac{0,45 \text{ m}}{0,13 \text{ m}} = 3,5 \sim 4 \text{ buah}$
8. $W_{ef} = (n + 1) \times b = (4+1) \times 0,05 \text{ m} = 0,25 \text{ m}$
9. $H' = H_{ef}/\sin = 0,02 \text{ m}/\sin 60^\circ = 0,231 \text{ m}$
10. $A_{c'} = W_{ef} \times H' = 0,25 \text{ m} \times 0,231 \text{ m} = 0,058 \text{ m}^2$
11. $v' = \frac{W_{ef} \times v}{A_{c'}} = \frac{0,25 \text{ m} \times 0,6 \text{ m/s}}{0,058 \text{ m}^2} = 1,035 \text{ m/s}$
12. $h_v = \frac{v'^2}{2g} = \frac{1,035^2 \text{ m/s}}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 0,055 \text{ m}$
13. $\Delta H = \beta \times \left(\frac{w}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \times h_v \times \sin \alpha = 1,79 \times \left(\frac{0,08 \text{ m}}{0,05 \text{ m}}\right)^{\frac{4}{3}} \times 0,055 \times \sin 60^\circ = 0,16 \text{ m}$
14. $H'_{ef} = H_{ef} - \Delta H = 0,2 \text{ m} - 0,16 \text{ m} = 0,04 \text{ m}$



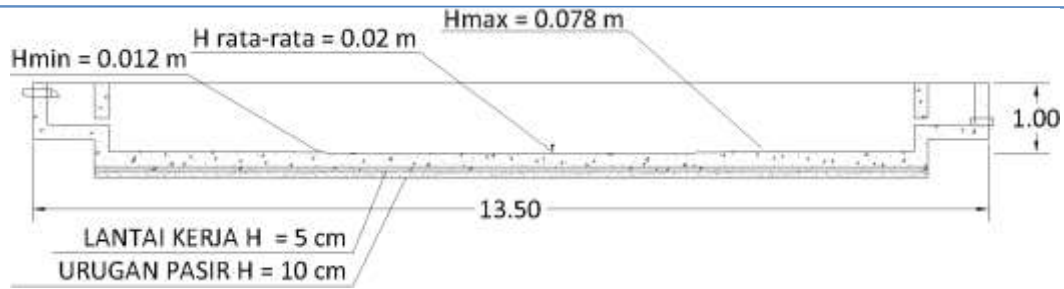
Gambar 2. Desain Bar Screen

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Setelah melewati unit *bar screen*, aliran air limbah dialirkan menuju *grit chamber* untuk menyisahkan partikel diskrit, serta material *grit* yang memiliki tingkat kepadatan lebih tinggi dibandingkan partikel tersuspensi dalam limbah cair. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya penyumbatan serta terbentuknya endapan pasir pada tahap selanjutnya [21]. Waktu detensi untuk *grit chamber* adalah 45 detik. Dimensi optimal bak *grit chamber* yang diperoleh berdasarkan perhitungan panjang $\times$ lebar $\times$ tinggi adalah 13,5 meter $\times$ 10 meter $\times$ 1 meter. Menurut Metcalf [12], bahwa *grit chamber* memiliki waktu detensi (td) antara 45-90 detik. Perhitungan *grit chamber* disajikan sebagai berikut.

1. $Q_{\max} = 2,5 \times Q_{\text{avg}} = 2,5 \times 0,031 \text{ m}^3/\text{s} = 0,078 \text{ m}^3/\text{s}$
2. $Q_{\min} = \frac{Q_{\max}}{5} = \frac{0,078 \text{ m}^3/\text{s}}{5} = 0,016 \text{ m}^3/\text{s}$
3. $Q_{\text{emg max}} = Q_{\max} \times 150\% = 0,078 \text{ m}^3/\text{s} \times 150\% = 0,117 \text{ m}^3/\text{s}$
4. $Q_{n_{\max}} = \frac{Q_{\max}}{\text{jumlah saluran}} = \frac{0,078 \text{ m}^3/\text{s}}{2} = 0,039 \text{ m}^3/\text{s}$
5. $H = \frac{3Q}{2tv} = \frac{3 \times 0,039 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \times 2,5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m/s}} = 0,078 \text{ m}$
6. $\frac{v_c^2}{2g} = \frac{1}{3,1} \times \left(H + \frac{V^2}{2g} \right) = \frac{1}{3,1} \times \left(0,078 \text{ m} + \frac{(0,3 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} \right) = 0,027 \text{ m}$
7. $dc = 2 \times \frac{v_c^2}{2g} = 2 \times 0,027 \text{ m} = 0,054 \text{ m}$
8. $V_c = \sqrt{2 \times g \times \frac{v_c^2}{2g}} = \sqrt{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,027 \text{ m}} = 0,728 \text{ m/s}$
9. $Ac = \frac{Q_{n_{\max}}}{V_c} = \frac{0,039 \text{ m}^3/\text{s}}{0,728 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,054 \text{ m}^2$
10. $w = \frac{Ac}{dc} = \frac{0,054 \text{ m}^2}{0,054 \text{ m}} = 1 \text{ m}$
11. $t_d = \frac{H}{v_s} = \frac{0,078 \text{ m}}{1,15 \text{ m/min}} = 0,07 \text{ min} \sim 4,2 \text{ s}$, (tidak memenuhi kriteria desain 45 – 90 detik, sehingga waktu detensi menggunakan waktu minimum dari kriteria desain, yaitu 45 detik)
12. $L = t_d \times v = 45 \text{ s} \times 0,3 \text{ m/s} = 13,5 \text{ m}$

Rancangan *grit chamber* yang diterapkan dalam penelitian ini ditampilkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Desain Grit Chamber
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Tahapan berikutnya, air limbah dialirkan menuju *grease trap* yang berperan dalam pemisahan minyak dan lemak dari aliran limbah [22]. Waktu detensi bak *grease trap* adalah 5 menit. Dimensi optimal panjang × lebar × tinggi bak penahan lemak yang didapatkan adalah 8,5 meter × 2,82 meter × 1,19 meter. Menurut Dirjen Cipta Karya [19], bahwa *grease trap* memiliki waktu detensi sebesar ± 30 menit, jumlah kompartemen sebanyak 2 unit, panjang kompartemen pertama sebesar $\frac{2}{3} \times P$ meter, panjang kompartemen kedua sebesar $\frac{1}{3} \times P$ meter, *manhole* minimum sebesar 0,6 meter, dan kecepatan aliran sebesar 5 m/jam. Perhitungan *grease trap* disajikan sebagai berikut.

$$1. V = Q \times td = 0,031 \text{ m}^3/\text{s} \times 300 \text{ s} = 9,3 \text{ m}^3$$

$$2. A = \frac{Q}{v} = \frac{0,031 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0013 \text{ m/s}} = 23,846 \text{ m}^2$$

$$3. 3L \times L = A$$

$$3 L^2 = 23,846 \text{ m}^2$$

$$L = \sqrt{\frac{23,846 \text{ m}^2}{3}} = 2,819 \text{ m}$$

$$P = 3L = 3 \times 2,819 \text{ m} = 8,458 \text{ m}$$

$$4. \text{Panjang kompartemen I} = \frac{2}{3} \times P = \frac{2}{3} \times 8,458 \text{ m} = 5,639 \text{ m}$$

$$5. \text{Panjang kompartemen II} = \frac{1}{3} \times P = \frac{1}{3} \times 8,458 \text{ m} = 2,819 \text{ m}$$

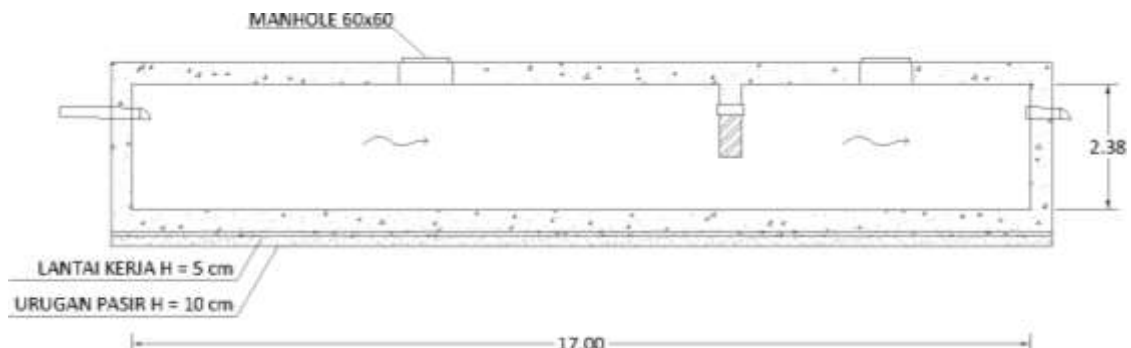
$$6. H_{\text{air}} = \frac{\text{Volume dibutuhkan}}{A'} = \frac{9,3 \text{ m}^3}{23,843 \text{ m}^2} = 0,39 \text{ m}$$

$$7. H_{\text{total}} = H_{\text{air}} + H_p + H_s + \text{freeboard}$$

$$H_{\text{total}} = 0,39 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m} = 1,19 \text{ m}$$

$$td = \frac{V}{Q} = \frac{9,3 \text{ m}^3}{0,031 \text{ m}^3/\text{s}} = 5 \text{ menit}$$

Rancangan *grease trap* yang diterapkan dalam penelitian ini ditampilkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Desain Grease Trap
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Setelah melewati unit *grease trap*, limbah cair masuk ke bak ekualisasi (TAR) yang berfungsi dalam menstabilkan fluktuasi aliran dan karakteristik aliran, sehingga diperoleh kualitas limbah yang lebih homogen dengan debit yang konstan [12]. Bak ekualisasi didapatkan waktu detensi selama 4,8 jam.

Dimensi optimal bak ekualisasi untuk panjang $\times$ lebar $\times$ tinggi adalah 24 meter $\times$ 24 meter $\times$ 2 meter. Menurut Metcalf [12], bahwa bak ekualisasi memiliki kedalaman minimum antara 1,5 hingga 2 meter dan ambang batas sebesar 1 meter. Perhitungan bak ekualisasi disajikan sebagai berikut.

1. Volume Limas Total

$$VT = \frac{1}{3} \times \text{luas permukaan limas; dimana } a = 3t$$

$$= \frac{1}{3} \times (2a)^2 \times t = 12t^2 = 12 (x + 5)^3 = 12 (x^3 + 15x^2 + 75x + 125)$$

2. Volume Limas yang Dipancang

$$V_{\text{terpancang}} = \frac{1}{3} \times \text{luas permukaan limas; dimana } b = 3x$$

$$= \frac{1}{3} \times (2b)^2 \times x = 12x^3$$

3. Panjang Sisi TAR

$$VTAR = VT - V_{\text{terpancang}}$$

$$m^3 = (12 (x^3 + 6x^2 + 8x + 12)) - 12x^3$$

$$m^3 = (12x^3 + 72x^2 + 144x + 96) - 12x^3$$

$$0 = 72x^2 + 144x + 96 - V_{\text{tar}} m^3$$

$$0 = 72x^2 + 144x + 96 - 111,6 m^3$$

$$0 = 72x^2 + 144x - 15,6$$

$$X = \frac{b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$X = \frac{144 \pm \sqrt{144^2 - (4 \times 72 - 15,6)}}{2 \times 72}$$

$$X = \frac{144 \pm \sqrt{20.463,6}}{2 \times 72}$$

$$X_1 = \frac{144 + \sqrt{20.463,6}}{2 \times 72} = 1,99$$

$$X_2 = \frac{144 - \sqrt{20.463,6}}{2 \times 72} = 0,006$$

Jadi, nilai $X = 1,99$

$$a = 3t$$

$$t = x + 2 = 3 \times (x + 2) = 3 (1,99 + 2) = 11,97 \text{ m}$$

4. Panjang dan Lebar TAR yang dibutuhkan adalah 2a, sehingga,

$$\text{Panjang dan Lebar TAR} = 2a = 2 \times 11,97 \text{ m} = 23,94 \text{ m} \sim 24 \text{ m}$$

5. Kedalaman dan Ketinggian TAR

$$\text{Kedalaman} = t - 2 \text{ m} = (a + 2) \text{ m} - 2 \text{ m} = (1,99 + 2) \text{ m} - 2 \text{ m} = 1,99 \text{ m}$$

6. Ketinggian Total = kedalaman Tangki + *free board* = 1,99 m + 1 m = 2,99 m, (melebihi kriteria desain 1,5 – 2 meter, sehingga kedalaman menggunakan kriteria desain maksimum, yaitu 2 meter)

7. Perhitungan Waktu Detensi (td)

$$td = \frac{V}{Q}$$

$$td = \frac{V}{Q} = \frac{111,6 \text{ m}^3}{0,031 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} \times \frac{1 \text{ s}}{3600 \text{ jam}} = 1 \text{ jam}$$

Rancangan bak ekualisasi yang diterapkan dalam penelitian ini ditampilkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Desain Bak Ekualisasi
Sumber: Hasil Analisis, 2025

Pada *secondary treatment*, aliran air limbah didistribusikan menuju unit MBBR yang merupakan reaktor biologi yang mengadopsi sistem *fluidized attached growth* di mana mikroorganisme membentuk biofilm pada media pengisi yang bergerak bebas. Proses pengolahan limbah pada MBBR melibatkan kondisi aerobik dan anoksik secara bergantian, yang memungkinkan terjadinya nitrifikasi dan denitrifikasi, sehingga efektif dalam mereduksi kandungan nitrogen [23]. Di dalam unit MBBR, terdapat dua reaktor BOD *removal* dengan waktu detensi selama 1 jam, dan dua reaktor nitrifikasi *removal* dengan waktu detensi selama 1,6 jam. Sehingga, pada reaktor pertama BOD *removal* MBBR memiliki dimensi panjang × lebar × tinggi sebesar 1,35 m × 4,57 m × 4,57 m. Sedangkan, pada reaktor kedua BOD *removal* MBBR memiliki dimensi panjang × lebar × tinggi yang digunakan adalah 1,22 m × 4,57 m × 4,57 m. Terakhir, dimensi untuk dua reaktor nitrifikasi *removal* dengan panjang × lebar × tinggi adalah 9 m × 4,57 m × 4,57 m. Setelah melalui proses pengolahan biologi, air limbah dialirkan melalui bak pengendap dengan dimensi yang direncanakan untuk panjang × lebar × tinggi adalah 2 m × 4,57 m × 4,57 m. Merujuk pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4/PRT/M/2017 mengenai Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik (SPALD) [24]. Kriteria desain MBBR mencakup waktu retensi hidrolik (HRT) untuk kondisi anoksik antara 0,5 hingga 2 jam dan aerobik antara 1 hingga 4 jam. Perhitungan MBBR disajikan sebagai berikut.

1. Menentukan volume media plastik yang dibutuhkan dan volume tangki untuk reaktor pertama

$$i. \text{Applied BOD flux} = \frac{\text{BOD removal flux}}{(\% \text{BOD removal}/100)} = \frac{12 \text{ g/m}^2 \cdot \text{hari}}{0,75} = 16 \text{ gr BOD/m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$ii. \text{Luas media} = \frac{\text{BOD application rate}}{\text{applied BOD flux}} = \frac{(2.678,4 \text{ m}^3/\text{hari})(42 \text{ mg/l})}{16 \text{ gr BOD/m}^2 \cdot \text{hari}} = 7.030,800 \text{ m}^2$$

$$iii. \text{Media volume} = \frac{7.030,800 \text{ m}^2}{500 \text{ m}^2/\text{m}^3} = 14,062 \text{ m}^3$$

$$iv. \text{Volume tangki reaktor pertama} = \frac{14,062 \text{ m}^3}{(0,5 \text{ m}^3/\text{m}^3)} = 28,124 \text{ m}^3$$

$$v. \text{Hydraulic retention time, } t_d = \frac{V}{Q} = \frac{28,124 \text{ m}^3}{2.678,4 \text{ m}^3/\text{hari}} \left(\frac{24 \text{ jam}}{\text{hari}} \right) = 0,252 \text{ jam} \approx 15 \text{ menit}$$

2. Menentukan volume media plastik yang dibutuhkan dan volume tangki untuk reaktor kedua

$$i. \text{Applied BOD flux} = \frac{\text{BOD removal flux}}{(\% \text{BOD removal}/100)} = \frac{4 \text{ g/m}^2 \cdot \text{hari}}{0,90} = 4,44 \text{ gr BOD/m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$ii. \text{Area media: BOD yang tersisa di reaktor kedua} = 0,25 \left(2.678,4 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) \left(42 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) \\ = 28.123,200 \text{ gr BOD/h} = \frac{28.123,200 \text{ gr BOD/hari}}{4,44 \text{ gr BOD/m}^2 \cdot \text{hari}} = 6.334,054 \text{ m}^2$$

$$iii. \text{Media volume} = \frac{6.334,054 \text{ m}^2}{500 \text{ m}^2/\text{m}^3} = 12,668 \text{ m}^3$$

$$iv. \text{Volume tangki reaktor pertama} = \frac{12,668 \text{ m}^3}{(0,5 \text{ m}^3/\text{m}^3)} = 25,336 \text{ m}^3$$

$$v. \text{Hydraulic retention time, } t_d = \frac{V}{Q} = \frac{25,336 \text{ m}^3}{2.678,4 \text{ m}^3/\text{hari}} \left(\frac{24 \text{ jam}}{\text{hari}} \right) = 0,227 \text{ jam} \approx 14 \text{ menit}$$

3. Menentukan NH₄-N yang tersedia untuk nitrifikasi setelah konsumsi nitrogen untuk sintesis bakteri heterotrofik dari penghapusan BOD

$$i. P_{x,bio} = \frac{Q(Y_H)(BOD)}{[1+b_H(SRT)]} + \frac{f_d(b_H)Q(Y_H)(BOD)SRT}{[1+b_H(SRT)]} \\ \frac{P_{x,bio}}{Q} = \frac{(Y_H)(BOD)[1 + f_d(b_H)(SRT)]}{[1 + b_H(SRT)]}$$

$$ii. b_{H,12} = b_{H,20}(1,04)^{12-20} = (0,12 \text{ gr/gr} \cdot \text{hari})(1,04)^{12-20} = 0,087 \text{ gr/gr} \cdot \text{hari}$$

$$iii. Y_H = 0,45 \text{ gr VSS / gr bCOD (1,7 gr bCOD/ gr BOD)} = 0,77 \text{ gr VSS / gr BOD}$$

$$iv. \frac{P_{x,bio}}{Q} = \frac{(0,77 \text{ gr VSS / gr BOD})(42 \text{ mg/l})[1+0,15(0,087 \text{ gr/gr} \cdot \text{hari})(6 \text{ hari})]}{[1+(0,087 \text{ gr/gr} \cdot \text{hari})(6 \text{ hari})]} = 22,912 \text{ VSS/m}^3$$

4. Menentukan amonia yang tersedia untuk nitrifikasi

$$i. \text{NH}_0 = \text{TKN} - (0,12 \text{ gr N / gr biomass}) \frac{P_{x,bio}}{Q}$$

$$ii. \text{NH}_0 = 35 \text{ gN/m}^3 - (0,12 \text{ gr N / gr biomass})(22,912 \text{ VSS/m}^3) = 32,251 \text{ gN/m}^3$$

5. Menentukan volume media dan volume tangki reaktor nitrifikasi

i. Sesuaikan flux DO yang dibatasi suhu:

$$J_{N,12} = 1,07 \text{ gN/m}^2 \cdot \text{hari}(1,058)^{(12-15)} = 0,90 \text{ gN/m}^2 \cdot \text{hari}$$

ii. Menentukan flux nitrifikasi pada reaktor nitrifikasi kedua dengan kondisi amonia minimum

$$J_{N,15} = \left[\frac{N}{\left(2,2 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}\right) + N} \right] 3,3 \text{ gN/m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$= \left[\frac{0,7 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}}{\left(2,2 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}\right) + 0,7 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} \right] (3,3 \text{ gN/m}^2 \cdot \text{hari}) = 0,797 \text{ gN/m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$J_{N,12} = 0,797 \text{ gN/m}^2 \cdot \text{hari} (1,098)^{(12-15)} = 0,60 \text{ gN/m}^2 \cdot \text{hari}$$

- iii. Rancanglah dua tangki dengan luas media yang sama (keduanya akan memiliki volume yang sama karena memiliki fraksi volume pengisian yang sama)

$$\text{Luas media} = \frac{(\text{gr N removed/hari})}{(\text{flux, gN/m}^2 \cdot \text{hari})}$$

Reaktor 3

$$\text{Luas media} = A_3 = \frac{[(32,251 - X) \text{ g N/m}^3] (2.678,4 \text{ m}^3/\text{hari})}{0,90 \text{ gN/m}^2 \cdot \text{hari}},$$

Dimana X = konsentrasi NH₄-N di reaktor

Reaktor 4

$$\text{Luas media} = A_4 = \frac{[(X - 0,70) \text{ g N/m}^3] (2.678,4 \text{ m}^3/\text{hari})}{0,60 \text{ gN/m}^2 \cdot \text{hari}},$$

$$A_3 = A_4$$

$$\frac{[(32,251 - X) \text{ g N/m}^3] (2.678,4 \text{ m}^3/\text{hari})}{0,90 \text{ gN/m}^2 \cdot \text{hari}} = \frac{[(X - 0,70) \text{ g N/m}^3] (2.678,4 \text{ m}^3/\text{hari})}{0,60 \text{ gN/m}^2 \cdot \text{hari}}$$

$$\text{Hasil untuk X; } X = 13,32 \text{ g N/m}^3$$

$$\text{Luas media untuk setiap tangki} = \frac{[(13,32 - 0,70) \text{ g N/m}^3] (2.678,4 \text{ m}^3/\text{hari})}{0,60 \text{ gN/m}^2 \cdot \text{hari}} = 56.335,68 \text{ m}^2$$

$$\text{iv. Volume media} = \frac{56.335,68 \text{ m}^2}{500 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}} = 112,671 \text{ m}^3$$

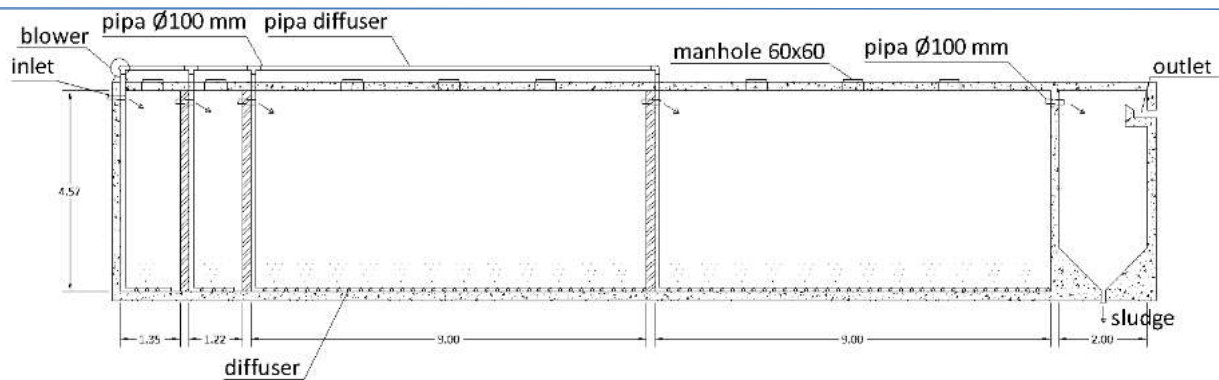
$$\text{v. Volume tangki reaktor nitrifikasi} = \frac{112,671 \text{ m}^3}{0,6 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}} = 187,785 \text{ m}^3$$

$$\text{vi. Hydraulic retention time, } t_d = \frac{Q}{V} = \frac{187,785 \text{ m}^3}{2.678,4 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} \left(\frac{24 \text{ jam}}{\text{hari}} \right) = 1,68 \text{ jam} \approx 101 \text{ menit}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui volume total tangki sebesar 429,030 m³ dengan waktu detensi pada BOD removal untuk reaktor 1 selama 15 menit dan reaktor 2 selama 14 menit, dikarenakan waktu detensi tidak sesuai dengan kriteria desain untuk aerobik HRT (1-4 jam), maka waktu detensi untuk BOD removal digunakan waktu detensi selama 1 jam. Sedangkan untuk nitrifikasi pada reaktor 3 dan 4 memiliki waktu detensi selama 101 menit atau 1,6 jam, yang dimana memiliki kesesuaian dengan kriteria desain anoxic HRT (0,5-2 jam), sehingga pada reaktor 3 dan 4 untuk nitrifikasi digunakan waktu detensi selama 1,6 jam. Pada tangki MBBR dibuat 4 reaktor dengan ukuran P:L:T tangki sebagai berikut :

1. Reaktor 1 BOD removal sebesar 1,35 m : 4,57 m : 4,57 m
2. Reaktor 2 BOD removal sebesar 1,22 m : 4,57 m : 4,57 m
3. Reaktor 3 Nitrifikasi sebesar 9 m : 4,57 m : 4,57 m.
4. Reaktor 4 Nitrifikasi sebesar 9 m : 4,57 m : 4,57 m.

Rancangan MBBR yang diterapkan dalam penelitian ini ditampilkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Desain MBBR

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Escherichia coli merupakan bakteri patogen yang pertumbuhannya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Bakteri ini tidak dapat bertahan hidup dalam kondisi aerobik atau terpapar [13]. Klorin berperan sebagai disinfektan yang efektif dalam menekan pertumbuhan bakteri dengan mekanisme penghambatan aktivitas respirasi, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kematian sel mikroorganisme. Namun, penggunaan klorin dalam konsentrasi yang tinggi dapat berdampak negatif pada kesehatan manusia [25]. Pada perencanaan ini menggunakan unit desinfeksi klorin sebagai disinfektan pada proses klorinasi untuk mereduksi populasi *Coliform*. Mekanisme kerjanya adalah dengan merusak struktur sel bakteri, termasuk asam nukleat dan enzim, yang mengakibatkan kematian sel [26]. Bak desinfeksi memiliki waktu detensi selama 90 menit. Dimensi bak desinfeksi untuk panjang $\times$ lebar $\times$ tinggi adalah 29,76 meter $\times$ 1,25 meter $\times$ 3 meter. Menurut Metcalf [12], desinfeksi klorin memiliki faktor puncak (peak factor) sebesar 2, waktu detensi (td) selama 90 menit, jumlah saluran minimal sebanyak 2, dan nilai dispersi kurang dari 0,015. Perhitungan desinfeksi disajikan sebagai berikut.

1. Rencanakan dimensi desinfeksi klorin, dan tentukan panjang serta kecepatan pada aliran puncak

- i. Dimensi rencana

Lebar = 1,25 m
Kedalaman = 3 m
Jumlah channel paralel = 3

- ii. Tentukan panjang yang dibutuhkan

$$P = \frac{(2 \times 2.678,4 \text{ m}^3/\text{hari})}{(3 \times 1.440 \text{ menit/hari})} \times (90 \text{ menit}) \times \frac{1}{(1,25 \times 3) \text{ m}} = 29,76 \text{ m}$$

- iii. Tentukan kecepatan pada aliran puncak

$$v = \frac{(2 \times 2.678,4 \text{ m}^3/\text{hari})}{(3 \times 1.440 \text{ menit/hari})(60 \text{ detik/menit})} \times \frac{1}{(1,25 \times 3) \text{ m}} = 0,0055 \text{ m/s}$$

2. Tentukan koefisien dispersi dan jumlah dispersi untuk bak desinfeksi klorin

- i. Hitunglah koefisien dispersi

$$D = 1.01 v N_R^{0,875}$$

- 1) Hitunglah bilangan Reynolds

$$N_R = \frac{4vR}{v}$$

v = kecepatan di saluran terbuka, LT^{-1} , (m/s)

R = radius hidrolis = luas/keliling basah, L (m)

$v = 0,0055 \text{ m/s}$

$\nu = 1,003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (pada 20°C)

$$N_R = \frac{(4)(0,0055 \text{ m/s})[(1,25 \text{ m} \times 3 \text{ m})/(2 \times 3 \text{ m} + 1,25 \text{ m})]}{1,003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 11.345$$

- 2) Tentukan koefisien dispersi

$$D = 1,01(1,003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})(11.345)^{0,875} = 8.484 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

- ii. Tentukan bilangan dispersi

$$d = \frac{D}{vL} = \frac{Dt}{L^2} = \frac{(8.484 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})(90 \text{ menit} \times 60 \text{ detik/menit})}{(29,76 \text{ m})^2} = 0,00005$$

Dikarenakan nilai dispersi yang dihitung (0,00005) lebih kecil dari kriteria desain (0,015), maka nilai dispersi diterima.

3. Hitunglah angka dispersi untuk bak desinfeksi klorin pada aliran rata-rata

i. Hitunglah bilangan Reynolds

$$N_R = \frac{4vR}{v}$$

$$v = \frac{0,0055}{2} = 0,0028 \text{ m/s}$$

$$v = 1,003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$N_R = \frac{(4)(0,0028 \text{ m/s})[(1,25 \text{ m} \times 3 \text{ m})/(2 \times 3 \text{ m} + 1,25 \text{ m})]}{1,003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 5.776$$

ii. Tentukan koefisien dispersi

$$D = 1.01vN_R^{0,875}$$

$$D = 1,01(1,003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})(5.776)^{0,875} = 1.981 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

iii. Tentukan bilangan dispersi

$$d = \frac{D}{vL} = \frac{Dt}{L^2} = \frac{(1.981 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s})(90 \text{ menit} \times 60 \text{ detik/menit})}{(29,76 \text{ m})^2} = 0,0121$$

4. Kebutuhan klorin

$$\text{Debit air limbah (Q)} = 2678,4 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Jumlah sekat (n)} = 3 \text{ buah}$$

$$\text{Dosis klorin} = 10 \text{ g/m}^3$$

$$\text{Kadar klorin (\%)} = 99\%$$

$$\text{Kapasitas tabung} = 500 \text{ kg}$$

$$\text{Penyimpanan Cl} = 30 \text{ hari}$$

$$\text{Tekanan dosing (Pd)} = 5 \text{ atm}$$

$$\text{Kebutuhan Cl} = \frac{Do \times Q}{\% \text{kadar}} = \frac{10 \text{ g/m}^3 \times 2678,4 \text{ m}^3/\text{hari}}{99\%} = 27.054,55 \text{ g/hari}$$

$$\text{Kebutuhan Cl} = 27.054,55 \text{ g/hari} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 27,06 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Kebutuhan Cl satu bulan} = 27,06 \text{ kg/hari} \times 30 \text{ hari} = 811,8 \text{ kg}$$

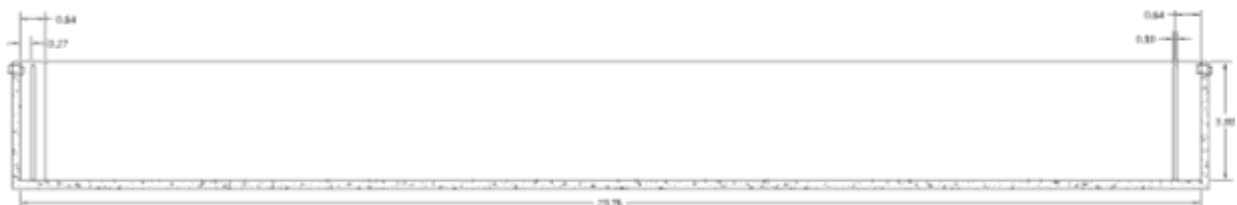
$$\text{Kebutuhan tabung untuk menyimpan klorin sebanyak 2 buah}$$

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{(27.054,55 \times 0,028) \times 0,0821 \times (273 + 25)}{17 \text{ g/mol} \times 5 \text{ atm}} = 218 \text{ m}^3$$

$$Q_d = \frac{V}{30 \text{ hari}} = \frac{218 \text{ m}^3}{30 \text{ hari}} = 7,27 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_d = 7,27 \text{ m}^3/\text{hari} \times \frac{1 \text{ hari}}{86400 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} = 0,08 \text{ L/s}$$

Rancangan desinfeksi yang diterapkan dalam penelitian ini ditampilkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Desain Desinfeksi

Sumber: Hasil Analisis, 2025

Luas lahan IPAL yang dibutuhkan adalah seluas 856,6 m². Persen efisiensi penyisihan untuk parameter air limbah domestik dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Persen Efisiensi Penyisihan Limbah Cair Domestik

Parameter	Grit Chamber [20]	Grease Trap [19]	TAR [18]	MBBR [27]	DS [28, 29]
pH	-	-	-	-	-
BOD	2,5%	65%	23,7%	61,8%	-
COD	2,5%	65%	24,2%	35,5%	-
TSS	5%	28%	20,2	73,6%	-
Minyak & Lemak	-	80%	-	-	-
Amonia	-	-	28%	29,1%	83,3%
Total Koliform	-	-	-	-	100%

Karakteristik air limbah hasil pengolahan dapat dilihat pada **Tabel 4.**

Tabel 4. Komposisi Limbah Cair Domestik Awal

Parameter	Konsentrasi Awal [1]	Konsentrasi Akhir	Satuan	Standar Mutu [9]	Keterangan
pH	6,95	6,95	-	6-9	Sesuai
BOD	162	16,11	mg/L	30	Sesuai
COD	268	44,71	mg/L	100	Sesuai
TSS	210	30	mg/L	30	Sesuai
Minyak & Lemak	20	4	mg/L	5	Sesuai
Amonia	48,57	4,36	mg/L	10	Sesuai
Total Koliform	28 x 10 ⁸	0	MPN/100 ml	3000	Sesuai

4. Kesimpulan

Dari hasil perencanaan yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. IPAL direncanakan dibangun pada lahan hijau seluas 8.339 m² dengan luas lahan IPAL yang direncanakan seluas 856,6 m², mencakup daerah pelayanan seluas 591.514 m² dengan jumlah penduduk pada akhir tahun perencanaan sebesar 9.072 jiwa.
2. Sistem IPAL terdiri dari saluran pembawa, *bar screen*, *grit chamber*, *grease trap*, bak ekualisasi, *Moved Bed Biofilm Reactor* (MBBR), dan bak desinfeksi.
3. Kapasitas pengolahan air limbah pada unit IPAL sebesar 298 L/orang.hari.
4. Desain IPAL mampu menghasilkan efluen yang mengikuti kriteria standar mutu limbah cair sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016.

5. Daftar Pustaka

- [1] F. A. Khaq, "Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Kombinasi Anaerobic Baffled (ABR) & Hybrid Aero-Plant Reactor System (HAPS) Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo," Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2017.
- [2] K. Utami, & Surtikanti, H. K., "Kajian Observasi Pencemaran Lingkungan Pada Lingkungan Taman Teras Cikapundung di DAS Cikapundung Kecamatan Cobleng, Babakan Siliwangi," *Journal of CHaracter and Environment*, vol. 1, 1, pp. 1-15, 2023.
- [3] F. Alfarisi, & Ontowirjo, B., "Perencanaan Jaringan Limbah Domestik Kelurahan Pengasinan Kecamatan Rawalumbu," *Spring of Civil Engineering (SPRING) Journal*, vol. 4, 1, pp. 16-22, 2022.
- [4] M. R. Sururi, Dirgawati, M., & Suhendar, D. Y., "Determination of Strategy Planning of Domestic Wastewater Management System in a Commercial Area of Tasikmalaya City," *Jurnal Presipitasi*, vol. 20, 2, pp. 280-294, 2023.
- [5] B. P. Statistik, *Profil Kesehatan Kabupaten Bandung Barat*. Kabupaten Bandung Barat: Badan Pusat Statistik, 2023.
- [6] A. R. Dipanegara, Pramesti, A. C., Yuniar, A. D., Christyadi, L. A., Utami, R. P., & Heriyanti, A. P., "Kajian Aspek Ekonomi dan Kelembagaan Dalam Keberlanjutan IPAL Komunal Di Kelurahan Jatirejo Kota Semarang," *Seminar Nasional IPA XIV*, pp. 85-92, 2024.
- [7] D. Noerjoedianto, & Putri, F. E. , "Analisis Capaian Indeks Pembangunan Kesehatan Masyarakat Pada Indikator Pelayanan Kesehatan Di Kabupaten Tanjung Jabung Timur," *Jurnal Kesehatan Masyarakat* vol. 7, 1, pp. 10-17, 2020.

- [8] D. Rahmadhina, Nurfadlilawati, I., Adila, M., & Indhira, S. V., "Laporan Observasi Kota Baru Parahyangan," Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, 2019.
- [9] *Baku Mutu Air Limbah Domestik*, 68, 2016.
- [10] T. Ismail, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Kota Baru Parahyangan," Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2005.
- [11] R. A. Ekasuci, "Pengaruh Keberadaan IPAL Komunal Pada Area Risiko Sanitasi Sangat Tinggi Sektor Air Limbah Kabupaten Sleman," Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2021.
- [12] E. Metcalf, *Waste Water Engineering Treatment and Resource Recovery*. New York: McGraw Hill Education, 2014.
- [13] K. M. P. P. N. Octavianus, & Slamet, A., "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik Skala Kawasan Di Kota Sidoarjo," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, 2, pp. 121-124, 2017.
- [14] B. P. Statistik, *Pedoman Perhitungan Proyeksi Penduduk dan Angkatan Kerja*. Indonesia: Badan Pusat Statistik, 2015.
- [15] S. Mangkoedihardjo, "Penyediaan Air Bersih," Teknik Penyehatan FTSP ITS, Surabaya, 1985.
- [16] D. D. Paramita, & Hartati, E., "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Di PT. X," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 9, 3, pp. 9787-9799, 2024.
- [17] Y. J. Mere, Dharma, B. W. S., & Dewi, B. R. S., "Prediksi Air Limbah Domestik (Kelola Swadaya Masyarakat Hidup Sehat) IPAL Komunal, Desa Kebon Ayu Kecamatan Gerung Kabupaten Lombok Barat," *Jurnal Sosial Sains dan Teknologi*, vol. 1, 2, pp. 88-92, 2021.
- [18] A. R. Desyana, "Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Penyamakan Kulit Kabupaten Magetan," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [19] D. C. K. K. PUPR, *Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terspusat SPALD-T*. Indonesia: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017.
- [20] J. R. Qasim, *Waste Water Treatment Plants Planning, Design, and Operations*. USA: Cbs College Publishing, 1985.
- [21] A. Lukman, Nasution, A. J., & Harahap, R., "Analisis Proses Pengolahan Air Limbah Domestik PDAM Tirtanadi Cabang Cemara," *Buletin Utama Teknik*, vol. 17, 2, pp. 143-147, 2022.
- [22] S. Chinwetkitvanich, & Ektaku, P., "Reality In Package On-Site Grease Trap Performances: Success and Failure In Fog Removal," *Geomate Journal*, vol. 18, 67, pp. 156-161, 2020.
- [23] A. Anisa, & Herumurti, W., "Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dengan Proses Aerobik-Anoksik untuk Menurunkan Nitrogen," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, 2, pp. 361-366, 2017.
- [24] K. P. U. d. P. Rakyat, *Permen PUPR Nomor 4 tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik*. Indonesia: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2016.
- [25] N. A. Habibi, Utami, C. T., Mulyana., & Amelia, R. R., "Efektifitas dan Efisiensi Penggunaan Klorinator Sebagai Sarana Pelarut Disinfektan Di Usaha Kecil dan Menengah (UKM)," *Jurnal Sains Terapan*, vol. 5, 1, pp. 54-59, 2019.
- [26] S. A. Mulyati, Maidaswar., Srikandi., Azizah, M., & Atikah, N., "Efektivitas Tablet Klorin Dalam Menurunkan Kandungan Coliform Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah," *Jurnal Sains Natural*, vol. 12, 1, pp. 10-16, 2022.
- [27] G. W. Aniriani, Putri, M. S. A., & Nengseh, T., "Efektivitas Penambahan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Terhadap Kualitas Air Limbah Di Instalasi Pengolahan Air Limbah Pondok Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Lamongan," *Jurnal Ilmiah Sains*, vol. 22, 1, pp. 67-74, 2022.
- [28] P. S. Komala, & Agustina, F., "Kinerja Kaporit Dalam Penyisihan E. Coli Pada Air Pengolahan PDAM," *Jurnal Dampak*, vol. 21, 2, pp. 66-76, 2014.
- [29] D. Herawati, & Yuntarso, A., "Penentuan Dosis Kaporit Sebagai Desinfektan Dalam Menyisihkan Konsentrasi Ammonium Pada Air Kolam Renang," *Jurnal SainHealth*, vol. 1, 2, pp. 13-22, 2017.