

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik di PT. X

Dinda Dwi Paramita¹, Etih Hartati^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung

*Koresponden email: etih@itenas.ac.id

Diterima: 11 Juni 2024

Disetujui: 25 Juni 2024

Abstract

PT X is a pulp production company. The company will be located in the province of North Kalimantan and will employ 1220 people. The activities of these employees will generate liquid waste that will pollute the receiving water body and harm human health if the liquid waste is not treated before being discharged into the environment. Therefore, in this design, a Domestic Wastewater Treatment Plant (DWWTP) design is carried out so that the liquid waste can be treated to meet the quality standards based on the Minister of Environment and Forestry Regulation No. 68 of 2016. The method used in this planning is the desk study method, with the planning stages being the calculation of domestic wastewater discharge, the analysis of domestic wastewater quality, the determination of biological unit technology using the Weighted Ranking Technique method, the calculation of the dimensions of each treatment unit, and the drawing of the DWWTP scheme. Based on the calculation results, the maximum domestic wastewater discharge at PT X is 48 m³/day. The alternative biological units compared were the complete mix activated sludge (CMAS) unit, the trickling filter and the moving bed bioreactor (MBBR). The selected series of treatment units are grease trap, basket strainer, clarifier I, CMAS, clarifier II and disinfection tank.

Keywords: *DWWTP design, weight ranking technique, complete mix activated sludge*

Abstrak

PT. X merupakan sebuah perusahaan yang memproduksi pulp. Perusahaan ini akan didirikan di Provinsi Kalimantan Utara dan merekrut karyawan sebanyak 1220 orang. Aktivitas karyawan tersebut akan menimbulkan limbah cair yang akan mencemari badan air penerima dan membahayakan kesehatan manusia bila limbah cair tersebut tidak diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Oleh karena itu, pada perencanaan ini dilakukan perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPALD) agar limbah cair dapat diolah sehingga memenuhi baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016. Metode yang digunakan pada perencanaan ini adalah metode *desk study*, dengan tahapan perencanaannya yaitu menghitung debit air limbah domestik, menganalisis kualitas air limbah domestik, menentukan teknologi unit biologi menggunakan metode *Weighted Ranking Technique*, menghitung dimensi tiap unit pengolahan, serta menggambar skema IPALD. Berdasarkan hasil perhitungan, debit maksimum air limbah domestik di PT. X yaitu sebesar 48 m³/hari. Alternatif unit biologi yang dibandingkan yaitu unit *Completed Mix Activated Sludge (CMAS)*, *trickling filter*, dan *Moving Bed Bioreactor (MBBR)*. Rangkaian unit pengolahan yang terpilih yaitu *grease trap*, *basket screen*, bak pengendap I, CMAS, bak pengendap II, dan bak desinfeksi.

Kata Kunci: *desain IPALD, weight ranking technique, complete mix activated sludge*

1. Pendahuluan

PT. X merupakan sebuah perusahaan bergerak di bidang pulp yang terletak di Provinsi Kalimantan Utara, pada lahan seluas ± 129 Ha. Untuk mendukung kelancaran proses operasionalnya, maka PT. X akan merekrut karyawan dengan total 1220 orang [1]. Aktivitas karyawan akan menimbulkan limbah cair domestik yang berpotensi mencemari badan air penerima dan kesehatan manusia. Mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 28 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Bidang Perindustrian, perusahaan industri wajib memenuhi ketentuan standar industri hijau, salah satunya yaitu melakukan pengelolaan limbah. Oleh karena itu, pada perencanaan ini akan dirancang IPALD agar air limbah domestik PT. X yang akan dibuang ke badan air laut mampu memenuhi baku mutu yang berlaku, yaitu baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016.

2. Metode Perencanaan

Pengumpulan Data

Pada perencanaan ini data-data yang dikumpulkan merupakan data sekunder. Data sekunder pada perencanaan ini diambil dari dokumen PT. X, buku teks, jurnal, peraturan pemerintah, serta perencanaan terdahulu. Data sekunder yang dikumpulkan meliputi jumlah tenaga kerja yang direkrut, karakteristik air limbah domestik dari sumber yang tipikal dengan PT. X, standar kebutuhan air bersih untuk karyawan pabrik, baku mutu air limbah domestik, serta kriteria desain untuk perhitungan debit air limbah domestik dan perhitungan dimensi tiap unit IPALD terpilih.

Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan meliputi perhitungan debit air limbah domestik, analisis kualitas air limbah domestik, dan perhitungan efisiensi penyisihan pencemar. Debit air limbah domestik yang dihitung diantaranya yaitu debit air limbah, debit satuan rata-rata, serta debit maksimum. Perhitungan tersebut dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut [2][3]:

$$Q_{\text{Air Limbah}} = (60-80\%) \times \text{Standar kebutuhan air bersih} \times \text{Jumlah karyawan} \dots\dots\dots (1)$$

$$Q_{\text{Rata-rata}} = \frac{1000}{\text{Jumlah karyawan}} \times Q_{\text{Air Limbah}} \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_{\text{Maksimum}} = Q_{\text{Rata-rata}} \times \text{Faktor puncak} \dots\dots\dots (3)$$

Berdasarkan literatur, standar kebutuhan air bersih untuk karyawan pabrik bernilai 50 liter/orang/hari, sedangkan nilai faktor puncak berkisar antara 1,2 – 1,3 [2][4]. Setelah perhitungan debit, tahap selanjutnya yaitu analisis kualitas air limbah domestik dan perhitungan efisiensi penyisihan pencemar. Analisis kualitas air limbah domestik dilakukan dengan membandingkan konsentrasi dari tiap parameter dalam air limbah domestik dengan baku mutu yang berasal dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Sebelum melakukan analisis kualitas air limbah domestik, terlebih dahulu perlu dilakukan pemilihan data kualitas air limbah domestik. Dikarenakan PT. X belum mulai beroperasi, maka kualitas air limbah domestik yang digunakan pada perencanaan ini mengacu pada literatur. Setelah proses analisis, parameter yang melebihi baku mutu kemudian dihitung efisiensi penyisihan pencemarnya untuk mengetahui seberapa besar parameter pencemar harus disisihkan oleh unit pengolahan. Perhitungan ini dilakukan dengan persamaan berikut [5]:

$$\eta_{\text{parameter}} = \frac{(\text{Konsentrasi awal} - \text{Konsentrasi akhir})}{\text{Konsentrasi awal}} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

Perencanaan Detail Desain

Pada tahap ini dilakukan pemilihan teknologi IPALD menggunakan metode WRT. Metode ini merupakan metode pemilihan alternatif yang didasarkan pada pemberian bobot terhadap tiap parameter [6]. Setelah melakukan pemilihan teknologi, langkah berikutnya yaitu perhitungan dimensi untuk setiap unit terpilih, dimana hasil perhitungan tersebut kemudian dijadikan acuan dalam penggambaran detail desain. Persamaan yang digunakan untuk perhitungan dimensi adalah sebagai berikut:

A. Rumus untuk menghitung *grease trap* [7]:

$$Q_{\text{influen}} = (60-80\%) \times \text{Standar kebutuhan air di dapur} \times \text{Jumlah karyawan} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{Volume} = Q_{\text{influen}} \times \text{Waktu tinggal air limbah di dalam } \textit{grease trap} \dots\dots\dots (6)$$

$$A_{\text{surface}} = \frac{Q_{\text{influen}}}{v_{\text{aliran}}} \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{Lebar} = \sqrt{\frac{A_{\text{surface}}}{\text{Rasio panjang terhadap lebar}}} \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{Panjang} = \text{Rasio panjang terhadap lebar} \times \text{Lebar} \dots\dots\dots (9)$$

$$A_{\text{aktual}} = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{Cek } v_{\text{aliran}} = Q_{\text{influen}} : A_{\text{aktual}} \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{Kedalaman} = \text{Volume} : A_{\text{aktual}} \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{Kedalaman total} = \text{Kedalaman} + \textit{freeboard} \dots\dots\dots (13)$$

$$\text{Volume total} = A_{\text{aktual}} \times \text{Kedalaman total} \dots\dots\dots (14)$$

$$C_{\text{effluen}} = (100\% - \text{Efisiensi penyisihan}) \times C_{\text{influen}} \dots\dots\dots (15)$$

B. Rumus untuk menghitung saluran pembawa [2]:

$$\text{Kecepatan aliran} = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \dots\dots\dots (16)$$

$$\text{Diameter pipa} = 2 \times \text{Jari-jari pipa} \dots\dots\dots (17)$$

$$\text{Kecepatan aliran} = \frac{Q_{\text{influen}}}{\text{Luas penampang pipa}} \dots\dots\dots (18)$$

C. Rumus untuk menghitung bak Pengendap I [3]:

$$A_{\text{surface}} = \frac{Q_{\text{influen}}}{\text{Overflow rate}} \dots\dots\dots (19)$$

$$\text{Lebar} = \sqrt{\frac{A_{\text{surface}}}{\text{Rasio panjang terhadap lebar}}} \dots\dots\dots (20)$$

$$\text{Panjang} = \text{Rasio panjang terhadap lebar} \times \text{Lebar} \dots\dots\dots (21)$$

$$\text{Kedalaman} = \frac{\text{Panjang}}{\text{Rasio panjang terhadap kedalaman}} \dots\dots\dots (22)$$

$$\text{Kedalaman total} = \text{Kedalaman} + \text{freeboard} \dots\dots\dots (23)$$

$$\text{Volume} = A_{\text{surface}} \times \text{Kedalaman} \dots\dots\dots (24)$$

$$\text{Kontrol overflow rate} = \frac{Q_{\text{influen}}}{A_{\text{surface}}} \dots\dots\dots (25)$$

$$\text{Kontrol waktu detensi} = \frac{\text{Volume}}{Q_{\text{influen}}} \dots\dots\dots (26)$$

$$\text{Laju BOD Influen} = \text{Konsentrasi BOD influen} \times Q_{\text{influen}} \dots\dots\dots (27)$$

$$\text{Laju TSS Influen} = \text{Konsentrasi TSS influen} \times Q_{\text{influen}} \dots\dots\dots (28)$$

$$\text{BOD removal} = \% \text{ Penyisihan BOD} \times \text{Laju BOD} \dots\dots\dots (29)$$

$$\text{TSS removal} = \% \text{ Penyisihan TSS} \times \text{Laju TSS} \dots\dots\dots (30)$$

$$\text{Debit lumpur} = \frac{\text{SS remove} \times 1000 \text{ g/kg}}{\text{Konsentrasi solid} \times \text{Spesific gravity} \times 10^6 \text{ x cm}^3/\text{m}^3} \dots\dots\dots (31)$$

Rumus untuk menghitung unit lumpur aktif CMAS [8]:

$$Q_{\text{resirkulasi}} = \frac{\text{MLVSS} \times Q_{\text{influen}}}{(0,8 \times \text{Sludge return}) - \text{MLVSS}} \dots\dots\dots (32)$$

$$\text{Volume reaktor} = \frac{\text{Umur sel lumpur} \times Q_{\text{influen}} \times \text{Koefisien pertumbuhan} (\text{BOD}_{\text{in}} - \text{BOD}_{\text{ef}})}{\text{MLVSS} (1 + \text{Koefisien kerusakan sel} \times \text{Umur sel lumpur})} \dots\dots\dots (33)$$

$$\text{Lebar reaktor} = \text{Rasio lebar terhadap panjang} \times \text{Panjang reaktor} \dots\dots\dots (34)$$

$$\text{Tinggi reaktor} = \text{Volume reaktor} : \text{Luas permukaan reaktor} \dots\dots\dots (35)$$

$$\text{Tinggi reaktor total} = \text{Tinggi reaktor} + \text{freeboard} \dots\dots\dots (36)$$

$$\text{Optimasi volume reaktor} = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \times \text{Tinggi total} \dots\dots\dots (37)$$

$$\text{Yobs} = \frac{\text{Koefisien pertumbuhan}}{1 + (\text{Koefisien kerusakan sel} \times \text{Umur sel lumpur})} \dots\dots\dots (38)$$

$$\text{Pertambahan massa MLVSS} = Q_{\text{influen}} \times \text{Yobs} (\text{BOD}_{\text{in}} - \text{BOD}_{\text{ef}}) \dots\dots\dots (39)$$

$$\text{Pertambahan massa MLSS} = \frac{\text{Pertambahan massa MLVSS}}{80\%} \dots\dots\dots (40)$$

$$\text{Lumpur yang dibuang} = \text{Pertambahan MLSS} - \text{SS}_{\text{effluent}} \dots\dots\dots (41)$$

$$\text{Laju pembuangan sludge} = \frac{\text{Volume reaktor} \times \text{MLVSS}}{\text{Umur sel lumpur} \times \text{Sludge return}} \dots\dots\dots (42)$$

$$\text{Rasio resirkulasi} = \frac{Q_{\text{resirkulasi}}}{Q_{\text{influen}}} \dots\dots\dots (43)$$

$$\text{Waktu hidrolis reaktor} = \frac{\text{Volume reaktor}}{Q_{\text{influen}}} \dots\dots\dots (44)$$

$$\text{Massa BOD}_L \text{ yang digunakan} = \frac{Q_{\text{influen}} \times (\text{BOD}_{\text{in}} - \text{BOD}_{\text{ef}})}{\text{BOD}_5/\text{BOD}_L} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (45)$$

$$\text{Kebutuhan O}_2 = \text{BOD}_L - 1,42 \times \text{Pertambahan massa MLVSS} \dots\dots\dots (46)$$

$$\text{Rasio F/M} = \frac{(Q_{\text{influen}} + Q_{\text{resirkulasi}}) \times (\text{BOD}_{\text{in}} - \text{BOD}_{\text{ef}})}{\text{MLVSS} \times \text{Volume reaktor}} \dots\dots\dots (47)$$

$$\text{Volumetric loading} = \frac{\text{BOD}_{\text{in}} \times Q_{\text{influen}}}{\text{Volume reaktor}} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (48)$$

$$\text{Kebutuhan udara teoritis} = \frac{\rho_{\text{udara}} \times 0,232}{\text{Kebutuhan udara teoritis}} \dots\dots\dots (49)$$

$$\text{Kebutuhan udara sebenarnya} = \frac{0,08}{\text{Kebutuhan udara sebenarnya}} \dots\dots\dots (50)$$

$$\text{Kebutuhan desain udara} = 150\% \times \text{Kebutuhan udara sebenarnya} \dots\dots\dots (51)$$

$$\text{Kebutuhan udara/unit volume} = \frac{\text{Kebutuhan desain udara}}{Q_{\text{influen}}} \dots\dots\dots (52)$$

$$\text{Kebutuhan udara/kg BOD yang disisihkan} = \frac{\text{Kebutuhan desain udara}}{(\text{BOD}_{\text{in}} - \text{BOD}_{\text{ef}}) \times Q_{\text{influen}} \times 10^{-3}} \dots\dots\dots (53)$$

Penentuan *surface aerator* = Penentuan aerator dilakukan dengan memilih spesifikasi aerator yang sesuai dengan kebutuhan udara, kedalaman bak, dan luas permukaan bak.

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{influen}} + Q_{\text{resirkulasi}} \dots\dots\dots (54)$$

$$\begin{aligned} \text{Debit tiap orifice} &= Q_{\text{total}} : \text{Jumlah bak} \dots\dots\dots (55) \\ \text{Kehilangan tekanan} &= \left(\frac{\text{Debit tiap orifice}}{\text{CD x Dimensi orifice x } \sqrt{2 \times g}} \right)^2 \dots\dots\dots (56) \end{aligned}$$

D. Rumus untuk menghitung unit Pengendap II [3]:

$$\begin{aligned} \text{Luas bak} &= \frac{Q_{\text{influent}} \times \text{MLSS}}{\text{SF}} \dots\dots\dots (57) \\ \text{Diameter bak} &= \sqrt{\frac{4 \times \text{Luas bak}}{\pi}} \dots\dots\dots (58) \\ \text{Luas Aktual} &= \frac{1}{4} \times \pi \times (\text{Diameter bak})^2 \dots\dots\dots (59) \\ \text{Kontrol } \textit{overflow rate} &= \frac{Q_{\text{influent}}}{\text{Luas bak}} \dots\dots\dots (60) \\ \text{Solid loading} &= \frac{Q_{\text{influent}} \times \text{MLSS}}{\text{Luas bak}} \dots\dots\dots (61) \\ \text{Kedalaman total} &= \text{Kedalaman} + \textit{freeboard} \dots\dots\dots (62) \\ \text{Volume bak} &= \text{Luas aktual} \times \text{Kedalaman} \dots\dots\dots (63) \\ \text{Waktu Detensi} &= \frac{\text{Volume}}{Q_{\text{influent}}} \dots\dots\dots (64) \end{aligned}$$

E. Rumus untuk menghitung bak desinfeksi [8]:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Cl}_2 \text{ saat dosis maksimum} &= \text{Dosis maksimum} \times Q_{\text{pelimpah}} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (65) \\ \text{Kebutuhan harian khlor} &= \text{Dosis rata-rata} \times Q_{\text{pelimpah}} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (66) \\ \text{Volume bak kontak} &= Q_{\text{pelimpah}} \times \text{Waktu kontak} \dots\dots\dots (67) \\ \text{Luas bak kontak} &= \frac{\text{Volume}}{\text{Kedalaman bak}} \dots\dots\dots (68) \\ \text{Lebar bak kontak} &= \sqrt{\frac{\text{Luas bak kontak}}{\text{Rasio panjang terhadap lebar}}} \dots\dots\dots (69) \\ \text{Panjang bak kontak} &= \text{Rasio panjang terhadap lebar} \times \text{Lebar} \dots\dots\dots (70) \\ \text{Jumlah saluran } \textit{baffle} &= \frac{\text{Panjang bak}}{\text{Jarak antar saluran } \textit{baffle}} \dots\dots\dots (71) \\ \text{Lebar saluran } \textit{baffle} &= \text{Lebar bak kontak} \times \text{Jumlah saluran} \dots\dots\dots (72) \\ \text{Jari-jari hidrolis} &= \frac{\text{Jarak antar saluran } \textit{baffle} \times \text{Kedalaman bak}}{\text{Jarak antar saluran } \textit{baffle} + (2 \times \text{Kedalaman bak})} \dots\dots\dots (73) \\ \text{Kecepatan pada saluran} &= \frac{Q_{\text{pelimpah}}}{\text{Jarak antar saluran } \textit{baffle} \times \text{Kedalaman bak}} \dots\dots\dots (74) \\ \text{Kecepatan pada saluran} &= \frac{\text{Jari-jari hidrolis}^{2/3}}{\text{Koefisien manning}} \times \left(\frac{\text{Headloss}}{\text{Lebar saluran } \textit{baffle}} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (75) \\ \text{Headloss total} &= n \times \frac{v_s^2}{2g} + (n - 1) \frac{v_b^2}{2g} + \text{Headloss} \dots\dots\dots (76) \end{aligned}$$

3. Hasil Pembahasan

3.1 Perhitungan Debit Air Limbah Domestik

Debit yang akan digunakan untuk perhitungan IPALD di PT. X adalah debit maksimum, hal ini bertujuan agar IPALD mampu mengolah air limbah ketika pemakaian air bersih mencapai pemakaian maksimum. Sebelum dilakukan perhitungan debit air limbah maksimum, perlu dilakukan perhitungan debit air limbah dan debit air limbah rata-rata terlebih. Rumus yang digunakan pada perhitungan ini menggunakan **Persamaan 1** sampai **Persamaan 3**. Pada perhitungan debit air limbah, diasumsikan sebesar 80% air bersih berubah menjadi air limbah, dikarenakan tidak banyak air yang terserap ke dalam tubuh pegawai pabrik. Sedangkan faktor puncak yang dipakai pada perhitungan debit maksimum adalah 1,2 dikarenakan pabrik beroperasi selama 24 jam sehingga pemakaian air maksimum dianggap tidak terlalu berbeda jauh nilainya dengan pemakaian air rata-rata.

- $Q_{\text{air limbah}} = 80\% \times 50 \text{ liter/orang/hari} \times 1220 \text{ orang} = 48.800 \text{ liter/hari} \approx 48,8 \text{ m}^3/\text{hari}$
- $Q_{\text{rata-rata}} = \frac{1000}{1220 \text{ orang}} \times 48,8 \text{ m}^3/\text{hari} = 40 \text{ m}^3/\text{hari}$
- $Q_{\text{maksimum}} = 40 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1,2 = 48 \text{ m}^3/\text{hari}$

3.2 Analisis Kualitas Air Limbah Domestik dan Perhitungan Efisiensi Penyisihan Pencemar

Dikarenakan PT. X belum mulai beroperasi, maka kualitas air limbah domestik yang digunakan pada perencanaan ini mengacu pada literatur. Literatur yang dijadikan acuan untuk kualitas air limbah domestik di perencanaan ini berasal dari tugas akhir yang disusun oleh Arif Gemardi pada tahun 2018. Literatur ini dipilih dikarenakan sumber air limbah domestik di literatur tipikal dengan sumber air limbah di PT. X,

dimana kedua air limbah domestik tersebut bersumber dari karyawan industri. Hasil analisis kualitas air limbah domestik beserta perhitungan efisiensi penyisihan pencemar dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Analisis Kualitas Air Limbah Domestik dan Perhitungan Efisiensi Penyisihan Pencemar

No.	Parameter	Satuan	Nilai Konsentrasi	Baku Mutu [9]	Keterangan	Efisiensi Penyisihan (%)
1	pH	-	6,95 [10]	6 – 9	M	-
2	BOD	mg/L	218 [10]	30	TM	86,24
3	COD	mg/L	376 [10]	100	TM	73,40
4	TSS	mg/L	272 [10]	30	TM	88,97
5	Minyak & Lemak	mg/L	18 [10]	5	TM	72,22
6	Amoniak	mg/L	47,75 [10]	10	TM	79,01
7	Total Coliform	Jumlah/100 ml	17 x 10 ⁸ [10]	3.000	TM	99,99
8	Debit	L/orang/hari	39,34*	100	M	-

Keterangan : * = Hasil perhitungan, 2023

M = Memenuhi baku mutu

TM = Tidak memenuhi baku mutu

Berdasarkan **Tabel 1**, dapat diketahui bahwa parameter pH dan debit telah memenuhi baku mutu sedangkan 6 parameter lainnya melebihi baku mutu. Oleh karena itu, 6 parameter yang masih melebihi baku mutu tersebut perlu melalui proses pengolahan terlebih dahulu agar konsentrasinya memenuhi baku mutu. Untuk mengetahui unit pengolahan yang tepat, maka parameter yang melebihi baku mutu tersebut perlu dilakukan perhitungan efisiensi penyisihan parameter pencemar. Berikut ini merupakan contoh perhitungan efisiensi penyisihan untuk parameter BOD dengan menggunakan **Persamaan 4**:

$$\eta_{\text{BOD}} = \frac{(218 \text{ mg/l} - 30 \text{ mg/l})}{218 \text{ mg/l}} \times 100\% = 86,24 \%$$

3.4 Pemilihan Teknologi IPALD

Unit pengolahan yang akan digunakan pada perencanaan ini diantaranya yaitu *grease trap*, *basket screen*, bak pengendap I, pengolahan biologi, bak pengendap II dan bak desinfeksi. Pada perencanaan ini dibuat 3 alternatif sistem pengolahan air limbah. Perbedaan dari 3 alternatif tersebut terletak pada unit biologi, dimana alternatif 1 menggunakan unit lumpur aktif (CMAS), alternatif 2 menggunakan *trickling filter*, dan alternatif 3 menggunakan *moving bed bioreactor* (MBBR).

Dalam pemilihan teknologi IPAL, perlu diperhatikan aspek teknis dan non teknis. Aspek teknis terdiri dari aspek kemudahan pengoperasian, ketersediaan SDM, jumlah lumpur yang dihasilkan dan kualitas efluen. Sedangkan aspek non teknis yang terdiri dari ketersediaan lahan serta ketersediaan biaya investasi dan pengoperasian [2]. Perbandingan aspek teknis dan non teknis untuk setiap alternatif dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Tabel 2. Efisiensi Penyisihan dari Setiap Unit Pengolahan

No	Unit Pengolahan	Efisiensi Penyisihan (%)					
		BOD	COD	TSS	Minyak dan Lemak	Amoniak	Total Coliform
1	<i>Grease Trap</i>	-	-	-	95 [11]	-	-
2	<i>Basket Screen</i>	-	-	15 [12]	-	-	-
3	Bak Pengendap I	30-40 [2]	-	50-70 [2]	-	-	-
4	Lumpur Aktif (CMAS)	85-95 [13]	80-85 [8]	80-90 [8]	-	79-87 [14]	-
5	<i>Trickling Filter</i>	60-80 [8]	60-80 [8][13]	60-85 [8][13]	-	8-15 [8][13]	-
6	MBBR	87 [15]	80,1 [15]	73,57 [16]	-	89 [15]	-
7	Bak Pengendap II	10-30 [8]	10-30 [8]	40-75 [8]	-	-	-
8	Desinfeksi	-	-	-	-	-	98 - 99,99 [13]

Tabel 3. Perbandingan Alternatif Unit Pengolahan Biologi

	Lumpur aktif (CMAS)	<i>Trickling filter</i>	MBBR
Kemudahan operasional	<i>Air diffuser</i> , pompa resirkulasi [5]	Media filter, <i>Rotating sprinkler</i> , dan pompa resirkulasi [3]	Biofilm, <i>Air diffuser</i> [2]

	Lumpur aktif (CMAS)	Trickling filter	MBBR
Sumber daya manusia	Membutuhkan operator yang terampil dan disiplin dalam mengatur jumlah massa mikroba dalam reaktor [2]	Membutuhkan SDM tanpa keahlian khusus [5]	Memerlukan SDM dengan keahlian khusus [17]
Jumlah lumpur	30-60% BOD removal [18]	10-30% BOD removal [18]	10-30% BOD removal [18]
Kebutuhan lahan	4,5 m ² *	4,2 m ² *	6 m ² *
Biaya investasi	Rp. 17.788.234 *	Rp. 371.145.600 *	Rp. 356.941.747 *

* Hasil perhitungan, 2023

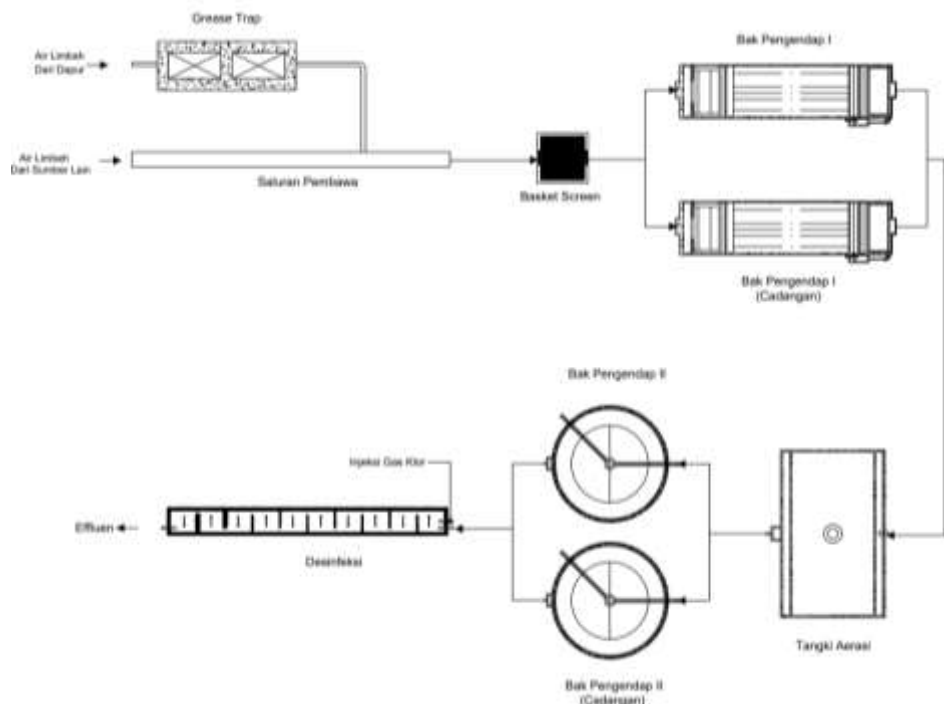
Hasil perbandingan aspek teknis dan non teknis untuk tiap alternatif tersebut kemudian dijadikan acuan untuk penentuan teknologi IPALD dengan menggunakan metode WRT. Hasil penentuan unit biologi IPALD untuk PT.X dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Penentuan Unit Biologi IPALD

Parameter	KPF x KPA		
	Lumpur Aktif (CMAS)	Trickling Filter	MBBR
Kemudahan operasional	0,09	0,00	0,09
Sumber daya manusia	0,03	0,11	0,03
Jumlah lumpur	0,00	0,07	0,07
Kebutuhan lahan	0,02	0,05	0,00
Kualitas effluen	0,22	0,00	0,11
Biaya investasi dan operasional	0,09	0,00	0,04
Jumlah	0,45	0,23	0,34

Sumber : Hasil Perhitungan (2023)

Berdasarkan **Tabel 4**, dapat disimpulkan bahwa unit biologi terpilih yaitu unit lumpur aktif (CMAS). Rangkaian sistem pengolahan IPALD terpilih dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 : Denah IPAL di PT. X
Sumber : Hasil Perencanaan (2023)

Perhitungan Dimensi Tiap Unit IPALD

Grease trap

Unit grease trap di PT. X rencananya akan diletakkan di dekat ruang dapur, sehingga air limbah yang masuk ke unit ini hanya berasal dari dapur. Unit grease trap yang akan dibangun terdiri dari 1 unit dengan

2 kompartemen. Perhitungan dimensi untuk unit grease trap dilakukan dengan menggunakan **Persamaan 5** sampai **Persamaan 15**.

- Perhitungan debit influen dilakukan menggunakan **Persamaan 5**, jumlah karyawan PT. X adalah 1220 orang sedangkan standar kebutuhan air untuk cuci peralatan dapur adalah 3 - 6 liter/orang/hari [19].
 $Q_{\text{influen}} = 80\% \times 6 \text{ liter/orang/hari} \times 1220 \text{ orang} = 5856 \text{ liter/hari} \approx 5,86 \text{ m}^3/\text{hari}$
- Perhitungan volume grease trap dilakukan menggunakan **Persamaan 6**, kriteria desain untuk waktu tinggal air limbah dalam *grease trap* yaitu 5 – 20 menit atau 0,003 - 0,014 hari [7].
 $\text{Volume} = 5,86 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,014 \text{ hari} = 0,08 \text{ m}^3$
- Perhitungan A_{surface} dilakukan dengan menggunakan **Persamaan 7**, kriteria desain untuk kecepatan air limbah dalam grease trap adalah 2 – 6 m/jam atau 48 – 144 m/hari [7].
 $A_{\text{surface}} = \frac{5,86 \text{ m}^3/\text{hari}}{48 \text{ m/hari}} = 0,12 \text{ m}^2$
- Perhitungan lebar dan panjang *grease trap* dilakukan menggunakan **Persamaan 8** dan **Persamaan 9**, rasio panjang : lebar untuk *grease trap* adalah 3 : 1 [7].
 - Lebar = $\sqrt{\frac{0,12 \text{ m}^2}{3}} = 0,2 \text{ m}$
 - Panjang = $3 \times 0,2 \text{ m} = 0,6 \text{ m}$

Grease trap terdiri dari 2 kompartemen, dimana panjang kompartemen 1 merupakan 2/3 dari panjang total [7]. Sehingga panjang tiap kompartemen adalah sebagai berikut :

 - Kompartemen 1 = $\frac{2}{3} \times \text{Panjang} = \frac{2}{3} \times 0,6 \text{ m} = 0,4 \text{ m}$
 - Kompartemen 2 = $\frac{1}{3} \times \text{Panjang} = \frac{1}{3} \times 0,6 \text{ m} = 0,2 \text{ m}$
- Perhitungan luas aktual dilakukan menggunakan **Persamaan 10**.
 $A_{\text{aktual}} = 0,6 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} = 0,12 \text{ m}^2$
- Perhitungan kecepatan aliran air limbah dalam *grease trap* (v) dilakukan menggunakan **Persamaan 11**.
 $v = 5,86 \text{ m}^3/\text{hari} : 0,12 \text{ m}^2 = 48,8 \text{ m/hari} \approx 2,03 \text{ m/jam}$ (sesuai dengan kriteria desain = 2 – 6 m/jam)
- Perhitungan kedalaman *grease trap* dilakukan menggunakan **Persamaan 12**.
 $\text{Kedalaman} = 0,08 \text{ m}^3 : 0,12 \text{ m}^2 = 0,68 \text{ m}$
- Perhitungan Kedalaman total unit *grease trap* dilakukan menggunakan **Persamaan 13**, dimana tinggi *freeboard* bernilai 20% dari kedalaman *grease trap* [20].
 $\text{Kedalaman total} = 0,68 \text{ m} + (20\% \times 0,68 \text{ m}) = 0,82$
- Perhitungan volume total dilakukan menggunakan **Persamaan 14**.
 $\text{Volume total} = 0,12 \text{ m}^2 \times 0,82 \text{ m} = 0,1 \text{ m}^3$
- Perhitungan konsentrasi minyak dan lemak dalam effluen (C_{effluen}) dilakukan menggunakan **Persamaan 15**, dimana efisiensi penyisihan minyak dan lemak oleh *grease trap* adalah 95% [11].
 $C_{\text{effluen}} = (100\% - 95\%) \times 18 \text{ mg/L} = 0,9 \text{ mg/L}$ (memenuhi baku mutu karena $< 5 \text{ mg/L}$)

Saluran Pembawa

Saluran pembawa berfungsi untuk mengalirkan air limbah dari grease trap, toilet, dan fasilitas ibadah. Pada perencanaan ini saluran pembawa direncanakan berupa saluran tertutup dengan penampang berbentuk lingkaran.

- **Persamaan 16** dapat diturunkan menjadi persamaan untuk menghitung jari – jari pipa (r), dimana koefisien kekasaran manning (n) untuk PVC bernilai 0,002 – 0,012 dan kemiringan pipa (S) sebesar 0,001 m/m [3][21]:

$$r = \left(\frac{Q_{\text{maks}} \times n \times 2^{\frac{2}{3}}}{S^{1/2} \times \pi} \right)^{3/8} = \left(\frac{\left(\frac{48 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \right) \times 0,002 \times 2^{\frac{2}{3}}}{0,001^{1/2} \times \pi} \right)^{3/8} = 0,017 \text{ m}$$

- Diameter pipa dihitung menggunakan **Persamaan 17**.
 $\text{Diameter pipa} = 2 \times \text{Jari-jari} = 2 \times 0,017 \text{ m} = 0,033 \text{ m}$
- Kecepatan aliran air limbah dalam pipa (v) dihitung menggunakan **Persamaan 18**. Aliran air limbah dalam pipa harus memenuhi kriteria desain yang bernilai 0,6 – 3 m/s [3].

$$v = \frac{\left(\frac{48 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \right)}{\pi \times (0,017 \text{ m})^2} = 0,61 \text{ m/detik}$$
 (sesuai kriteria desain = 0,6 – 3 m/s)

- Dikarenakan pipa yang terhubung dengan kloset biasanya berdiameter 4 inchi atau 0,1016 m, maka diameter pipa saluran pembawa disamakan dengan diameter pipa untuk kloset, yaitu 4 inchi.

$$v = \frac{\left(\frac{48 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}\right)}{\pi \times (0,05 \text{ m})^2} = 0,07 \text{ m/s (tidak memenuhi kriteria desain karena } v < 0,6 \text{ m/s)}$$

- Dikarenakan kecepatan dalam saluran tidak memenuhi kriteria desain, maka kemiringan saluran diperbesar menjadi 0,002. Cek kecepatan aliran ini menggunakan **Persamaan 16**.

$$v = \frac{1}{0,002} \times \left(\frac{\frac{1}{2} \times \pi \times (0,05)^2}{\pi \times 0,05}\right)^{2/3} \times 0,002^{1/2} = 1,93 \text{ m/s (sesuai kriteria desain karena } 0,6 < v < 3 \text{ m/s)}$$

Basket Screen

Dikarenakan saluran pembawa yang digunakan hanya berukuran 4 inchi, maka tidak memungkinkan untuk menyaring material besar oleh unit *bar screen*. Sehingga pada perencanaan ini unit yang akan digunakan untuk menyaring material besar yaitu unit *basket screen*. Berdasarkan hasil evaluasi terhadap IPAL di Rumah Sakit Bhayangkara Tingkat III Manado, IPAL dengan kapasitas pengolahan 40 m³/hari dapat menyaring material besar menggunakan *basket screen* dengan ukuran 40 x 40 x 50 cm dengan diameter bukaan *screen* sekitar 2,5 – 5 mm [22].

Bak Pengendap I

Pada perencanaan ini jumlah bak yang akan dirancang berjumlah 2 buah, dimana 1 bak beroperasi dan 1 bak untuk cadangan. Tipe bak pengendap yang akan digunakan pada perencanaan ini yaitu tipe persegi panjang dengan aliran horizontal (*horizontal flow*).

- Perhitungan luas permukaan (A_{surface}) dihitung dengan menggunakan **Persamaan 19**, dimana nilai *overflow rate* berkisar antara 60 – 120 m³ /m².hari [23].

$$A_{\text{surface}} = \frac{48 \text{ m}^3/\text{hari}}{60 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}} = 0,8 \text{ m}^2$$

- Perhitungan panjang, lebar, dan kedalaman bak pengendap I dihitung dengan **Persamaan 20** sampai **Persamaan 22**, dimana perbandingan panjang dan lebar bak pengendap I berkisar antara 1 : 1-7,5 (biasanya 1:4) sedangkan perbandingan panjang dan kedalaman bak pengendap I berkisar antara 4-25 : 1 [8].

- Lebar bak = $\sqrt{\frac{0,8}{4}} = 0,45 \text{ m}$

- Panjang bak = 4 x 0,45 m = 1,8 m

- Kedalaman bak = $\frac{1,8 \text{ m}}{4} = 0,45 \text{ m}$

- Kedalaman total bak pengendap I dihitung menggunakan **Persamaan 23**, dimana nilai *freeboard* untuk bak pengendap I bernilai 20% dari kedalaman bak [20].

$$\text{Kedalaman total} = 0,45 + (20\% \times 0,45 \text{ m}) = 0,54 \text{ m}$$

- Volume bak dihitung menggunakan **Persamaan 24**.

$$\text{Volume} = A_{\text{surface}} \times \text{Kedalaman} = 0,8 \text{ m}^2 \times 0,45 \text{ m} = 0,36 \text{ m}^3$$

- Kontrol *overflow rate* dilakukan dengan menggunakan **Persamaan 25**.

$$\text{Overflow rate} = \frac{48 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,8 \text{ m}^2} = 60 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari (memenuhi kriteria desain : } 60 - 120 \text{ m}^3.\text{m}^2.\text{hari)}$$

- Kontrol waktu detensi (t_d) dilakukan dengan menggunakan **Persamaan 26**. Nilai waktu detensi harus memenuhi kriteria desain yang bernilai 1,5 – 2,5 jam [23].

$$t_d = \frac{0,36 \text{ m}^3}{\frac{48 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}}} = 0,18 \text{ jam (tidak memenuhi kriteria desain : } 1,5 - 2,5 \text{ jam)}$$

- Dikarenakan waktu detensi tidak memenuhi kriteria desain, maka volume bak harus diperbesar menjadi 2 kali lipat. Sehingga perhitungannya menjadi seperti berikut:

- Lebar bak baru = 2 x Lebar awal = 0,45 m x 2 = 0,9 m

- Panjang bak baru = 4 x 0,9 m = 3,6 m

- Kedalaman baru = $\left(\frac{3,6 \text{ m}}{4}\right) = 0,9 \text{ m}$

- Kedalaman total baru = 0,9 m + (20% x 0,9 m) = 1,08 m

- *Overflow rate* baru = $\frac{48 \text{ m}^3/\text{hari}}{(0,9 \text{ m} \times 3,6 \text{ m})} = 14,81 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$

- $td \text{ baru} = \frac{(0,9 \text{ m} \times 3,6 \text{ m} \times 0,9 \text{ m})}{48 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}} = 1,82 \text{ jam}$ (memenuhi kriteria desain : 1,5 – 2,5 jam)
- Laju BOD influen dihitung dengan menggunakan **Persamaan 27**.
Laju BOD influen = $(218 \text{ mg/L} : 1000 \text{ kg/m}^3) \times 48 \text{ m}^3/\text{hari} = 10,46 \text{ kg/hari}$
- Laju TSS influen dihitung menggunakan **Persamaan 28**. Pada unit *basket screen*, sebanyak 15% TSS telah mengalami penyisihan sehingga konsentrasi TSS berkurang menjadi 231,2 mg/L.
Laju TSS influen = $(231,2 \text{ mg/L} : 1000 \text{ kg/m}^3) \times 48 \text{ m}^3/\text{hari} = 11,09 \text{ kg/hari}$
- Perhitungan BOD removal dihitung menggunakan **Persamaan 29**, bak pengendap I dapat menyisihkan BOD sebesar 30% – 40% [2].
BOD removal = $35\% \times 10,46 \text{ kg/hari} = 3,66 \text{ kg/hari}$
- Perhitungan TSS removal dihitung menggunakan **Persamaan 30**, bak pengendap I dapat menyisihkan TSS sebesar 50% – 70% [2].
TSS removal = $55\% \times 11,09 \text{ kg/hari} = 6,10 \text{ kg/hari}$
- Perhitungan debit lumpur dilakukan dengan menggunakan **Persamaan 31**, dimana konsentrasi solid bernilai 5% sedangkan *specific gravity* bernilai 1,03 g/cm³ [3].
Debit lumpur =
$$= \frac{6,10 \text{ kg/hari} \times 1000 \text{ g/kg}}{5\% \times (1,03 \text{ g/cm}^3) \times (10^6 \text{ cm}^3/\text{m}^3)} = 0,12 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Tangki Aerasi

Tangki aerasi berfungsi untuk mengurangi zat pencemar dengan menggunakan mikroorganisme [24]. Unit ini dilengkapi *surface aerator* yang berfungsi untuk memberikan oksigen kedalam air limbah sehingga mikroorganisme aerob dalam air limbah dapat hidup dan mampu untuk menyisihkan bahan organik yang terkandung dalam air limbah [25].

- Perhitungan volume reaktor dihitung dengan menggunakan **Persamaan 33**, dimana umur sel lumpur bernilai 5 – 15 hari, koefisien pertumbuhan bernilai 0,3 – 0,7 VSS/BOD, dan koefisien kerusakan sel bernilai 0,03 – 0,07 hari⁻¹ [26][8]. MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solid*) biasanya mendekati 65% – 75% dari MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solid*) yang memiliki nilai 1500 – 4000 mg/L [26][2]. Pada perencanaan ini diasumsikan nilai MLSS adalah 3500 mg/L dan nilai MLVSS sebesar 70% dari nilai MLSS. Kemudian, dikarenakan tangki aerasi menerima debit resirkulasi dari bak pengendap II, maka debit influen merupakan penjumlahan dari debit effluen bak pengendap I dan debit resirkulasi bak pengendap II. Perhitungan debit resirkulasi dilakukan menggunakan **Persamaan 32**, dengan *sludge return* yang bernilai 10.000 mg/L [5].
 - Debit resirkulasi =
$$\frac{2450 \text{ mg/L} \times 48 \text{ m}^3/\text{hari}}{(0,8 \times 10000 \text{ mg/l}) - 2450 \text{ mg/l}} = 21,19 \text{ m}^3/\text{hari}$$
 - Volume Reaktor =
$$= \frac{8 \text{ hari} \times (48 \text{ m}^3/\text{hari} + 21,19 \text{ m}^3/\text{hari}) \times 0,5 \text{ VSS/BOD} (141,7 \text{ mg/L} - 30 \text{ mg/L})}{2450 \text{ mg/L} (1 + 0,03 \text{ hari}^{-1} \times 8 \text{ hari})} = 10,18 \text{ m}^3$$
- Reaktor yang beroperasi direncanakan 1 buah, dimensi reaktor ini dihitung menggunakan **Persamaan 34** sampai **Persamaan 35**. Rasio panjang dan lebar reaktor yaitu 2 : 1, jika panjang reaktor diasumsikan 3 m, maka [8]:
 - Lebar reaktor = $\frac{1}{2} \times 3 \text{ m} = 1,5 \text{ m}$
 - Tinggi reaktor = $10,18 \text{ m}^3 : (3 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}) = 2,26 \text{ m}$
- Tinggi total reaktor dihitung menggunakan **Persamaan 36**, dimana nilai *freeboard* bernilai 20% dari tinggi reaktor [20].
Tinggi Total = $2,26 \text{ m} + (20\% \times 2,26 \text{ m}) = 2,71 \text{ m}$
- Optimasi volume raktor dihitung menggunakan **Persamaan 37**.
Optimasi volume reaktor = $3 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 2,26 \text{ m} = 10,17 \text{ m}^3$
- Perhitungan Yobs (*Observed Bield Roettirient*) dilakukan dengan menggunakan **Persamaan 38**.
Yobs =
$$= \frac{0,5 \text{ VSS/BOD}}{1 + (0,03 \text{ hari}^{-1} \times 8 \text{ hari})} = 0,4 \text{ VSS/BOD}$$
- Pertambahan massa MLVSS dihitung menggunakan **Persamaan 39**.
Pertambahan massa MLVSS = $(48 + 21,19) \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,4 \text{ VSS/BOD} \times (141,7 \text{ mg/l} - 30 \text{ mg/l}) \times 10^{-3} = 3,09 \text{ kg/hari}$
- Pertambahan Massa MLSS dihitung menggunakan **Persamaan 40**.
Pertambahan Massa MLSS =
$$= \frac{3,09 \text{ kg/hari}}{80\%} = 3,86 \text{ kg/hari}$$
- Jumlah lumpur yang dibuang dihitung menggunakan **Persamaan 41**.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Lumpur yang Dibuang} &= 3,86 \text{ kg/hari} - (30 \text{ mg/L} \times (48 \text{ m}^3/\text{hari} + 21,19 \text{ m}^3/\text{hari}) \times 10^{-3}) \\ &= 1,78 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

- Laju Pembuangan *Sludge* dihitung menggunakan **Persamaan 42**.

$$Q_w = \frac{10,17 \text{ m}^3 \times 2450 \text{ mg/l}}{8 \text{ hari} \times 10000 \text{ mg/l}} = 0,31 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- Rasio resirkulasi dihitung menggunakan **Persamaan 43**, dimana kriteria desainnya bernilai 25% - 100% influen [3].

$$\text{Rasio Resirkulasi} = \frac{21,19 \text{ m}^3/\text{hari}}{48 \text{ m}^3/\text{hari}} = 0,44 \text{ (memenuhi kriteria desain} = 25\text{-}100\% \text{ influen)}$$

- Waktu hidrolis reaktor dihitung menggunakan **Persamaan 44**, dimana kriteria desainnya bernilai 3 – 5 jam [3].

$$\text{Waktu hidrolis reaktor} = \frac{10,17 \text{ m}^3}{(48 + 21,19) \text{ m}^3/\text{hari}} = 0,15 \text{ hari} = 3,6 \text{ jam (memenuhi kriteria desain} = 3\text{-}5 \text{ jam)}$$

- Perhitungan massa BOD_L yang digunakan dilakukan dengan **Persamaan 45**, dimana BOD₅/BOD_L bernilai 0,68 [8].

$$\text{Massa BOD}_L \text{ yang digunakan} = \frac{(48 + 21,19) \text{ m}^3/\text{hari} \times (141,7 \text{ mg/L} - 30 \text{ mg/L})}{0,68} \times 10^{-3} = 11,37 \text{ kg/hari}$$

- Kebutuhan oksigen dihitung menggunakan **Persamaan 46**.

$$\text{Kebutuhan O}_2 = 11,37 \text{ kg/hari} - (1,42 \times 3,09 \text{ kg/hari}) = 6,98 \text{ kg/hari}$$

- Rasio F/M dihitung menggunakan **Persamaan 47**, dimana kriteria desain F/M adalah 0,2 – 0,6 kg BOD/kg MLVSS.hari [3].

$$F/M = \frac{(48 \text{ m}^3/\text{hari} + 21,19 \text{ m}^3/\text{hari}) \times (141,7 \text{ mg/L} - 30 \text{ mg/L})}{2450 \text{ mg/L} \times 10,17 \text{ m}^3} = 0,31 \text{ (memenuhi kriteria desain} = 0,2 - 0,6)$$

- *Volumetric loading* dihitung menggunakan **Persamaan 48**, dimana kriteria desainnya yaitu 0,3 – 1,6 kg BOD₅/m³.hari [3].

$$\text{Volumetric Loading} = \frac{141,7 \text{ mg/L} \times (48 + 21,19) \text{ m}^3/\text{hari}}{10,17 \text{ m}^3} \times 10^{-3} = 0,96 \text{ kg/m}^3 \text{ (sesuai kriteria desain} = 0,3\text{-}1,6)$$

- Kebutuhan udara pada tangki aerasi dihitung menggunakan **Persamaan 49** sampai **Persamaan 53**, dimana berat O₂ di udara adalah 23,2% dan berat jenis udara adalah 1,201 kg/m³ [3].

$$\text{Kebutuhan Udara Teoritis} = \frac{6,98 \text{ kg/hari}}{1,201 \text{ kg/m}^3 \times 0,232} = 25,05 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Kebutuhan Udara Sebenarnya} = \frac{25,05 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,08} \times \frac{1 \text{ hari}}{1440 \text{ menit}} = 0,22 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\text{Kebutuhan Desain Udara} = 150\% \times 0,22 \text{ m}^3/\text{menit} = 0,33 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\text{Kebutuhan Udara/Unit Volume} = \frac{0,33 \text{ m}^3/\text{menit} \times 1440 \text{ menit/hari}}{(48 + 21,19) \text{ m}^3/\text{hari}} = 6,87 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$$\text{Kebutuhan udara/kg BOD disisihkan} = \frac{0,33 \text{ m}^3/\text{menit} \times 1440 \text{ menit/hari}}{(141,7 \text{ mg/L} - 30 \text{ mg/L}) \times (48 + 21,19) \text{ m}^3/\text{hari} \times 10^{-3}} = 61,49 \text{ m}^3/\text{kg}$$

- Menurut katalog enmech surface aerator, model aerator yang dapat digunakan untuk bak dengan kedalaman 2,26 m, kebutuhan udara 0,33 m³/menit adalah tipe JM-050 dengan daya 3,7 kW.

- Konstruksi inlet dihitung dengan menggunakan **Persamaan 54** sampai **Persamaan 56**. Konstruksi inlet terdiri dari saluran segi empat sepanjang lebar tangki aerasi. Aliran inflow memasuki saluran pada bagian tengah dengan menggunakan pipa *cast iron*. Dalam saluran terdapat orifice untuk mendistribusikan aliran influen sepanjang lebar bak aerasi.

$$Q_{\text{resirkulasi}} = 21,19 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_{\text{total}} = 48 \text{ m}^3/\text{hari} + 21,19 \text{ m}^3/\text{hari} = 69,19 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Lebar inlet} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Panjang saluran} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi muka air} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Banyaknya orifice} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{Dimensi orifice} = 0,25 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} [8]$$

$$\text{Debit tiap orifice} = 69,19 \text{ m}^3/\text{hari} : 4 \text{ buah} = 17,30 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,0002 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$CD = 0,61 [8]$$

$$\text{Kehilangan tekanan} = \left(\frac{0,0002 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,61 \times (0,25 \text{ m} \times 0,25 \text{ m}) \times \sqrt{2 \times 9,81}} \right)^2 = 1,41 \times 10^{-6} \text{ m}$$

- Konstruksi outlet menggunakan *rectangular weir*, dengan panjang *weir* sama dengan lebar bak, yaitu 1,5 m. Lebar saluran outlet = 0,5 m.

Bak Pengendap II

Pada perencanaan ini bak pengendap II direncanakan berbentuk lingkaran dengan tipe *center feed* dan dilengkapi dengan sistem penggerak lumpur mekanis. Unit yang dibangun berjumlah 2, dimana 1 unit beroperasi dan unit lainnya sebagai cadangan.

- Luas Permukaan bak pengendap II dihitung menggunakan **Persamaan 57**, dimana nilai MLSS bernilai 1500 – 4000 mg/L sedangkan nilai *limiting solid – loading rate* (SF) bernilai 2 kg/m².jam [2] [3].

$$\text{Luas} = \frac{69,19 \text{ m}^3/\text{harix} \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \times (3500 \text{ mg/L} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ m}^3})}{2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{jam}} = 5,05 \text{ m}^2$$

- Perhitungan diameter bak dilakukan menggunakan **Persamaan 58**.

$$\text{Diameter} = \sqrt{\frac{4 \times 5,05 \text{ m}^2}{\pi}} = 2,54 \text{ m} \approx 2,5 \text{ m}$$

- Perhitungan luas aktual dilakukan menggunakan **Persamaan 59**.

$$\text{Luas aktual} = \frac{1}{4} \times \pi \times 2,5^2 = 4,91 \text{ m}^2$$

- Kontrol *overflow rate* dihitung menggunakan **Persamaan 60**, dimana kriteria desain untuk *overflow rate* berkisar antara 12 – 32 m³/m².hari [13].

$$\text{Overflow rate} = \frac{69,19 \text{ m}^3/\text{hari}}{4,91 \text{ m}^2} = 14,09 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \text{ (sesuai kriteria desain : } 12 - 32 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari)}$$

- Perhitungan *solid loading* dilakukan menggunakan **Persamaan 61**, dimana kriteria desainnya berkisar antara 15 – 50 kg/m².hari [8].

$$\text{SL} = \frac{69,19 \text{ m}^3/\text{harix} 3,5 \text{ kg/m}^3}{4,91 \text{ m}^2} = 49,32 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hari} \text{ (memenuhi kriteria desain : } 15 - 150 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hari)}$$

- Kedalaman total bak pengendap II dihitung menggunakan **Persamaan 62**, dimana kedalaman bak berkisar antara 3 – 5 m dan nilai *freeboard* adalah 20% dari kedalaman bak [23][20].

$$\text{Kedalaman total} = 3 \text{ m} \times (20\% \times 3 \text{ m}) = 3,6 \text{ m}$$

- Volume bak dihitung menggunakan **Persamaan 63**.

$$\text{Volume} = 4,91 \text{ m}^2 \times 3 \text{ m} = 14,73 \text{ m}^3$$

- Waktu detensi dihitung dengan **Persamaan 64**, dimana kriteria desainnya adalah 1,5 – 2,5 jam [5].

$$\text{Waktu detensi} = \frac{14,73 \text{ m}^3}{69,19 \text{ m}^3/\text{hari}} = 0,21 \text{ hari} = 5,04 \text{ jam} \text{ (tidak memenuhi kriteria desain : } 1,5 - 2,5 \text{ jam)}$$

- Dikarenakan nilai waktu detensi terlalu besar, maka volume bak harus diperkecil dengan cara menurunkan kedalaman bak menjadi 1,3 m.

- Kedalaman total baru = 1,3 m + (20% x 1,3 m) = 1,56 m

- Volume baru = 4,91 m² x 1,3 m = 6,38 m³

- Waktu detensi baru = $\frac{6,38 \text{ m}^3}{69,19 \text{ m}^3/\text{hari}} = 0,09 \text{ hari} = 2,16 \text{ jam}$ (memenuhi kriteria desain : 1,5 – 2,5 jam)

Bak Desinfeksi

Pada perencanaan ini, metode desinfeksi yang dipakai yaitu metode khlorinasi menggunakan gas khlor. Pertimbangan pemilihan gas klor dikarenakan penggunaan gas khlor memerlukan biaya yang murah, efektivitas penghilangan bakteri tergolong sangat baik, dan toksisitas selain mikroorganisme tergolong tinggi [13].

- Kebutuhan dosis klorin dapat dihitung menggunakan **Persamaan 65** dan **Persamaan 66**, dimana dosis klorinasi untuk effluen dari *activated sludge* berkisar antara 2-8 mg/L [13].

- Kebutuhan Cl₂ saat dosis maksimum = 8 mg/L x 69,19 m³/hari x 10⁻³ = 0,55 kg/hari

- Kebutuhan harian khlor = 5 mg/L x 69,19 m³/hari x 10⁻³ = 0,35 kg/hari

- Volume bak desinfeksi dihitung menggunakan **Persamaan 67**, dimana waktu kontak antara air limbah dengan klor berkisar antara 15 – 45 menit [13].

$$\text{Volume} = (69,19 \text{ m}^3/\text{hari} : 86400) \times (30 \text{ menit} \times 60 \text{ detik/menit}) = 1,44 \text{ m}^3$$

- Luas permukaan bak dihitung menggunakan **Persamaan 68**, dimana kedalaman bak diasumsikan bernilai 0,5 m.

$$\text{Luas} = \frac{1,44 \text{ m}^3}{0,5 \text{ m}} = 2,88 \text{ m}^2$$

- Perhitungan panjang dan lebar bak dilakukan menggunakan **Persamaan 69** dan **Persamaan 70**, dengan rasio perbandingan panjang dan lebar bak berkisar antara 10:1 sampai 40:1 [13].

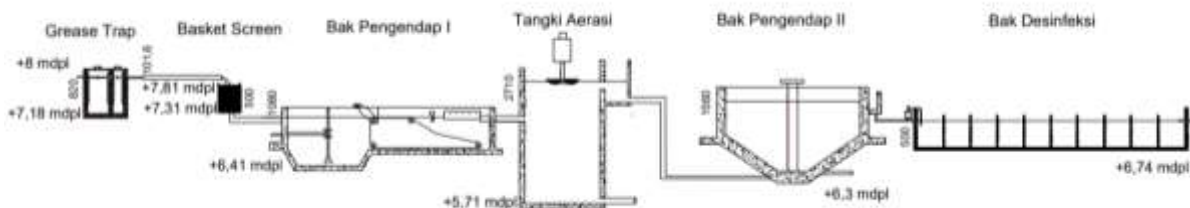
- Lebar = $\sqrt{\frac{2,88 \text{ m}^2}{10}} = 0,5 \text{ m}$
- Panjang = $10 \times 0,5 \text{ m} = 5 \text{ m}$
- Jumlah saluran *baffle* dihitung menggunakan **Persamaan 71**, dimana jarak antar saluran *baffle* diasumsikan bernilai 0,5 m.
Jumlah saluran *baffle* = $\frac{5 \text{ m}}{0,5 \text{ m}} = 10$ buah
- Perhitungan lebar saluran *baffle* dilakukan menggunakan **Persamaan 72**.
Lebar saluran *baffle* = $0,5 \text{ m} \times 10 \text{ buah} = 5 \text{ m}$
- Perhitungan jari-jari hidrolis dilakukan menggunakan **Persamaan 73**.
Jari-jari hidrolis = $\frac{0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}}{0,5 \text{ m} + (2 \times 0,5 \text{ m})} = 0,17 \text{ m}$
- Kecepatan pada penampang saluran dihitung menggunakan **Persamaan 74**.
Kecepatan pada penampang saluran = $\frac{69,19 \text{ m}^3/\text{hari} \times \frac{1 \text{ hari}}{86400 \text{ detik}}}{0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}} = 3,2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$
- **Persamaan 75** dapat diturunkan menjadi persamaan untuk mencari *headloss* (H_L), dimana saluran yang dipakai berbahan dasar beton yang memiliki koefisien manning (n) sebesar 0,012 – 0,016 [3].
 $H_L = \left(\frac{v \times n}{\text{Jari-jari hidrolis}^{2/3}} \right)^2 \times \text{Lebar saluran baffle} = \left(\frac{3,2 \times 10^{-3} \text{ m/s} \times 0,012}{(0,17 \text{ m})^{2/3}} \right)^2 \times 5 \text{ m} = 7,83 \times 10^{-8} \text{ m}$
- *Hedaloss* total (h) dihitung menggunakan **Persamaan 76**, dimana kecepatan horizontal bernilai 2 - 4,5 m/menit [13]. Diasumsikan bahwa kecepatan aliran pada saluran (v_s) bernilai 2 m/menit atau 0,033 m/s sedangkan kecepaan aliran pada belokan (v_b) berniali 4,5 m/menit atau 0,075 m/s.
 $h = 10 \text{ buah} \times \frac{(0,033 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} + (10 \text{ buah} - 1) \frac{(0,075)^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} + 7,83 \times 10^{-8} \text{ m} = 3,14 \times 10^{-3} \text{ m} \approx 0,314 \text{ cm}$

Hasil perhitungan dimensi tiap unit IPALD direkapitulasi ke dalam **Tabel 5**, dari hasil perhitungan tersebut dapat dibuat gambar profil hidrolis yang dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Dimensi Tiap Unit IPALD

Nama Unit Pengolahan	Dimensi			
	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Diameter (m)
<i>Grease Trap</i>	0,6	0,2	0,82	-
<i>Basket Screen</i>	0,4	0,4	0,5	-
Bak Pengendap I	3,6	0,9	1,4	-
Tangki Aerasi	3	1,5	2,71	-
Bak Pengendap II	-	-	1,56	2,5
Bak Desinfeksi	5	0,5	0,5	-

Sumber : Hasil Perhitungan (2023)



Gambar 2 : Profil Hidrolis IPALD di PT. X

Sumber : Hasil Perencanaan (2023)

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan, debit maksimum limbah domestik yang dihasilkan oleh PT.X bernilai 48 m³/hari. Terdapat 6 parameter yang tidak memenuhi baku mutu PerMenLHK No. 68 Tahun 2016, sehingga IPAL domestik PT. X harus mampu menyisihkan parameter BOD sebanyak 86.24%, COD sebanyak 73.40%, TSS sebanyak 88.97%, minyak dan lemak sebanyak 86.24%, amoniak sebanyak 79.01%, dan total coliform sebanyak 99.99%. Unit pengolahan yang akan digunakan untuk IPAL domestik di PT. X meliputi unit *grease trap*, *basket screen*, bak pengendap I, lumpur aktif (CMAS), bak pengendap II, dan bak desinfeksi.

5. Referensi

- [1] PT. Z, *Dokumen ANDAL PT. X*. Bandung: PT. Z, 2022.
- [2] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 04 Tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik*. Republik Indonesia, 2017.
- [3] Direktorat Jenderal Cipta Karya, *Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik Terpusat*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018.
- [4] M. M. Hardjosuprpto, *Diktat Penyaluran Air Buangan (Riolering)*. Bandung: ITB, 2000.
- [5] A. L. Indira, "Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Kawasan Aerocity X di Kabupaten Majalengka," Institut Teknologi Nasional, 2020.
- [6] H. N. Taufik, "Perencanaan Sistem Penyaluran Air Buangan di Kecamatan Purwakarta Kabupaten Purwakarta," Insitut Teknologi Nasional, 2015.
- [7] Direktorat Jenderal Cipta Karya, *Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017.
- [8] S. R. Qasim, *Water Works Engineering : Planning, Design & Operation*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall PTR, 1985.
- [9] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*. Republik Indonesia, 2016.
- [10] A. Gemardi, "Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah Domestik dan Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu di Kota Probolinggo," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [11] J. Wongthanate, N. Mapracha, B. Prapagdee & C. Arunlertaree, "Efficiency of Modified Grease Trap for Domestic Wastewater Treatment," *The Journal of Industrial Technology.*, 2014.
- [12] A. A. Zevhiana, "Efforts to Treatment and Utilize Domestic Wastewater in the AMDK and Beverages Industry in East Java," *CHEMVIRO: Jurnal Kimia dan Ilmu Lingkungan*, 2023.
- [13] G. Tchobanoglous, H. Stensel, R. Tsuchihashi & F. Burton, *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery*, 5th Edition. New York: Mc Graw-Hill, 2014.
- [14] I.W.K. Suryawan, G. Prajati, A.S. Afifah, & M.R. Apritama, "NH₃-N and COD Reduction in Endek (Balinese Textile) Wastewater by Activated Sludge Under Different Do Condition with Ozone Pretreatment," *Walailak Journal of Science and Technology*, 2021.
- [15] N. I. Said & M. R. Syabani, "Penghilangan Amoniak Di Dalam Air Limbah Domestik dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)," *Jurnal Air Indonesia*, 2014.
- [16] G.W. Aniriani, M.S.A. Putri, & T. Nengseh, "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*, 2022.
- [17] P. Rathore, D.J. Killedar & A. Sahare, "Life Cycle Cost Analysis of Wastewater Treatment Technologies," *IOP Conference Series: Earth and Environment Science*, 2022.
- [18] N. I. Said, *Teknologi Pengolahan Air Limbah: Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Erlangga, 2017.
- [19] S. Noerbambang & T. Morimura, *Perencanaan dan Pemeliharaan Sistem Plambing*. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1993.
- [20] M.R. Prambudi, U.H. Al-Hanniya, N.E. Arohmah & A.J. Pratama, "Perancangan Bangunan Pengolahan Air Buangan Industri Pengalengan Ikan," UPN "Veteran" Jawa Timur, 2021.
- [21] V. Te Chow, *Open Channel Hydraulics*. New York: Mc Graw-Hill Book Company, Inc, 1959.
- [22] L. Rawis, I.R. Mangangka & R.R. Legrans, "Analisis Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Rumah Sakit Bhayangkara Tingkat III Manado," *TEKNO*, 2022.
- [23] M. L. Davies, *Water and Wastewater Engineering: Design, Principles, and Practice*. New York: Mc Graw-Hill Professional, 2010.
- [24] D. F. Hawitri, "Efektifitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Di UPTD Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Lampung," Poltekkes Tanjungkarang, 2022.
- [25] A.D. Astuti. M. Lindu. R. Yanidar. M.M. Kleden, "Kinerja Subsurface Constructed Wetland Multylayer Filtration Tipe Aliran Vertikal dengan Menggunakan Tanaman Akar Wangi (Vetivera Zozanoides) dalam Penyisihan BOD dan COD dalam Air Limbah Kantin," *Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, 2016.
- [26] R. Ningtyas, *Pengolahan Air Limbah dengan Proses Lumpur Aktif*. Bandung: ITB, 2015.