

Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Dalam Mengurangi Pencemaran Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Di PT.XYZ

Wastewater Treatment Plant (WWTP) Planning to Reduce Palm Oil Mill Wastewater Pollution at PT. XYZ

Widya Sinansari Sembiring¹, Sophia Shanti Meilani^{1*}, Surya Adi Wicaksono¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya, Kota Bekasi, Indonesia

*Penulis korespondensi: sophia.shanti@dsn.ubharajaya.ac.id

Abstrak

Limbah cair dari industri kelapa sawit mengandung bahan pencemar organik dan anorganik dengan konsentrasi tinggi yang dapat mencemari lingkungan apabila tidak diolah dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di PT XYZ yang berlokasi di Kabupaten Banyuasin, guna mengurangi kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solids* (TSS). Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan observasi lapangan, wawancara, dan uji laboratorium terhadap sampel air limbah dari inlet dan outlet IPAL. Hasil menunjukkan bahwa IPAL yang dirancang mampu menurunkan kadar BOD dari 6.354 mg/L menjadi 84,3 mg/L, COD dari 12.125 mg/L menjadi 213 mg/L, dan TSS dari 4.394 mg/L menjadi 94,3 mg/L. Efisiensi penurunan masing-masing adalah 98,67% (BOD), 98,24% (COD), dan 97,85% (TSS). Sistem IPAL terdiri dari unit ekualisasi, sedimentasi awal, flotasi, reaktor anaerobik, lumpur aktif, dan sedimentasi akhir. Hasil perencanaan menunjukkan sistem ini efektif dan memenuhi baku mutu lingkungan sesuai Permen LHK No. 5 Tahun 2014.

Kata kunci: BOD, COD, limbah cair kelapa sawit, IPAL

Abstract

Liquid waste from the palm oil industry contains high concentrations of organic and inorganic pollutants that can pollute the environment if not properly treated. This study aims to plan a Wastewater Treatment Plant (WWTP) at PT XYZ located in Banyuasin Regency, to reduce the levels of Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), and Total Suspended Solids (TSS). The study used a quantitative descriptive approach with field observations, interviews, and laboratory tests on wastewater samples from the WWTP inlet and outlet. The results showed that the designed WWTP was able to reduce BOD levels from 6,354 mg/L to 84.3 mg/L, COD from 12,125 mg/L to 213 mg/L, and TSS from 4,394 mg/L to 94.3 mg/L. The reduction efficiencies were 98.67% (BOD), 98.24% (COD), and 97.85% (TSS), respectively. The wastewater treatment plant (WWTP) system consists of an equalization unit, initial sedimentation, flotation, anaerobic reactor, activated sludge, and final sedimentation. The design results indicate that this system is effective and meets environmental quality standards as stipulated in Ministerial Regulation No. 5 of 2014.

Keywords: BOD, COD, palm oil wastewater, WWTP, PT XYZ

1. Pendahuluan

Kelapa sawit merupakan tanaman strategis dengan produktivitas tinggi, sekitar 4,09 ton/hektar per tahun (Stephanie et al., 2018). Minyaknya digunakan secara luas dalam sektor makanan, kosmetik, kesehatan, hingga energi terbarukan. Produksi minyak sawit mentah (CPO) Indonesia telah mencapai lebih dari 45 juta ton pada 2021 (Simanjuntak et al., 2024). Namun, di balik kontribusinya terhadap perekonomian, industri ini menghasilkan limbah cair dengan kandungan senyawa organik, padatan tersuspensi, BOD, COD, dan TSS yang dapat mencemari lingkungan jika tidak diolah secara optimal (Syamsuddin & Rivai, 2023).

IPAL menjadi komponen vital dalam pengendalian pencemaran limbah cair pabrik kelapa sawit. Namun, efektivitasnya sering terkendala desain teknis, teknologi pengolahan, dan kepatuhan terhadap regulasi (Rahman, 2025). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sejumlah IPAL belum mampu menurunkan kadar BOD dan COD secara signifikan (Chaerunnisa & Mentari,

2024). Penelitian ini menghadirkan evaluasi menyeluruh terhadap IPAL di Kabupaten Muara Enim, dengan fokus pada aspek teknis dan manajerial, untuk menilai efektivitas pengolahan serta kesesuaiannya dengan peraturan yang berlaku demi perlindungan lingkungan berkelanjutan.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan memanfaatkan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap proses produksi dan sistem pengolahan limbah cair di pabrik kelapa sawit PT. XYZ Kabupaten Banyuasin. Observasi ini dilakukan untuk mengetahui kondisi aktual instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang diterapkan di lapangan serta untuk mendokumentasikan alur dan fungsi masing-masing unit pengolahan.

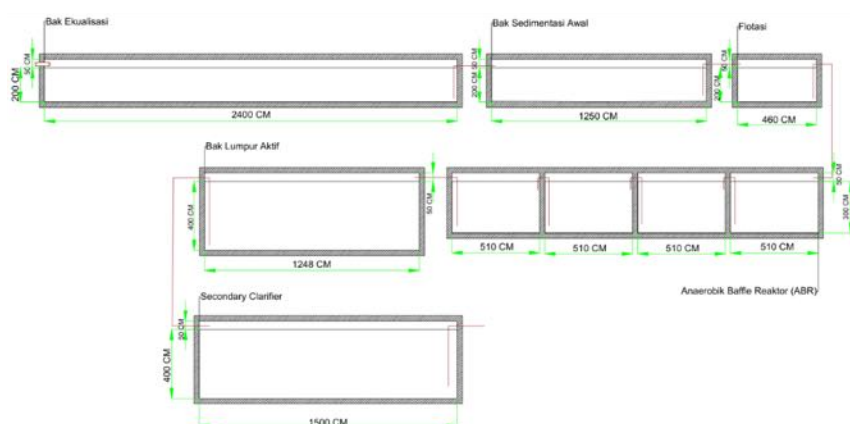
Data sekunder dikumpulkan dari berbagai referensi seperti jurnal ilmiah, laporan teknis, data perusahaan, situs web, serta regulasi lingkungan yang berlaku. Data tersebut mencakup informasi tentang debit air limbah, hasil uji laboratorium, baku mutu air limbah berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 5 Tahun 2014, hingga kriteria desain IPAL dan studi-studi terdahulu yang mendukung analisis perencanaan teknis. Kombinasi antara data primer dan sekunder ini digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi efektivitas sistem IPAL, baik dari sisi teknis maupun kesesuaiannya dengan peraturan perundangan yang berlaku.

3. Hasil Dan Pembahasan

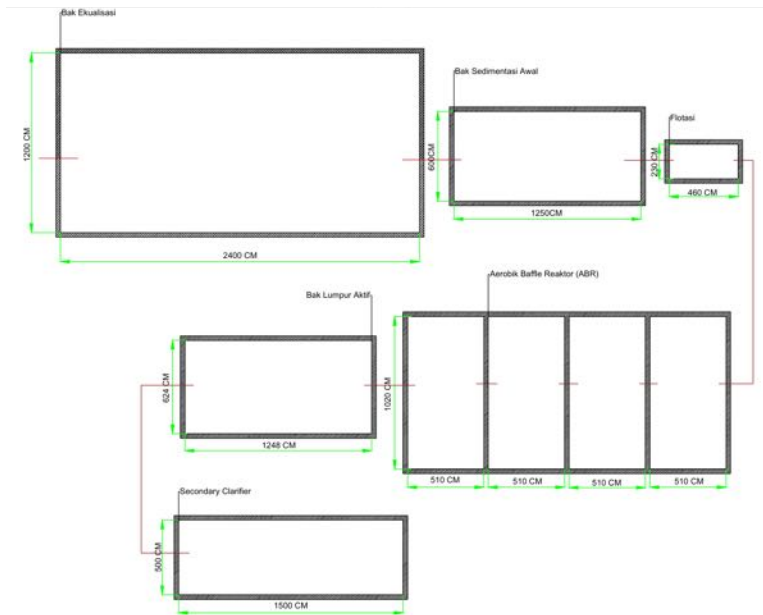
A. Sistem Pengumpulan dan Proses Pengolahan Air Limbah

Sistem pengolahan air limbah di PT XYZ dimulai dari unit ekualisasi yang berfungsi menyamakan konsentrasi dan aliran limbah cair. Limbah kemudian mengalir ke unit sedimentasi awal untuk mengendapkan partikel tersuspensi, dilanjutkan ke unit flotasi yang menghilangkan minyak dan lemak. Selanjutnya limbah dialirkan ke reaktor anaerobik (Anaerobic Baffled Reactor) yang berfungsi menurunkan BOD dan COD secara signifikan. Limbah kemudian diproses lebih lanjut di bak lumpur aktif untuk menguraikan sisa bahan organik sebelum akhirnya melewati proses sedimentasi akhir. Lumpur yang dihasilkan dari beberapa unit akan dikembalikan sebagian ke proses aerasi dan sisanya dibuang sebagai limbah padat.

Gambar berikut menunjukkan alur sistem pengolahan air limbah:



Gambar. 1 IPAL Pabrik Kelapa Sawit Tampak Depan



Gambar. 2 IPAL Pabrik Kelapa Sawit Tampak Atas

B. Karakteristik Limbah Cair

Hasil uji laboratorium terhadap sampel inlet IPAL menunjukkan kadar pencemar yang sangat tinggi, seperti ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Hasil Uji Laboratorium Limbah Cair Inlet IPAL PT XYZ

Parameter	Baku Mutu (mg/L)	Hasil Uji (mg/L)	Metode Pengujian
BOD ₅	100	11763,11	SNI 6989.72:2009
COD	350	215633,52	SNI 6989.73:2019
TSS	250	453	SNI 6989.3.2019
Minyak dan Lemak	150	21,36	SNI 06-6989.10-2011
Nitrogen Total	50	17,33	ITEC.IK-7.2- 1.1 1 (Bv Calculated)
pH	6,0-9,0	8,16	SNI 6989.11.2019

Kadar BOD dan COD yang sangat tinggi menunjukkan bahwa limbah cair mengandung bahan organik dan anorganik terlarut yang dapat mengurangi oksigen terlarut di perairan secara drastis jika tidak ditangani dengan baik.

B. Kuantitas Limbah Cair

Kuantitas limbah cair yang dihasilkan oleh PT. XYZ sangat bergantung pada kapasitas olahan tandan buah segar (TBS) yang diproses setiap harinya. Berdasarkan hasil pengamatan dan data operasional di lapangan, volume limbah cair yang dihasilkan menunjukkan fluktuasi yang sejalan dengan jumlah TBS yang diolah.

Tabel 2 Kuantitas Limbah Cair Kelapa Sawit

Bulan	Q Debit m ³ /bulan
Januari 2024	44.859,2

Bulan	Q Debit m ³ /bulan
Februari 2024	30.286,4
Maret 2024	29.221,1
April 2024	38.503,6
Mei 2024	38.905,5
Juni 2024	33.396,0
Juli 2024	27.645,5
Agustus 2024	28.926,9
September 2024	30.445,1
Oktober 2024	41.064,8
November 2024	39.194,7
Desember 2024	34.438,0
Rata-rata	34.829,0

C. Perhitungan Desain IPAL

Perhitungan desain IPAL meliputi beberapa unit proses, yaitu ekualisasi, sedimentasi awal, flotasi, reaktor anaerob ABR, unit lumpur aktif, dan sedimentasi akhir (Azhari et al., 2025). dengan perhitungan sebagai berikut:

a) Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi digunakan untuk menstabilkan debit dan kualitas limbah cair yang bersifat fluktuatif (Della Lusiana Fitri et al., 2025).

Perhitungan Dimensi :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= Q \times t_d \\
 &= 62,3 \text{ m}^3/\text{jam} \times 4 \text{ jam} \\
 &= 249,2 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dimensi yang dibutuhkan

$$\begin{aligned}
 V \text{ bak ekualisasi} &= A \times h \quad 249,2 \\
 \text{m}^3 &= A \times 2 \text{ m} \\
 A &= \frac{249,2 \text{ m}^3}{2 \text{ m}} = 124,6 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio P:L} &= 2:1 \\
 2L^2 &= 124,6 \text{ m}^2 \\
 L &= \sqrt{\frac{124,6}{2}} = 7,89 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 7,89 \text{ m} \approx 8 \text{ m} \\
 \text{Panjang} &= 2 \times \text{lebar} \\
 &= 2 \times 7,89 = 15,775 \text{ m} \approx 16 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka dimensi yang diperlukan:

$$\begin{aligned}
 \text{Dimensi} &= \text{Panjang} \times \text{lebar} \times \text{kedalaman} \\
 &= 16 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\
 &= 256 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Tinggi jagaan atau ruang bebas ditetapkan sebesar 0,5 m, sehingga total kedalaman bak menjadi:

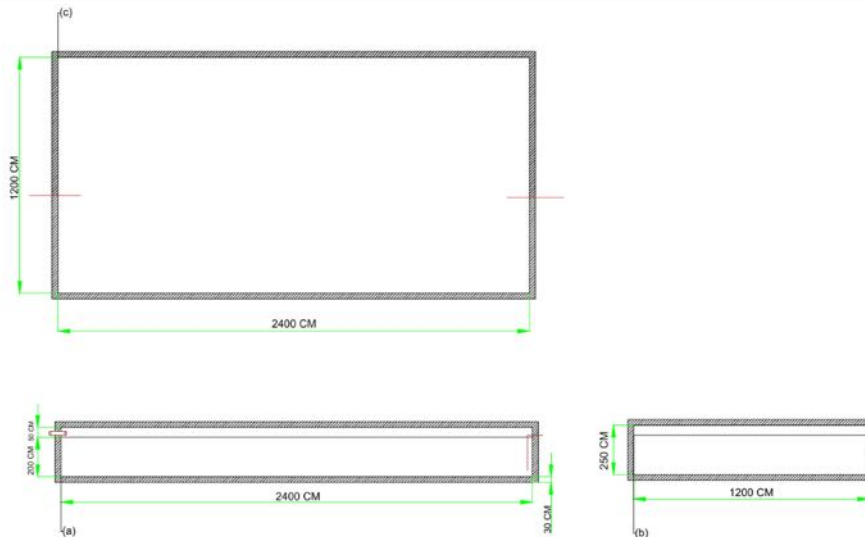
$$\text{Total kedalaman bak} = h_{\text{air}} + h_{\text{jagaan}}$$

$$= 2 \text{ m} + 0,5 \text{ m}$$

$$= 2,5 \text{ m}$$

Cek waktu tinggal

$$T_d = \frac{\text{Volume total}}{Q} = \frac{16 \times 8 \times 2}{62,3} = 4,1 \text{ jam (memenuhi)}$$



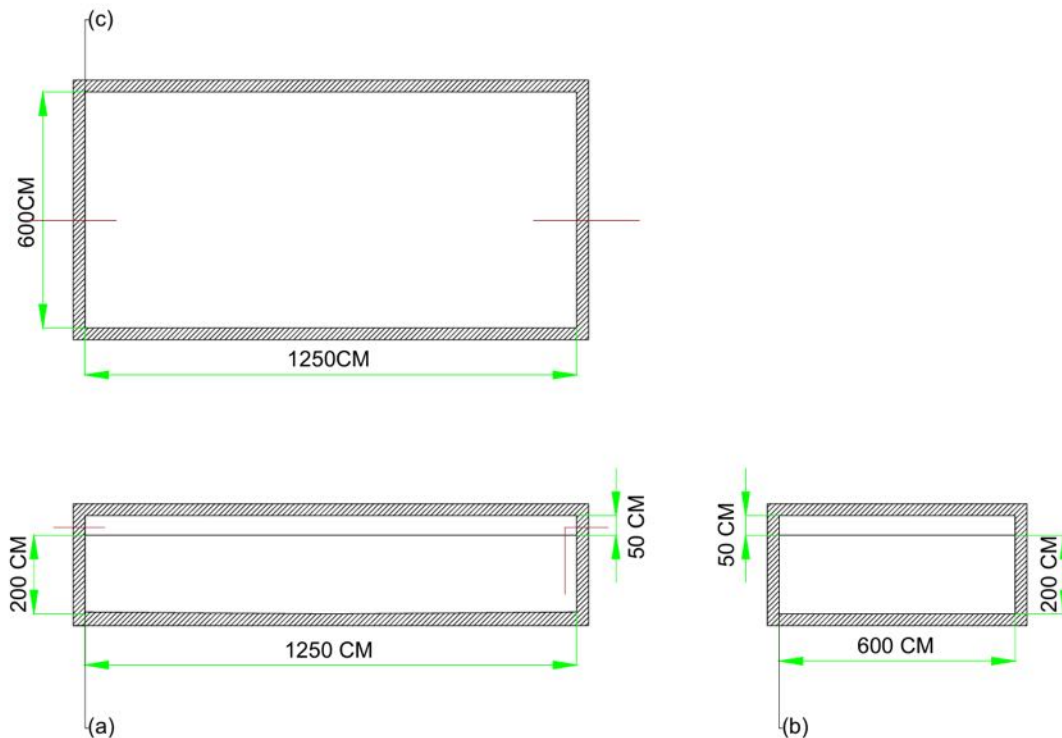
Gambar. 3 Desain Bak Ekualisasi

b) Sedimentasi Awal

Proses sedimentasi bertujuan untuk memisahkan padatan tersuspensi dari cairan dengan memanfaatkan gaya gravitasi (Fauzan Pratama et al., 2025).

Tabel 3 Rekap Hasil Rancangan Bak Sedimentasi Awal

Kriteria	Satuan	Nilai
Jumlah bak	unit	1
Volume bak pengendap awal	m ³ /jam	186,91
Volume efektif	m ³	187,5
Panjang bak (P)	m	12,5
Lebar bak (L)	m	6
Kedalaman air bak sedimentasi (h)	m	2,5
Total kedalaman bak sedimentasi (h)	m	23
Slope/kemiringan		0,02
OR	m ³ /m ² .hari	20
BOD in	mg/L	11.763,11
Bod removal	mg/L	2.940,78
Bod tersisa	mg/L	8.822,33
TSS in	mg/L	453
TSS removal	mg/L	317
TSS tersisa	mg/L	136
COD _{tersisa}	mg/L	129.380,1



Gambar 4. Desain Bak Sedimentasi Awal

c) Flotasi

Flotasi adalah proses pemisahan partikel padat, minyak, lemak, dan zat tersuspensi dalam air limbah dengan bantuan gelembung mikro udara yang diinjeksikan ke dalam air limbah (Euis N. H., 2018). Perhitungan Bak Flotasi Tekanan Udara:

$$A/S = \frac{1,3 \times Sa \times (f.p-1)}{Sa}$$

$$0,06 = [1,3 \times 18,7 \times (0,5.P - 1)] / 150$$

$$P = 2,74 \text{ atm} = 277,6 \text{ kPa (Memenuhi) Volume}$$

Bak (V)

$$V = Q \times td$$

$$V = 0,01731 \text{ m}^3/\text{dtk} \times 1200 \text{ dtk}$$

$$V = 20,77 \text{ m}^3 = 21 \text{ m}^3 \text{ Dimensi}$$

Bak:

$$P = 2L \quad H = 2 \text{ m}$$

$$\text{Volume} = P \times L \times H$$

$$V = 2L \times L \times 2$$

$$21 \text{ m}^3 = 2L \times L \times 2$$

$$L = \sqrt{5,25}$$

$$L = 2,3 \text{ m}$$

$$P = 2 \times L$$

$$P = 2 \times 2,3 \text{ m}$$

$$P = 4,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek volume efektif} &= P \times L \times H \\ &= 4,6 \text{ m} \times 2,3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\ &= 21,2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tinggi Total:

$$H = 2 \text{ m} + 0,5 = 2,5 \text{ m}$$

Volume total = $P \times L \times H_{\text{total}}$

$$\begin{aligned} &= 4,6 \text{ m} \times 2,3 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \\ &= 26,45 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Surface Loading Rate (SLR):

$$\text{SLR} = Q / (P \times L)$$

$$\begin{aligned} \text{SLR} &= 1038,6 \text{ L/menit} / (4,6 \text{ m} \times 2,3 \text{ m}) \\ &= 98,2 \text{ L/m}^2 \text{ menit (Memenuhi) Diameter} \end{aligned}$$

Pipa Outlet:

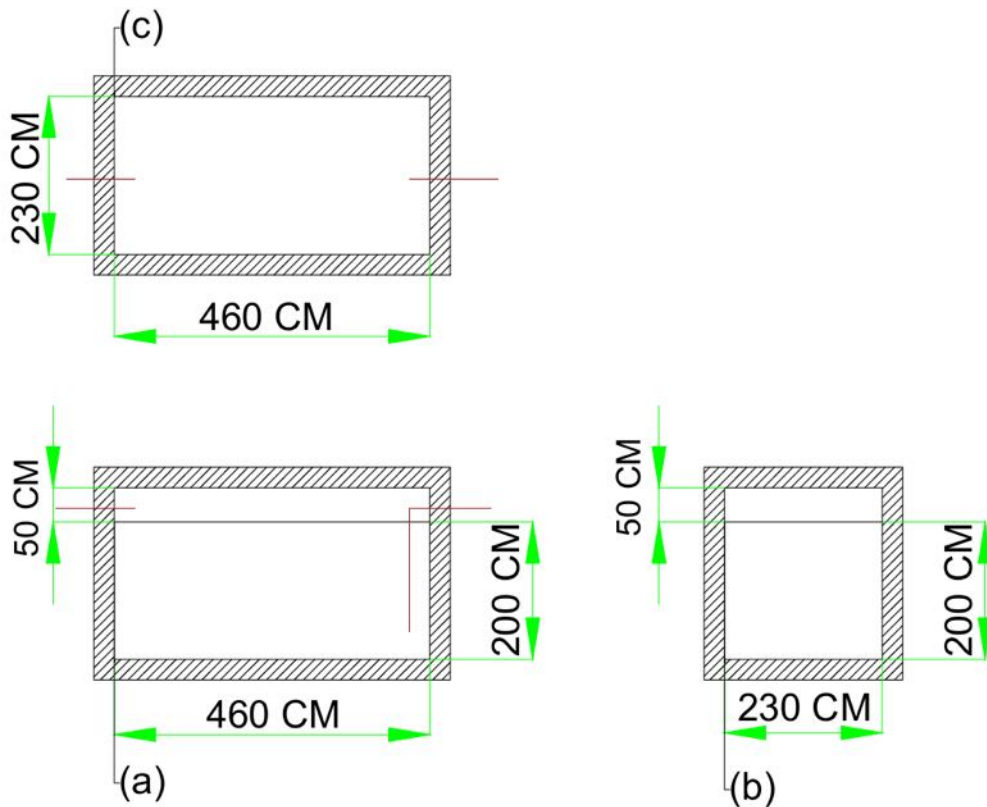
$$D = \sqrt{(4 \times Q / \pi \times v)}$$

$$D = \sqrt{(4 \times 00,01731 / 3,14 \times 0,3)}$$

$$D = 0,08 \text{ m} \approx 81 \text{ mm}$$

Tabel 4 Rekap Hasil Rancangan Bak flotasi

Kriteria	Satuan	Nilai
Jumlah bak	unit	1
Volume bak (V)	m ³	20,77
Lebar	m	2,3
Panjang	m	4,6
Volume efektif	m ³	21,2
Tinggi total	m	2,5
Volume total	m ³	26,45
SLR	L/m ² menit	98,2
Diameter pipa outlet	Mm	00
Debit minyak	m ³ /hari	0,24
Volume bak minyak (Vm)	m ³	1,68
Daya blower (PW)	kW	170
hL	mm	0,033



Gambar. 5 Desain Bak Flotasi

d) Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

ABR memiliki desain bersekat yang memperpanjang jalur aliran dan meningkatkan kontak limbah dengan biomassa aktif. Teknologi ini efektif dalam menurunkan BOD dan COD, menghasilkan lumpur dalam jumlah sedikit, berpotensi menghasilkan biogas (CH₄), serta lebih stabil terhadap fluktuasi beban dibanding sistem anaerob konvensional (Abd Aziz, n.d.).

Perhitungan Baffled Reactor (ABR)

Volume Total ABR

$$V = Q \times \frac{HRT}{24}$$

$$V = 1495,31 \times \frac{10}{24}$$

$$V = 623,04 \text{ m}^3$$

Volume per Kompartemen (V_k)

$$V_k = \frac{V}{q}$$

$$V_k = \frac{\text{jumlah kompartemen}}{1495,31}$$

$$V_k = 373,83 \text{ m}^3$$

Asumsi H = 3m P = 2L

$$V = P \times L \times H$$

$$623,04 \text{ m}^3 = 2L \times L \times 3 \text{ m}$$

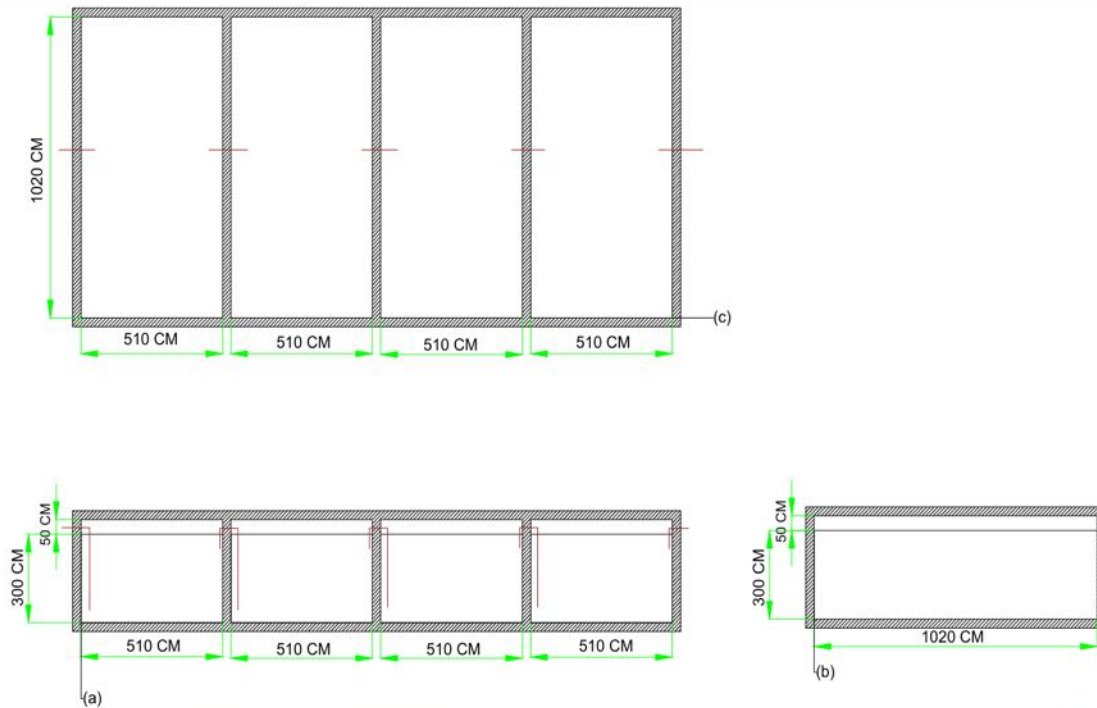
$$\begin{aligned}
2L_2 &= \frac{623,04 \text{ m}^3}{3} \\
L &= \sqrt[3]{103,84} \quad \text{Cek volume efektif} = P \times L \times H \\
L &= 10,2 \text{ m} = 20,4 \text{ m} \times 10,2 \text{ m} \times 3 \text{ m} \\
P &= 2L = 624,24 \text{ m}^3 \\
P &= 2 \times 10,2 \quad \text{Tinggi total (H}_{tot}\text{)} \\
P &= 20,4 \text{ m} \quad H_{tot} = 3 \text{ m} + 0,5 \text{ (freeboard)} \\
&= 3,5 \text{ m} \\
\text{Volume total} &= P \times L \times H_{tot} \\
&= 20,4 \text{ m} \times 10,2 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \\
&= 728,3 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

Panjang tiap kompartemen

$$\begin{aligned}
P &= \frac{P_{total}}{4} \\
&= \frac{20,4}{4} \\
&= 5,1 \text{ m}
\end{aligned}$$

Tabel 5 Rekap Hasil Rancangan Bak ABR

Kriteria	Satuan	Nilai
BOD influen (BOD _{in})	mg/L	8822,33
BOD effluen (BOD _{out}) (Asumsi removal 95%)	mg/L	441,12
HRT	Jam	10
Jumlah kompartemen ABR	-	4
Kedalaman reaktor (H)	m	3
Volume Total ABR	m ³	623,04
Lebar (L)	m	10,2
Panjang (P)	m	20,4
Cek volume efektif	m ³	624,24
Tinggi total (H _{tot})	m	3,5
Volume total	m ³	728,3
Panjang tiap kompartemen	m	5,1
COD influen	mg/L	129.380,1
COD removed (asumsi 95%)	mg/L	122.911,
COD tersisa	mg/L	6.494
Produksi CH ₄	m ³ /hari	3.375.13



Gambar. 6 Desain Bak Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

e.) Lumpur Aktif

Tujuan dari pengolahan air limbah, proses *activated sludge* atau lumpur aktif menggunakan aerasi dan sirkulasi lumpur untuk menghilangkan zat organik biodegradable yang tidak terurai di tahap sebelumnya. Proses ini membentuk flok mikroba melalui pengadukan dan suplai oksigen yang merata (CIUŁA, 2022).

Perhitungan desain :

BOD yang dihilangkan/ hari

$$\begin{aligned} \text{BOD}_{\text{removed}} &= 0,9 \times 441,12 \text{ mg/L} \\ &= 397 \text{ mg/L} \\ &= 594,23 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD tersisa} &= \text{BOD awal} - \text{BOD}_{\text{removed}} \\ &= 441,12 \text{ mg/L} - 397 \text{ mg/L} \\ &= 44,12 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{removal}} &= 6.469 \text{ mg/L} - 646,9 \text{ mg/L} \\ &= 5.822,1 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien pertumbuhan mikroorganisme (Y}_{\text{obs}}) &= \frac{Y}{1 + K_d \times \theta_c} \\ &= \frac{0,5}{1 + (0,05 \times 10)} \\ &= 0,33 \text{ VSS} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Produksi lumpur (Px)} &= Y_{\text{obs}} \times \text{BOD}_{\text{removed}} \\ &= 0,33 \text{ VSS} \times 594,23 \text{ kg/hari} \\ &= 197,84 \text{ kg VSS/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Produksi lumpur total TSS (P}_{\text{xTSS}}) &= \frac{P_x}{G} \\ &= \frac{197,84}{0,85} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume reaktor (V)} &= 232,75 \text{ kg TSS/hari} \\
 &= Q \times \text{HRT} \\
 &= 1.495,31 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,2083 \text{ hari} \\
 &= 311,7 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas permukaan (A)} &= \frac{V}{\bar{H}} \\
 &= \frac{311,7 \text{ m}^3}{4 \text{ m}} \\
 &= 77,9 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Asumsi } P = 2L$$

$$\text{Luas} = P \times L$$

$$77,9 = 2L \times L$$

$$L^2 = \sqrt{38,95}$$

$$L = 6,24 \text{ m}$$

$$P = 2L$$

$$= 2 \times 6,24 \text{ m}$$

$$= 12,48 \text{ m}$$

$$\text{MLVSS} = \text{MLSS} \times G$$

$$= 2500 \text{ mg/L} \times 0,85$$

$$= 2.125 \text{ mg/L}$$

F/M ratio

$$\text{Total massa dalam reaktor} = V \times \text{MLSS} \times 0,001$$

$$= 311,7 \text{ m}^3 \times 2.125 \text{ mg/L} \times 0,001$$

$$= 662,3 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{F/M} &= \frac{\text{BODremoved}}{\text{massa reaktor}} \\
 &= \frac{594,23 \text{ kg/hari}}{662,3 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

$$= 0,89 = 0,9 \text{ (memenuhi)}$$

$$\text{Total beban TSS di effluent} = Q \times \text{TSS}_{\text{effluent}} \times 0,001$$

$$= 1.495,31 \text{ m}^3/\text{hari} \times 136 \text{ mg/L} \times 0,001$$

$$= 203,36 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Xe (VSS efluen)} = \text{TSS}_{\text{effluent}} \times G$$

$$= 136 \text{ mg/L} \times 0,85$$

$$= 115,6 \text{ mg/L}$$

$$\text{Beban VSS di effluent} = Q \times \text{Xe} \times 0,001$$

$$= 1495,31 \text{ m}^3/\text{hari} \times 115,6 \text{ mg/L}$$

$$= 172,8 \text{ kg/hari}$$

PxTSS

$$\text{Q lumpur buang} =$$

$$\frac{\text{konsentrasi lumpur buangan} \times 0,001}{232,755 \text{ kg TSS/hari}}$$

=

$$10.000 \text{ mg/L} \times 0,001$$

$$= 23.275,5 \text{ kg/hari}$$

Q lumpur kembali

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi lumpur kembali } (X_r) &= \text{konsentrasi lumpur buangan} \times G \\ &= 10.000 \text{ mg/L} \times 0,85 = 8.500 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

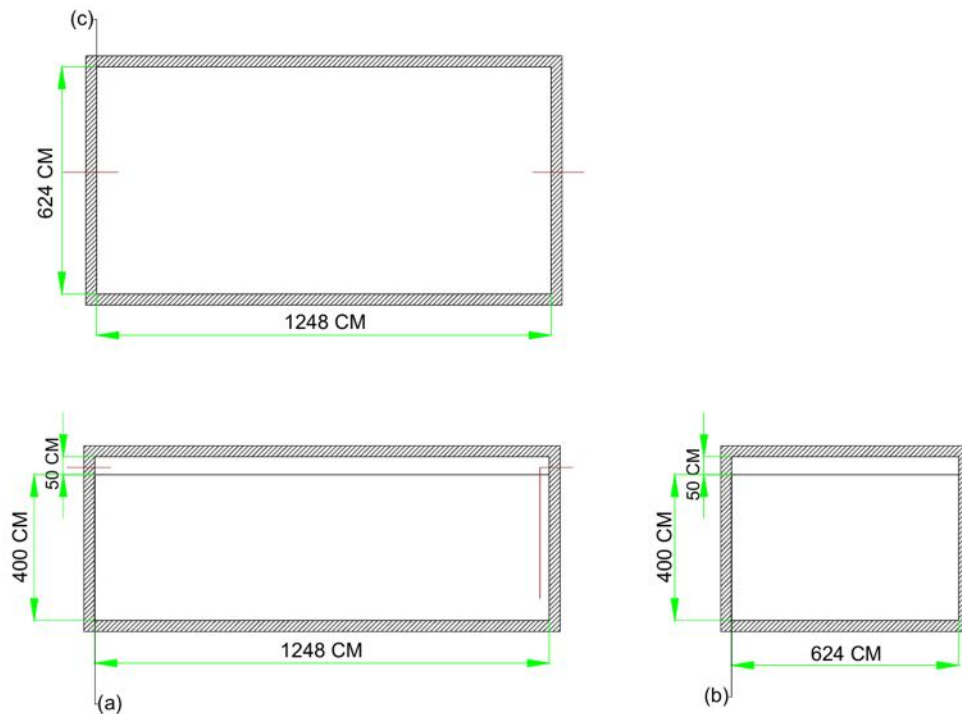
$$\begin{aligned} (X_r) - \text{MLVSS} &= 8500 \text{ mg/L} - 2.125 \text{ mg/L} \\ &= 6.375 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Q lumpur kembali} &= \frac{\text{MLVSS}}{(X_r) - \text{MLVSS}} \times Q \\ &= \frac{2.125 \text{ mg/L}}{6.375 \text{ mg/L}} \times 1.495,31 \\ &= 498,6 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 4.968 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio lumpur kembali} &= \frac{\text{Q lumpur kembali}}{Q} \\ &= \frac{498,6 \text{ m}^3/\text{hari}}{1495,31 \text{ m}^3/\text{hari}} \\ &= 0,33 \end{aligned}$$

Tabel 6 Rekap Hasil Rancangan Bak lumpur aktif

Kriteria	Satuan	Nilai
BOD _{influent}	mg/L	441,12
BOD _{effluent} (asumsi removal 90%)	mg/L	44,12
Koefisien pertumbuhan mikroorganisme (Y_{obs})	VSS	0,33
Produksi lumpur (Px)	kg VSS/hari	197,84
Produksi lumpur total TSS (P_{XTSS})	kg TSS/hari	232,75
Volume reaktor (V)	m ³	311,7
Luas permukaan (A)	m ²	77,9
Panjang (P)	m	12,48
Lebar (L)	m	6,24
MLVSS	mg/L	2.125
Total massa dalam reaktor	kg	662,3
F/M ratio	hari	0,9 (memenuhi)
Total beban TSS di effluent	kg/ hari	203,36
X _e (VSS efluen)	mg/L	115,6
Beban VSS di effluent	kg/hari	172,8
Q lumpur buang	kg/hari	23.275,5
Q lumpur kembali	kg/hari	4.968



Gambar. 7 Desain Bak Lumpur Aktif

f) Sedimentasi Akhir

Sedimentasi akhir (secondary clarifier) adalah tahap pengendapan pada proses pengolahan air limbah biologis setelah proses lumpur aktif (Dinda Prasetya & Ardisty Sitogasa, n.d.).

Perhitungan desain :

1. Hitung luas permukaan clarifier (A) = $\frac{Q}{OR}$

$$= \frac{495,31 \text{ m}^3/\text{hari}}{20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}}$$

$$= 75 \text{ m}^2$$
2. Volume clarifier (V) = A x H

$$= 75 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m}$$

$$= 300 \text{ m}^3$$
3. Cek waktu tinggal (td) = $\frac{V}{Q}$

$$= \frac{300 \text{ m}^3}{62,3 \text{ m}^3/\text{jam}}$$

$$= 4,8 \text{ jam}$$
4. Tinggi total = 4 + 0,5 (freeboard)

$$= 4,5 \text{ m}$$
5. Diamter clarifier (asumsi lingkaran) A = $\pi \times (D^2/4)$

$$D^2 = \frac{4 \times 75 \text{ m}^2}{3,14}$$

$$D = \sqrt{95,5}$$

$$= 9,8 \text{ m} = 10 \text{ m}$$

6. Hitung beban TSS

$$\begin{aligned} \text{Beban TSS} &= Q \times \text{TSS}_{\text{influent}} \\ &= 1495,31 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,20336 \text{ kg/m}^3 \\ &= 304,15 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

7. $\text{TSS}_{\text{removal}} = 203,36 \text{ mg/L} \times 80\%$
 $= 162,68 \text{ mg/L}$

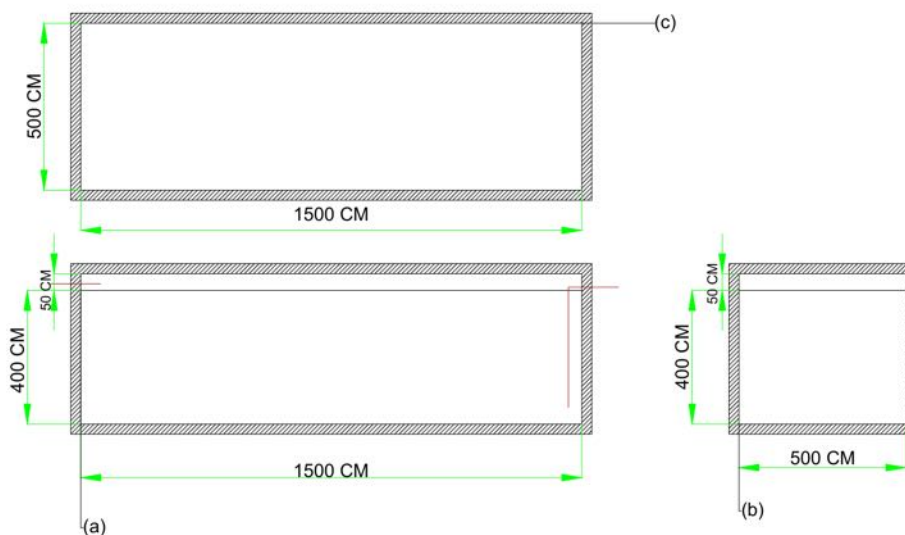
8. $\text{TSS}_{\text{effluent}} = \text{TSS}_{\text{influent}} \times \text{TSS}_{\text{removal}}$
 $= 203,36 \text{ mg/L} \times 162,68 \text{ mg/L}$
 $= 40,67 \text{ mg/L}$

9. $\text{COD}_{\text{removal}} = 646,9 \text{ mg/L} \times 70\%$
 $= 452,83 \text{ mg/L}$

10. $\text{COD}_{\text{effluent}} = \text{COD}_{\text{influent}} \times \text{COD}_{\text{removal}}$
 $= 646,9 \text{ mg/L} - 452,83 \text{ mg/L}$
 $= 194,1 \text{ mg/L}$

Tabel 7 Rekap Hasil Rancangan secondary clarifier

Kriteria	Unit	Kisaran
Luas permukaan	m ²	75
Volume	m ³	300
Cek waktu tinggal (td)	jam	4,8
Diamter clarifier	m	10
Kedalaman total	m	4,5
Beban TSS	kg/hari	304,15
TSS _{influent}	mg/L	203,36
TSS _{removal}	mg/L	162,68
TSS _{effluent}	mg/L	40,67



Gambar. 8 Desain Bak Sedimentasi Akhir

g) Proyeksi Hasil Pengolahan Effluent

Dengan tersusunnya desain IPAL yang meliputi kapasitas unit-unit pengolahan, dilakukan estimasi kualitas *effluent* sebagai langkah awal untuk menilai kinerja sistem dalam menurunkan kandungan pencemar sebelum dibuang ke badan air sebagai berikut :

Tabel 8 Rekap Proyeksi Hasil Pengolahan Effluent

Tahapan	Parameter							
	BOD (mg/L)	Penurunan BOD (%)	COD (mg/L)	Penurunan COD (%)	TSS (mg/L)	Penurunan TSS (%)	Minyak & Lemak (mg/L)	Penurunan Minyak & Lemak
<i>Influent</i>	11.763,11	-	215.633,52	-	453	-	150	-
Bak Ekualisasi	11.763,11	0%	215.633,52	0%	453	0%	150	0%
Bak Sedimentasi Awal	8.822,23	25%	129.380,1	40%	136	70%	150	0%
Bak Flotasi	8.822,23	0%	129.380,1	0%	136	0%	22,5	85%
Bak Anaerobik Baffle Reaktor	441,12	95%	6.469	95%	136	0%	22,5	0%
Bak Lumpur Aktif	44,12	90%	646,9	90%	136	0%	22,5	0%
Bak Clarifier	44,12	0%	194,1	70%	40,67	80%	22,5	0%
<i>Effluent</i>	44,12	-	194,1	-	40,67	-	22,5	-

Tabel 9 Perbandingan Hasil *Effluent* dengan Baku Mutu Limbah Kelapa Sawit

Parameter	Satuan	<i>Influent</i> Limbah Cair	<i>Effluent</i> Limbah Cair	Baku Mutu PermenLHK No. 5 Thn 2014	Keterangan
BOD	mg/L	11763,11	44,12	100	Memenuhi
COD	mg/L	215633,52	194,1	350	Memenuhi
TSS	mg/L	453	40,67	250	Memenuhi
Minyak & Lemak	mg/L	150	22,5	25	Memenuhi

4. Simpulan

Berdasarkan hasil identifikasi karakteristik limbah cair dan perencanaan sistem IPAL di PT. XYZ, diketahui bahwa limbah cair yang dihasilkan mengandung pencemar organik dan padatan tersuspensi dalam konsentrasi yang tinggi. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai Biochemical Oxygen Demand (BOD) mencapai 11.763 mg/L dan Chemical Oxygen Demand (COD) sebesar 215.633 mg/L.

Sistem IPAL yang dirancang meliputi beberapa unit pengolahan utama, antara lain bak ekualisasi, bak sedimentasi awal, unit flotasi, reaktor anaerobik tipe Anaerobic Baffled Reactor (ABR), bak lumpur aktif, dan bak sedimentasi akhir. Desain sistem ini disusun mengacu pada standar Metcalf & Eddy dengan kapasitas pengolahan limbah sebesar 1.495 m³ per hari.

Berdasarkan hasil perencanaan dan simulasi, sistem IPAL yang dirancang mampu menurunkan kadar parameter pencemar hingga memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri LHK No. 5 Tahun 2014. Effluent yang dihasilkan diproyeksikan memiliki konsentrasi sebesar 44,12 mg/L untuk BOD, 194,1 mg/L untuk COD, 40,67 mg/L untuk TSS, dan 22,5 mg/L untuk minyak dan lemak.

Daftar Pustaka

- Chaerunnisa, I., & Mentari, O. D. N. (2024). Evaluasi Pengolahan Limbah Cair Domestik pada Instalasi Pengolahan Air Limbah di Kota Bogor. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(4).
- Rahman, S. (2025). *Evaluasi Keberlanjutan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (Ipal) Komunal Di Pekon Margakaya Dan Pekon Margodadi Kabupaten Pringsewu*. UNIVERSITAS LAMPUNG.
- Simanjuntak, A. P., Apriyanti, I., Sibuea, B., & Sinaga, H. (2024). Analisis Keunggulan Komparatif Ekspor (Crude Palm Oil) Cpo Indonesia Di Pasar Internasional. *Warta Dharmawangsa*, 18(1), 300–312. <https://doi.org/10.46576/wdw.v18i1.4303>
- Stephanie, H., Tinaprilla, N., & Rifin, A. (2018). Efisiensi pabrik kelapa sawit di Indonesia. *Jurnal Agribisnis Indonesia (Journal of Indonesian Agribusiness)*, 6(1), 27–36.
- Syamsuddin, S., & Rivai, A. M. N. (2023). Gambaran Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit Di Pt Perkebunan Nusantara Xiv Kabupaten Luwu Timur. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika Dan Masyarakat*, 23(1), 147–155.
- Abd Aziz, A. B. (n.d.). *Application of Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for treatment of Raw Palm Oil Mill Effluent (POME)*.
- Azhari, A. N., Arifin, A., & Apriani, I. (2025). Review Design Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pada Pengolahan Limbah Cair Bengkel X. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(3), 811–819. <https://doi.org/10.14710/jil.23.3.811-819>
- CIULA, J. (2022). Analysis of the Effectiveness of Wastewater Treatment in Activated Sludge Technology with Biomass Recirculation. *Architecture, Civil Engineering, Environment*, 15(2), 123–134. <https://doi.org/10.2478/acee-2022-0020>
- Della Lusiana Fitri, Firra Rosariawari, & Aprilia Permata Sari. (2025). Analisis Deskriptif Performa Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Berdasarkan Parameter BOD, COD dan TSS pada Industri Pengalengan Bekicot. *Manufaktur: Publikasi Sub Rumpun Ilmu Keteknikan Industri*, 3(2), 01–11. <https://doi.org/10.61132/manufaktur.v3i2.831>
- Dinda Prasetya, R., & Ardisty Sitogasa, P. S. (n.d.). *SSN 2715-6141 (print) | 2715-4831 (online) Special Volume, Februari 2025*. 193–205. <https://doi.org/10.52005/teslink.v11i5i1.xxx>
- Euis N. H., P. A. Y. B. (2018). PENGOLAHAN LIMBAH DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM FLOTASI DAN LUMPUR AKTIF, STUDI KASUS: KAWASAN INDUSTRI NGORO. *JURNAL ENVIROTEK*, 10(2). <https://doi.org/10.33005/envirotek.v10i2.1233>
- Fauzan Pratama, D., Masrida, R., Kartika, W., Saepudin, H., Lingkungan, T., Teknik, F., Bhayangkara, U., Raya, J., & Barat, J. (2025). Studi Pengolahan Air Limbah Kantin Joglo Universitas Bhayangkara Jakarta Raya (Ubhara Jaya) Kampus II Bekasi. *Journal of Engineering Environment Energy and Science*, 4(1), 17–28. <http://ejournal.ubharajaya.ac.id/index.php/joeees>