

## PERENCANAAN SISTEM PENGELOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK KANTOR PT X UNTUK PENYIRAMAN RUANG TERBUKA HIJAU (RTH)

Adithya Satria Pratama<sup>1</sup>, Wahyu Ugroseno<sup>2</sup>,

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur,  
[22034010125@student.upnjatim.ac.id](mailto:22034010125@student.upnjatim.ac.id)

### ABSTRAK

PT X menghasilkan limbah domestik dalam jumlah cukup besar dengan tingkat pencemaran yang tinggi, terutama dari penggunaan air harian perkantoran. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 11 Tahun 2025, air limbah harus memenuhi enam parameter baku mutu sebelum dimanfaatkan kembali untuk penyiraman Ruang Terbuka Hijau, yaitu pH, COD, BOD, TSS, *Fecal Coliform*, dan *Residual Klorin*. Perancangan sistem IPAL menggunakan data primer dari kantor PT X di Madiun, dengan karakteristik limbah: TSS 240 mg/L, COD 280 mg/L, BOD 140 mg/L, minyak lemak 14 mg/L, *Fecal Coliform* 10.000 jumlah/100 mL, *Residual Klorin* 0 mg/L, dan pH 7. Rencana unit IPAL meliputi *Grease Trap*, *Septic Tank*, bak ekualisasi, biofilter, tangki filtrasi FRP 1054, bak filtrasi, dan bak sampling. Perhitungan BoQ dan RAB berdasarkan HSPK Kota Madiun 2025 menghasilkan estimasi biaya pembangunan sebesar Rp 225.000.000.

**Kata kunci :** *Biofilter, Limbah Domestic, Madiun, RTH*

Penerbit : Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai

## 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sektor industri memainkan peran penting dalam perekonomian, terutama dalam menciptakan lapangan kerja dan mendorong perkembangan ekonomi masyarakat [1]. Namun, seiring dengan kemajuan industri, masalah limbah yang dihasilkan juga menjadi tantangan besar, khususnya limbah cair. Limbah, yang merupakan sisa atau hasil buangan dari berbagai aktivitas, dapat membahayakan kesehatan manusia dan merusak lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Berdasarkan bentuknya, limbah dapat dibedakan menjadi limbah padat, cair, gas, dan suara. Di Indonesia, limbah cair, baik yang berasal dari rumah tangga maupun industri, menjadi penyebab utama pencemaran lingkungan yang masih perlu penanganan lebih lanjut. Setiap jenis limbah cair ini memerlukan metode pengolahan yang tepat untuk mengurangi dampaknya terhadap ekosistem dan kesehatan masyarakat [2]. Limbah cair domestik adalah jenis limbah cair yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia sehari-hari serta kegiatan rumah tangga. Sementara itu, limbah cair industri merujuk pada limbah cair yang berasal dari proses produksi atau operasi di sektor industri. Limbah cair domestik terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu *grey water* dan *black water*. *Grey water* adalah limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan rumah tangga seperti

mencuci piring, mandi, atau mencuci pakaian, yang tidak mencakup limbah yang berasal dari toilet [3]. Di sisi lain, *black water* adalah limbah cair yang dihasilkan dari penggunaan toilet, yang mengandung kotoran manusia dan zat lainnya yang memerlukan pengolahan khusus untuk menghindari dampak lingkungan [4].

Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja mengatur pengelolaan lingkungan hidup, termasuk pengolahan air limbah, sebagai bagian dari upaya menjaga keberlanjutan dan melindungi ekosistem. Industri, seperti PT. X yang bergerak di sektor perkantoran, diwajibkan untuk mengolah limbah cair domestik yang dihasilkan sesuai dengan standar baku mutu lingkungan yang ditetapkan, untuk mencegah pencemaran dan dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat. Dalam hal ini, pengolahan air limbah secara biologis menjadi metode yang dianjurkan, menggunakan proses bioteknologi dengan mikroorganisme untuk menguraikan polutan dalam air limbah agar dapat digunakan kembali atau dibuang dengan aman [5]. UU Cipta Kerja juga menekankan pentingnya keberadaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang memenuhi standar teknis, yang wajib dimiliki oleh setiap industri untuk memastikan pengolahan limbah yang efektif. Dengan aturan ini, industri tidak hanya berfokus pada keuntungan ekonomi, tetapi juga berperan dalam menjaga kelestarian lingkungan dan kesehatan masyarakat, sesuai dengan prinsip pembangunan berkelanjutan yang menjadi tujuan UU ini.

Terdapat beberapa penelitian terdahulu mengenai pemanfaatan air limbah untuk penyiraman. Yang pertama yaitu penelitian oleh [6] menyimpulkan pengolahan air limbah domestik *grey water* menggunakan IPAL telah memenuhi baku mutu untuk parameter BOD, COD, minyak lemak, pH, amonia, dan *Total Coliform*, namun untuk parameter TSS masih belum optimal. Air limbah dari hasil pengolahan dijadikan alternatif untuk penyiraman tanaman apabila memenuhi baku mutu. Penelitian berikutnya oleh [7] menyimpulkan bahwa air limbah yang berasal dari aktivitas di rumah sakit dapat diolah menggunakan IPAL untuk digunakan sebagai penyiraman dan flushing toilet. Penelitian selanjutnya yaitu penelitian oleh [8] menyimpulkan bahwa pengolahan limbah cair yang dilakukan dapat memenuhi baku mutu sehingga lingkungan sekitar lokasi kegiatan tidak tercemar. Air limbah yang telah diolah dimanfaatkan sebagai penyiraman dan *flushing* toilet. Penelitian terdahulu selanjutnya yaitu penelitian oleh [5] menyimpulkan bahwa pengolahan air limbah menggunakan biofilter dapat memenuhi baku mutu sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016. Efisiensi pengolahan menggunakan kombinasi biofilter anaerob dan aerob mencapai lebih dari 90% sehingga dapat digunakan kembali.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji pemanfaatan air limbah untuk penyiraman. [6] menemukan bahwa pengolahan air limbah domestik jenis *grey water* menggunakan IPAL dapat memenuhi standar baku mutu untuk parameter BOD, COD, minyak lemak, pH, amonia, dan *Total Coliform*, meskipun parameter TSS masih belum optimal. Air limbah hasil pengolahan tersebut dapat dimanfaatkan sebagai alternatif untuk penyiraman tanaman, asalkan memenuhi baku mutu. Penelitian [7] menunjukkan bahwa air limbah dari rumah sakit dapat diolah dengan IPAL untuk digunakan sebagai air penyiraman dan untuk *flushing* toilet. Selanjutnya, Pengolahan limbah cair dapat memenuhi baku mutu sehingga lingkungan sekitar tetap terjaga, dengan air

limbah yang diolah digunakan untuk penyiraman dan *flushing* toilet [8]. Pengolahan air limbah dengan biofilter dapat memenuhi standar baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 Tahun 2016, dengan efisiensi pengolahan menggunakan kombinasi biofilter anaerob dan aerob mencapai lebih dari 90%, memungkinkan air limbah tersebut untuk digunakan kembali [5]. Berdasarkan temuan-temuan tersebut, sistem pengelolaan air limbah di IPAL Biofilter PT. X menjadi menarik, karena tidak hanya mengolah air limbah domestik, tetapi juga memanfaatkannya untuk penyiraman ruang terbuka dan ruang hijau. Penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas dan efisiensi sistem pengelolaan limbah cair domestik PT. X dan diharapkan dapat memberikan manfaat bagi industri lain dalam mengelola air limbah domestik, serta mengurangi potensi pencemaran lingkungan.

## **2 METODOLOGI**

### **2.1 Metode Penelitian**

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang diperlukan dalam perencanaan IPAL, berupa data primer dan sekunder. Data primer meliputi karakteristik air limbah dan debit air limbah per hari, sedangkan data sekunder mencakup gambaran umum perusahaan dari profil perusahaan, baku mutu pemanfaatan kembali air limbah untuk penyiraman berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 11 Tahun 2025, Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Madiun tahun 2025, serta SNI 03-7065-2005. Pengolahan data mencakup analisis debit, penentuan baku mutu efluen air limbah mengacu pada Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013, pemilihan unit pengolahan yang sesuai, perhitungan kapasitas unit IPAL, penyusunan gambar Detail Engineering Design (DED), serta penyusunan Bill of Quantity (BoQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB).

## **3 HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **3.1 Perhitungan Debit**

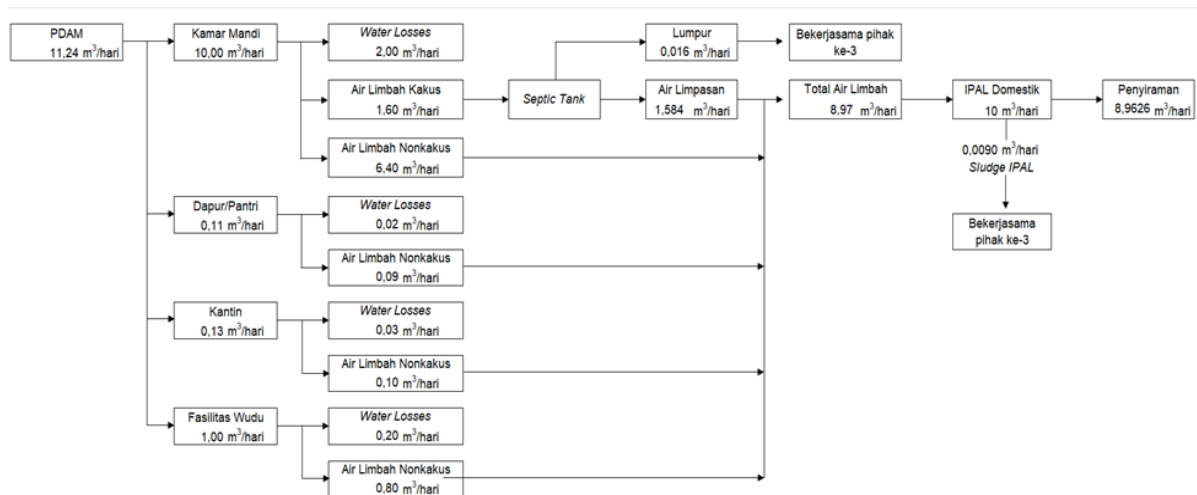
Perhitungan debit limbah sebesar 10 m<sup>3</sup>/hari mengacu pada SNI 03-7065-2005 yang memperhitungkan penggunaan air domestik di toilet dan wastafel. Debit ini dihitung berdasarkan standar konsumsi air per orang per hari, disesuaikan dengan jumlah pengguna fasilitas kantor. Pengukuran kebutuhan volume air bersih di Kantor PT.X dilakukan pada saat jam puncak (*peak hour*) dengan menggunakan flow meter yang dipasang di dua titik lokasi di kantor. PT.X beroperasi selama 5 hari kerja dalam seminggu, dengan jam kerja yang berlangsung 8 jam setiap harinya. Total jumlah karyawan yang bekerja dari Senin hingga Jumat adalah 178 orang, ditambah sekitar 20 orang tamu yang datang ke kantor setiap harinya. Debit puncak mencerminkan penggunaan air maksimum, seperti saat jam istirahat.

Setelah melakukan perhitungan terhadap kebutuhan air bersih dan volume limbah cair yang dihasilkan, dapat ditentukan jumlah penggunaan air untuk setiap aktivitas yang memerlukan dan menghasilkan air. Dalam penelitian ini, limbah cair yang digunakan untuk penyiraman ruang terbuka hijau adalah grey water dengan volume sebesar 8,97 m<sup>3</sup>/hari.

Tabel 1. Perhitungan Debit Air Kantor PT X

No	Kegiatan	Kebutuhan Air Setiap Pemakaian (Liter)	Banyaknya Penggunaan/Hari		Kebutuhan Air Bersih	Evaporasi/ Terpakai
			Pengguna (Orang/hari)	Pemakaian (Kali/Hari)		
1	Kamar Mandi (MCK)	50	200	1	10	2
2	Dapur/Pantry	5	22	1	0,11	0,02
3	Kantin	5	25	1	0,13	0,03
4	Fasilitas Wudhu	5	100	2	1	0,20
Total					11,24	1,3570

Sementara itu, pengolahan *black water* dilakukan oleh pihak ketiga, sebagaimana terlihat pada gambar berikut:



Gambar 1. Neraca Air Kantor PT X

### 3.2 Karakteristik Limbah Cair Kantor PT X

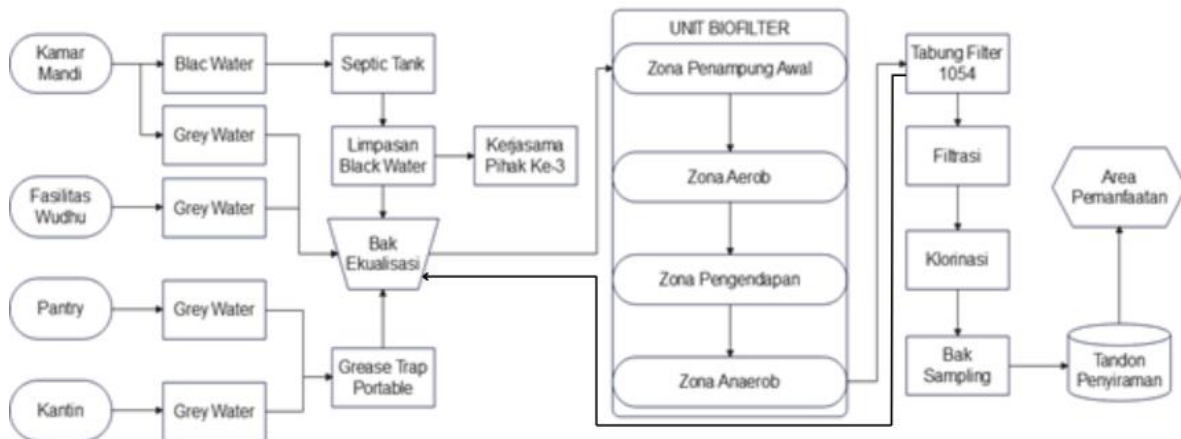
Limbah yang disampling berasal dari kegiatan domestik perkantoran. Limbah tersebut memiliki 2 karakteristik *greywater* secara fisik memiliki warna yang lebih jernih atau keruh ringan, dengan bau yang relatif lebih ringan, dan tidak mengandung partikel besar. Biasanya, warna *greywater* cenderung lebih transparan karena berasal dari air mandi, cuci tangan, atau mencuci piring. *blackwater* secara fisik memiliki warna yang lebih gelap, biasanya coklat atau hitam, dengan bau yang kuat dan tidak sedap. Ini disebabkan oleh kandungan urin, feses, dan materi organik lainnya, serta sering mengandung partikel padat yang lebih banyak. Karakteristik limbah disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Limbah Cair Kantor PT X

Parameter	Satuan	Baku Mutu Air Limbah	Hasil Analisis
Tingkat Keasaman (pH)	-	6-9	7
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi(BOD)	mg/l	12	140
Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/l	80	280
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/l	30	240
<i>Fecal coliform</i>	MPN/100	200	10000
<i>Residual Klorin</i>	mg/l	1	0

### 3.1. Alur Proses Unit Pengolahan Limbah Cair Domestik

PT. X telah membangun Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan urutan unit sebagai berikut:



**Gambar 2.** Alur Proses Unit Pengolahan Limbah Cair Domestik

Berikut Proses yang terjadi pada tiap unit pengolahan

**Tabel 3.** Penjelasan Proses Setiap Unit di Kantor PT X

No	Unit	Proses
1	<i>Grease Trap</i>	<i>Grease trap portable</i> berfungsi untuk memisahkan lemak dan minyak dari limbah cair. Lemak mengapung di permukaan, sementara air bersih mengalir ke bawah, lalu dikumpulkan untuk pembuangan.
2	<i>Septic Tank</i>	Unit pengolahan yang berfungsi untuk memisahkan padatan dan cair
3	Bak Ekualisasi	Berfungsi untuk mengkondisikan parameter-parameter air limbah (seperti pH, COD, BOD, debit, dll.) agar homogen dan memiliki karakteristik yang relatif tetap.
4	Biofilter (Zona Sedimentasi Awal)	Berfungsi untuk menampung air limbah dari bak ekualisasi sebelum masuk ke zona pengolahan berikutnya
5	Biofilter (Zona Anaerobik)	Proses pengolahan limbah cair dalam MBBR yang berlangsung secara biologis aerobik, di mana senyawa kompleks organik akan terurai oleh aktifitas mikroorganisme aerob
6	Biofilter (Zona Sedimentasi Akhir)	Proses pengendapan padatan secara pada bagian ini dipasang pompa submersible untuk mengembalikan lumpur endapan yang nantinya akan kembali ke zona aerobik
7	Tabung Filter FRP (Silika)	Tabung Filter FRP 1054 adalah tabung yang digunakan untuk menampung media penyaring dalam sistem pengolahan air, termasuk di unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).
8	Filtrasi (Ijuk – Silika – Karbon Aktif)	Unit filter dengan media ijuk, karbon aktif, dan silika adalah sistem penyaringan berlapis untuk pengolahan air, termasuk di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Ijuk digunakan sebagai lapisan pertama dan terakhir untuk menangkap partikel kasar seperti pasir dan lumpur. Karbon aktif menyerap bahan kimia, bau, dan warna, sementara lapisan silika menghilangkan senyawa organik dan zat yang

		menyebabkan bau dan rasa tak sedap.
9	Klorinasi	Perangkat yang digunakan untuk menambahkan klorin (zat disinfektan) ke dalam aliran air limbah. Tujuan dari penambahan klorin ini adalah untuk membunuh mikroorganisme berbahaya, termasuk bakteri dan virus, yang dapat mencemari lingkungan jika air limbah dibuang tanpa pengolahan.
10	Bak Sampling	Unit yang berfungsi untuk penampung sementara setelah dilakukan pengolahan. Bak ini digunakan sebagai bak untuk mengambil air sampling dan merupakan bak penampungan air yang telah diolah untuk kemudian dialirkan untuk penyiraman tanaman

Tabel 4. Jumlah Unit Yang Digunakan Kantor PT X

No	Unit Yang Akan Digunakan	Jumlah	Satuan
1	<i>Grease Trap</i>	1	Unit
2	<i>Septic Tank</i>	5	Unit
3	Ekualisasi	1	Unit
4	Biofilter (Zona Sedimentasi Awal)	1	Unit
5	Biofilter (Zona Anaerobic)	1	Unit
6	Biofilter (Zona Sedimentasi Akhir)	1	Unit
7	Tabung Filter FRP (Silika) dan karbon aktif	1	Unit
8	Filtrasi (Ijuk – Silika – Karbon Aktif)	1	Unit
9	Klorinasi	1	Unit
10	Bak Sampling	1	Unit

Tabel 5. Hasil Uji Inlet dan Outlet IPAL Kantor PT X

ANALISA REMOVAL TIAP UNIT PROSES															
Parameter	Konsentrasi Awal	Grease Trap		Hasil	Ekualisasi		Hasil	Biofilter (Zona Penampung Awal)		Hasil	Biofilter (Zona Anaerobik)		Hasil	Biofilter (Zona Aerobik)	
		Removal	Literatur		Removal	Literatur		Removal	Literatur		Removal	Literatur		Removal	Literatur
pH	7	0%		7	0%		7	0%		7	0%		7	0%	
BOD	140	0%		140	0%		140	0%		140	60%	(1)	56	70%	(3)
COD	280	0%		280	0%		280	0%		280	70%	(1)	84	80%	(3)
TSS	240	0%		240	0%		240	0%		240	70%		72	30%	(3)

Fecal Coliform	1000	0%		1000	0%		1000	0%		1000	0		1000	0%	
Residual Clorine	0	0%		0	0%		0	0%		0	0%		0	0%	
Minyak Lemak	14	85%		2.1			2.1			2.1			2.1		
ANALISA REMOVAL TIAP UNIT PROSES															
Parameter	Konsentrasi Awal	Biofilter (Zona Sedimentasi)		Hasil	Tangki Filter FRP 1054		Hasil	Unit Filtrasi		Hasil	Klorinasi		Bak Sampling		
		Removal	Literatur		Removal	Literatur		Removal	Literatur		Removal	Literatur	Hasil Akhir	Permen LH 11 tahun 2025	Status
pH	7	0%		7	0%		7	0%		7	0		7	6-9	Ok
BOD	17	20%	(4)	13	52%	(2)	6	70%	(1)	2	60%	-1	1	12	Ok
COD	17	20%	(4)	13	32%	(2)	9	87%	(1)	1	70%	-1	0	80	Ok
TSS	50	70%	(4)	15	71%	(2)	4	1%	(1)	4	70%	-1	1	30	Ok
Fecal Coliform	1000	0%		1000	0%		1000	0%	0	1000	99%	(5)	10	200	Ok
Residual Clorine	0	0%		0	0%		0	0%		0	0%		0,5	1	Ok
Minyak Lemak	2.1	0%		2.1	0%		2.1	0%		2.1	0%		2.1	-	Ok

### 3.2. Dosis Debit dan Rotasi Pemanfaatan Air Limbah

Dosis, rotasi dan frekuensi pemanfaatan air limbah oleh PT. X yang direncanakan disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 6. Data Hujan Kantor PT X

Tahun	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni
2021	324,16	387,59	245,32	247,78	224,6	39,61
2022	391,98	645,53	247,29	148,41	95,25	154,94
2023	254,69	310,27	275,62	174,15	202,35	208,02
2024	289,05	420,58	194,7	199,69	81,65	64,13
Tahun	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
2021	76,16	49,18	74,78	137,25	173,14	486,21
2022	8,06	61,89	141,87	104,59	329,84	336,51

2023	103,28	43,11	97,52	245,62	221,98	339,46
2024	82,13	10,78	5,51	14,79	164,07	569,19
Curah Hujan Tertinggi			721,93 mm/bulan			
Curah Hujan Aktual			185,094 mm/bulan			

Didapatkan nilai curah hujan tertinggi sebesar 721,93 mm/bulan dan curah hujan aktual sebesar 185,094 mm/bulan pada periode pengamatan. Data curah hujan tersebut selanjutnya digunakan sebagai salah satu parameter dalam perhitungan kebutuhan air untuk penyiraman ruang terbuka hijau (RTH). Besarnya curah hujan aktual dimasukkan ke dalam perhitungan untuk memperoleh debit penyiraman yang diperlukan, sehingga volume air yang disediakan dapat disesuaikan dengan kondisi iklim setempat dan mengurangi penggunaan air secara berlebihan. Dengan demikian, pemanfaatan data curah hujan ini mendukung perencanaan sistem penyiraman RTH yang lebih efisien dan terukur. Perhitungan debit penyiraman RTH dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Dosis Air Limbah} = \frac{\text{Curah Hujan Maksimal} \left(\frac{\text{mm}}{\text{bulan}}\right) - \text{Curah Hujan Aktual} \left(\frac{\text{mm}}{\text{bulan}}\right)}{1000} \times 1000$$

$$\text{Dosis Air Limbah} = \frac{721,93 - 185,09}{1000} \times 1000$$

$$\text{Dosis Air Limbah} = \text{m}^3/\text{Ha}/\text{Bulan}$$

$$\text{Dosis Air Limbah} = 17,89 \text{ L}/\text{m}^2/\text{Hari}$$

Didapatkan dosis penyiraman adalah 17,89 L/m<sup>2</sup>/Hari. Dari dosis air limbah yang dihasilkan pada perhitungan diatas, dipakai dosis 10 L/m<sup>2</sup>/Hari. Dosis air limbah dapat berubah seiring dengan intensitas hujan pada saat aplikasi.

#### · Debit Penyiraman

Luas area penyiraman adalah 6385 m<sup>2</sup>, dipakai debit penyiraman sebesar 10 L/m<sup>2</sup>/Hari diperoleh debit penyiraman sebesar :

$$\text{Debit air limbah} = 10 \text{ m}^3/\text{hari} = 10000 \text{ Liter}/\text{Hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Lokasi} &= \text{Debit air limbah} / \text{Dosis} \\ &= 10000 \text{ Liter}/\text{Hari} / 10 \text{ Liter}/\text{Hari} \\ &= 1000 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

## 4 KESIMPULAN

Perencanaan sistem pengolahan air limbah domestik pada kawasan perkantoran PT X menunjukkan potensi yang kuat dalam mendukung pengelolaan sumber daya air secara berkelanjutan. Limbah cair yang dihasilkan berupa *black water* dan *grey water* dengan tingkat pencemaran relatif rendah, sehingga *black water* dikelola melalui kerja sama dengan pihak ketiga, sedangkan *grey water* serta limpasan air dari sistem *black water* diolah dan dimanfaatkan kembali sebagai sumber air untuk penyiraman Ruang Terbuka Hijau (RTH). Melalui penerapan rangkaian proses yang sederhana namun efektif, seperti penyaringan, pengendapan, dan filtrasi

biologis, air limbah domestik tersebut dapat diproses menjadi air yang layak digunakan kembali. Hasil perencanaan menunjukkan bahwa sistem pengolahan yang dirancang mampu menurunkan konsentrasi BOD, COD, TSS, dan *Fecal Coliform* secara signifikan hingga sekitar 90%, sehingga kualitas air keluaran telah memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan dalam Permen LHK No. 11 Tahun 2025 dan sekaligus berkontribusi dalam pengurangan biaya penggunaan air bersih untuk penyiraman RTH. Dari hasil perhitungan diperoleh kebutuhan dosis penyiraman sebesar 17,89 L/m<sup>2</sup>/hari, namun dalam perencanaan operasional digunakan dosis konservatif sebesar 10 L/m<sup>2</sup>/hari dengan mempertimbangkan kemungkinan variasi ketersediaan air limbah akibat perubahan intensitas hujan pada saat aplikasi di lapangan. Dengan luas area penyiraman yang disediakan perusahaan sebesar 1.013,5 m<sup>2</sup> dan luas pemanfaatan efektif yang direncanakan sebesar 1.000 m<sup>2</sup>, sistem ini dinilai masih berada dalam batas aman dan tidak menimbulkan risiko genangan maupun banjir pada area RTH.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indrayani, L. (2018). Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Sebagai Salah Satu Percontohan Ipal Batik Di Yogyakarta. *ECOTROPHIC : Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 12(2), 173. <https://doi.org/10.24843/ejes.2018.v12.i02.p.07>
- [2] Listyaningrum, R. (2022). Analisis Kandungan DO, BOD, COD, TS, TDS, TSS dan Analisis Karakteristik Fisikokimia Limbah Cair Industri Tahu di UMKM Daerah Imogiri Barat Yogyakarta. *Teknologi Industri*, June.
- [3] Tandjung, A. A., Prijadi, R., & Karongkong, H. H. (2015). Rest Area Trans Sulawesi Antar Provinsi Arsitektur Biomimicry (Doctoral dissertation, Sam Ratulangi University).
- [4] Marhama, M. (2020). EFEKTIVITAS SEPTIK TANK APUNG DALAM MEREDUKSI KADAR COD, TSS, SUHU DAN pH LIMBAH BLACK WATER PULAU KODINGARENG KOTA MAKASSAR (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- [5] Premananda, W. H., & Primajana, D. J. (2023). EFISIENSI PENGGUNAAN AIR BERSIH DENGAN MEMANFAATKAN KEMBALI AIR LIMBAH MEMGGUNAKAN TEKNOLOGI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) AEROB-ANAEROB BIOFILTER. *Nusantara Hasana Journal*, 3(2), 238-257.
- [6] Busyairi, M., Adriyanti, N., Kahar, A., Nurcahya, D., & Sariyadi, S. (2020). Efektivitas Pengolahan Air Limbah Domestik Grey Water Dengan Proses Biofilter Anaerob dan Biofilter Aerob (Studi Kasus: IPAL INBIS Permata Bunda, Bontang). *Jurnal Serambi Engineering*, 5(4).
- [7] Pamungkas, L. A. S., Murti, R. H. A., Purnama, E. R., & Utami, A. K. (2023). Pengolahan Air Limbah untuk Pemanfaatan Penyiraman Tanaman di Rumah Sakit Y Kabupaten Tuban. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-ilmu Teknik Sipil*, 7(1), 25-33.
- [8] Asmawati, A., Murti, R. H. A., & Purnama, E. R. (2023). Pemanfaatan Limbah Cair Terolah untuk Penyiraman dan Flushing Toilet (Studi Kasus: Rumah Sakit X, Kota Batu, Jawa Timur). *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-ilmu Teknik Sipil*, 7(2), 119-128.
- [9] Badan Standardisasi Nasional. (2005). Tata cara perencanaan sistem plambing (SNI 03-7065-2005). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [10] Brickley, J. A., Smith, C. W., & Zimmerman, J. L. (2007). *Managerial economics and organizational architecture* (4th ed.). New York: McGraw-Hill/Irwin.
- [11] Crites, R., & Tchobanoglous, G. (1998). *Small and decentralized wastewater management systems*. Boston: WCB/McGraw-Hill.
- [12] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2017). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 04/PRT/M/2017 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik. Jakarta: Kementerian PUPR.
- [13] Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.

- [14] Pemerintah Kota Madiun. (2024). Keputusan Wali Kota Madiun Nomor 050-401.202/119/2024 tentang Standar Harga Satuan Barang Kebutuhan dan Analisa Harga Satuan Pekerjaan Konstruksi Tahun Anggaran 2025. Madiun.
- [15] Pemerintah Republik Indonesia. (2017). Standar Nasional Indonesia SNI 2398:2017 — Tata cara perencanaan tangki septik dengan pengolahan lanjutan (sumur resapan, bidang resapan, up-flow filter, kolam sanita). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [16] Pemerintah Republik Indonesia. (2025). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah dan Standar Teknologi Pengolahan Air Limbah untuk Air Limbah Domestik.
- [17] Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y., & Lygren, E. (2006). Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Water Science and Technology*, 53(9), 1–9.
- [18] Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (4th ed.). New York: McGraw-Hill.
- [19] United States Environmental Protection Agency. (1999). *Wastewater technology fact sheet: (judul spesifik teknologi di dokumen tersebut)*. Washington, DC: Office of Water, EPA.