

Desain *Constructed Wetland* sebagai Pengolahan Tersier untuk Menyisihkan Mikroplastik

Amalia Viviani, Ansiha Nur*, Puti Sri Komala

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

*Koresponden email: ansiha@eng.unand.ac.id

Diterima: 21 Maret 2025

Disetujui: 09 April 2025

Abstract

This study aims to plan the design of a constructed wetland as a tertiary treatment to remove microplastics in wastewater so that it is safe to discharge into water bodies or the environment. The design site is the Anaerobic Upflow Filter (AUF) type wastewater treatment plant in Jambi City. The design uses the Sub Surface Flow Constructed Wetland (SSFCW) system and the Horizontal Sub Surface Flow (HSSF) system with the selected plants being *Phragmites communis*. The planned design is 1 unit for a treatment capacity of 24 m³/day, which is located downstream of each AUF type WWTP in Jambi City. The constructed wetland design refers to the design criteria and design calculations contained in Book A, a guide for the calculation of fecal sludge treatment buildings. This study also calculates the Bill of Quantity (BOQ), which is determined based on the dimensions of the design drawing, and the Resource Allocation Plan (RAB), which is determined based on the amount of work multiplied by the Analysis of the Unit Price of Work (AHSP). AHSP refers to the Jambi Governor Regulation No. 1 of 2024 on Unit Price Standards. Based on the research results, it was found that the dimensions of the constructed wetland design were 64 m × 16 m × 0.9 m, so the estimated cost for the construction of the design was IDR 405,415,773.84 with an estimated microplastics removal efficiency of 100%.

Keywords: domestic wastewater, anaerobic upflow filter (AUF), constructed wetland, wastewater treatment plant (WWTP), microplastics

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merencanakan desain *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier untuk menyisihkan mikroplastik pada air limbah sehingga aman dibuang ke badan air atau lingkungan. Lokasi perencanaan adalah IPAL tipe *Anaerobic Upflow Filter* (AUF) di Kota Jambi. Desain menggunakan sistem *Sub Surface Flow Constructed Wetland* (SSFCW) dan sistem *Horizontal Sub Surface Flow* (HSSF) dengan tanaman yang dipilih yaitu *phragmites communis*. Desain yang direncanakan yaitu sebanyak 1 unit untuk kapasitas pengolahan sebesar 24 m³/hari yang terletak setelah efluen masing-masing IPAL tipe AUF di Kota Jambi. Desain *constructed wetland* mengacu pada kriteria desain dan perhitungan desain yang terdapat pada buku A panduan perhitungan bangunan pengolahan lumpur tinja. Penelitian ini juga menghitung *Bill of Quantity* (BOQ) yang ditentukan berdasarkan dimensi gambar desain dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang ditentukan berdasarkan volume pekerjaan dikali dengan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP). AHSP mengacu pada Peraturan Gubernur Jambi nomor 1 tahun 2024 tentang standar harga satuan. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa dimensi desain *constructed wetland* sebesar 64 m × 16 m × 0,9 m, maka perkiraan biaya untuk pembangunan desain sebesar Rp.405.415.773,84 dengan estimasi efisiensi penyisihan mikroplastik yaitu sebesar 100%.

Kata Kunci: air limbah domestik, anaerobic upflow filter (AUF), constructed wetland, instalasi pengolahan air limbah (IPAL), mikroplastik

1. Pendahuluan

Mikroplastik adalah plastik yang berukuran 0,1 mikrometer hingga 5 milimeter [1]. Ukuran mikroplastik yang kecil sehingga sulit terlihat oleh kasat mata, menjadi penyebab mikroplastik mudah tertelan oleh makhluk hidup di perairan seperti ikan, zooplankton dan lain sebagainya [2]. Jika mikroplastik tertelan oleh makhluk hidup, maka akan menimbulkan berbagai dampak antara lain reaksi inflamasi, reaksi stres, gangguan reproduksi, penyakit kanker, bahkan kematian [3].

Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari kegiatan rumah tangga. Sebagian besar mikroplastik bersumber dari kegiatan tersebut, sehingga air limbah domestik mengandung banyak mikroplastik. Air limbah domestik biasanya diolah pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) secara

biologi sebelum dibuang ke lingkungan, namun IPAL tersebut umumnya hanya khusus mengolah bahan organik dan nutrien, sehingga tidak efektif untuk menyisihkan mikroplastik. Maka, IPAL dianggap sebagai kontributor utama penyebaran mikroplastik ke lingkungan [4].

Hal ini dibuktikan dari studi mengenai keberadaan mikroplastik pada dua IPAL di Kota Agadir Negara Maroko dengan tipe pengolahan *activated sludge* dan infiltrasi perkolasi, menunjukkan bahwa konsentrasi mikroplastik pada influen berkisar 188 – 519 partikel/L dan pada efluen berkisar 50 – 86 partikel/L dengan penyisihan mikroplastik sebesar 72 – 81% [5]. Berdasarkan studi di atas menunjukkan bahwa masih terdapat kadar mikroplastik pada efluen IPAL, konsentrasi tersebut masih melebihi batas paparan mikroplastik paling relevan untuk manusia di air minum yaitu sebesar 10,4 partikel/L [6]. Mikroplastik yang ikut terbawa ke badan air penerima setiap harinya akan menyebabkan penyebaran mikroplastik semakin meluas di perairan [4].

Berdasarkan hasil uji pendahuluan pada IPAL tipe AUF di Kota Jambi didapatkan konsentrasi mikroplastik pada influen sebesar 215 – 418 partikel/L dan pada efluen sebesar 29 – 83 partikel/L. Konsentrasi mikroplastik tersebut juga masih melebihi batas paparan mikroplastik paling relevan untuk manusia, sehingga dapat disimpulkan bahwa IPAL tipe AUF Kota Jambi masih belum optimal dalam menyisihkan mikroplastik. Hal ini akan memberikan dampak apabila tidak dilakukan solusi untuk mengatasinya.

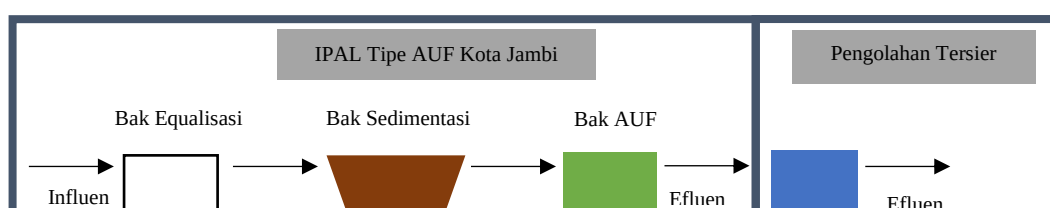
Salah satu solusi untuk menyisihkan mikroplastik pada IPAL adalah *constructed wetland*. Berdasarkan penelitian satu IPAL di Provinsi Zhejiang Negara China menggunakan *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier dengan sistem *Sub Surface Flow Constructed Wetland* (SSFCW) dan sistem *Horizontal Sub Surface Flow* (HSSF) mampu menyisihkan mikroplastik sebesar 100% [7]. Hal ini diperkuat dengan penelitian satu IPAL di Kota Kortrijk Negara Belgia menggunakan *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier dengan sistem *Sub Surface Flow Constructed Wetland* (SSFCW) dan sistem *Horizontal Sub Surface Flow* (HSSF) mampu menyisihkan mikroplastik sebesar 88% [8]. Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan merencanakan desain *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier untuk menyisihkan mikroplastik pada air limbah IPAL tipe AUF di Kota Jambi sehingga aman dibuang ke badan air atau lingkungan.

2. Metode Penelitian

Rancangan Umum Desain

Lokasi perencanaan adalah IPAL tipe AUF di Kota Jambi. IPAL tersebut pertama beroperasi pada tahun 2016. Rancangan umum desain *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier pada IPAL tipe AUF di Kota Jambi adalah sebagai berikut:

- Desain *constructed wetland* menggunakan sistem berdasarkan aspek hidraulika yaitu *Sub Surface Flow Constructed Wetland* (SSFCW) dan sistem berdasarkan pola aliran yaitu *Horizontal Sub Surface Flow* (HSSF).
- Desain *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier yang direncanakan yaitu sebanyak 1 unit desain untuk kapasitas pengolahan atau debit rata-rata sebesar 24 m³/hari, sehingga desain dapat diterapkan untuk seluruh IPAL tipe AUF di Kota Jambi yang saat ini berjumlah 65 unit karena dalam perhitungan desain menggunakan kapasitas pengolahan maksimum.
- Desain pengolahan tersier yang direncanakan terletak setelah efluen masing-masing IPAL tipe AUF di Kota Jambi.
- Air limbah domestik masing-masing rumah tangga dialirkan oleh pipa menuju ke IPAL tipe AUF Kota Jambi. Air limbah domestik masuk melalui influen IPAL ke bak equalisasi sebagai pra pengolahan primer, bak sedimentasi sebagai pengolahan primer dan bak AUF sebagai pengolahan sekunder. Air limbah domestik terolah keluar melalui efluen IPAL yang akan dialirkan melalui pipa ke unit *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut mengenai penyisihan mikroplastik. Air limbah domestik yang sudah diolah pada pengolahan tersier dibuang ke badan air penerima atau sungai yang berada 5 m dari lokasi IPAL dan pengolahan tersier, sehingga diharapkan air limbah tersebut tidak melebihi batas paparan mikroplastik yang paling relevan bagi manusia. Diagram alir rancangan umum desain *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier pada IPAL tipe AUF Kota Jambi disajikan pada **Gambar 1**.



Badan Air

Gambar 1. Rancangan Umum Desain *Constructed Wetland* sebagai Pengolahan Tersier pada IPAL Tipe AUF Kota Jambi

Pengumpulan Data

Pengumpulan data terdiri dari data primer dan data sekunder yang disajikan sebagai berikut.

a. Data Primer

Data primer pada penelitian ini berupa data perhitungan dan gambar desain *constructed wetland*, perhitungan kebutuhan tanaman desain *constructed wetland*, perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ), perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan estimasi efisiensi penyisihan mikroplastik pada desain *constructed wetland*.

b. Data Sekunder

Data sekunder pada penelitian ini berupa data IPAL permukiman di Kota Jambi yang didapat dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Kota Jambi meliputi lokasi IPAL, tahun operasional, kapasitas pengolahan atau debit rata-rata, tipe pengolahan dan alur proses pengolahan air limbah domestik di IPAL. Selain itu, data sekunder yang bersumber dari review buku, peraturan-peraturan pemerintah serta jurnal-jurnal internasional terdahulu terkait mikroplastik dan desain *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier untuk menyisihkan mikroplastik pada air limbah IPAL.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian disajikan sebagai berikut.

a. Perhitungan dan Gambar Desain *Constructed Wetland*

Desain *constructed wetland* mengacu pada kriteria desain dan perhitungan desain yang terdapat pada buku A panduan perhitungan bangunan pengolahan lumpur tinja [9]. Kriteria desain *constructed wetland* disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kriteria Desain Unit *Constructed Wetland*

Komponen	Satuan	Kriteria Desain	Sumber
Dasar <i>wetland</i>	cm/s	- Lapisan tanah liat dengan permeabilitas $K = 10^{-6}$ - Lapisan geomembran	[10]
Media atau material filter	mm	- Gravel halus diameter (12-20) - Gravel kasar diameter (20-40)	
Tanaman yang dapat digunakan	-	Akar wangi; <i>Cat tail</i> ; <i>Papyrus</i> ; <i>Typhaa</i> ; <i>Phragmites communis</i> ; <i>Khana sp</i> ; <i>Echinodorus palaefolius</i> ; <i>Nymphaea</i> ; <i>Water hyacinth</i> ; atau Tumbuhan famili <i>typhaceae</i>	
Kedalaman air limbah <i>constructed wetland</i> (D_{cw})	cm	<90	
<i>Freeboard</i>	cm	30	
Rasio kemiringan dasar		3:1–10:1	[11, 12]
Waktu retensi hidraulik (HRT) untuk menyisihkan polutan terlarut	hari	5–14	
Waktu retensi hidraulik (HRT) untuk menyisihkan polutan tersuspensi	hari	0,5–3	
Laju beban hidraulik (HLR)	m/hari	0,01–0,05	
Rasio panjang : lebar	-	4:1–6:1	

Langkah-langkah perhitungan desain *constructed wetland* terdiri dari perhitungan laju konstanta pada suhu air limbah menggunakan rumus pada **Persamaan 1**, perhitungan luas permukaan *constructed*

wetland menggunakan rumus pada **Persamaan 2**, perhitungan waktu retensi hidraulik (HRT) menggunakan rumus pada **Persamaan 3**, perhitungan luas permukaan yang dibutuhkan untuk mencakup proses penyisihan polutan terlarut, dihitung apabila HRT tidak sesuai dengan kriteria desain yaitu menyisihkan polutan terlarut pada rentang 5-14 hari menggunakan rumus pada **Persamaan 4**, perhitungan rasio panjang : lebar menggunakan rumus pada **Persamaan 5**, periksa kesesuaian laju retensi hidraulik (HRT) menggunakan rumus pada **Persamaan 6** dan perhitungan periksa kesesuaian laju beban hidraulik (HLR) menggunakan rumus pada **Persamaan 7**.

1. Laju Konstanta pada Suhu Air Limbah

$$K_T = \frac{K_R}{\theta_R^{T_A - T_R}} \times \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

K_T = Laju konstanta pada suhu air limbah, T_A (/hari)

K_R = Laju konstanta pada suhu referensi untuk sistem SSFCW sebesar 1,104/hari

θ_R = Koefisien suhu untuk konstanta laju pada suhu referensi

T_A = Suhu air limbah ($^{\circ}\text{C}$)

T_R = Suhu referensi untuk penyisihan BOD sebesar 20°C

2. Luas Permukaan *Constructed Wetland*

$$A_{CW} = \frac{[Q_{rata-rata} (\ln C_0 - \ln C_e)]}{K_T D_{CW} \varepsilon} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

A_{CW} = Luas permukaan *constructed wetland* (m^2)

$Q_{rata-rata}$ = Debit rata-rata (m^3/hari)

C_0 = Konsentrasi BOD₅ influen (mg/L)

C_e = Konsentrasi BOD₅ efluen yang diharapkan (mg/L)

K_T = Laju konstanta pada suhu air (/hari)

D_{CW} = Kedalaman kolam *constructed wetland* (m)

ε = Porositas media (biasanya 0,4 untuk kerikil berdiameter 25 mm)

3. Waktu Retensi Hidraulik (HRT)

$$HRT = \frac{\varepsilon \times A_{CW} \times D_{CW}}{Q_{rata-rata}} \dots \dots \dots (3)$$

4. Luas permukaan dibutuhkan untuk mencakup proses penyisihan polutan terlarut, dihitung apabila HRT tidak sesuai dengan kriteria desain yaitu menyisihkan polutan terlarut pada rentang 5-14 hari.

$$A_{CW''} = \frac{[HRT \times Q_{rata-rata}]}{D_{CW} \times \varepsilon} \dots \dots \dots (4)$$

5. Rasio Panjang (P) : Lebar (L) = 4:1

$$\frac{P}{4L} = \dots \dots \dots (5)$$

6. Periksa kesesuaian laju retensi hidraulik (HRT)

$$HRT = \frac{A_{CW'''} \times D_{CW} \times \varepsilon}{Q_{rata-rata}} \dots \dots \dots (6)$$

7. Periksa kesesuaian laju beban hidraulik (HLR)

$$HLR = \frac{Q_{rata-rata}}{A_{CW}} \dots \dots \dots (7)$$

Berdasarkan perhitungan desain, maka akan diperoleh dimensi *constructed wetland*. Dimensi *constructed wetland* yang telah didapatkan akan digunakan untuk menggambar desain *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier pada IPAL tipe AUF di Kota Jambi.

b. Perhitungan Kebutuhan Tanaman untuk Desain *Constructed Wetland*

Tanaman yang dipilih untuk desain *constructed wetland* yaitu tanaman *phragmites communis*, tanaman tersebut tercantum pada kriteria desain *constructed wetland* [9]. Tanaman yang dipilih berdasarkan daya tahan tinggi terhadap air limbah, efisiensi penyisihan pengolahan yang tinggi dan harga yang terjangkau atau mudah ditemukan [15, 16].

c. Perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ)

Bill of Quantity (BOQ) adalah daftar rancangan pekerjaan yang terdiri dari perhitungan volume pekerjaan. Perhitungan volume pekerjaan ditentukan berdasarkan dimensi gambar desain yang telah didapatkan.

d. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) ditentukan berdasarkan volume pekerjaan dikali dengan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP). Analisis Harga Satuan Pekerjaan yang digunakan adalah standar harga satuan barang dan jasa di Lingkungan Provinsi Jambi yang mengacu pada Peraturan Gubernur Jambi nomor 1 tahun 2024 tentang standar harga satuan [15].

e. Estimasi Efisiensi Penyisihan Mikroplastik pada Desain *Constructed Wetland*

Estimasi efisiensi penyisihan mikroplastik ditentukan berdasarkan kapasitas pengolahan *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier IPAL tipe AUF di Kota Jambi dan luas permukaan desain yang didapat dari perhitungan desain *constructed wetland*, dibandingkan dengan data studi literatur mengenai kapasitas pengolahan, luas permukaan dan efisiensi penyisihan mikroplastik *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier IPAL yang relevan berdasarkan jurnal bereputasi tinggi.

3. Hasil dan Pembahasan

Perhitungan dan Gambar Desain *Constructed Wetland*

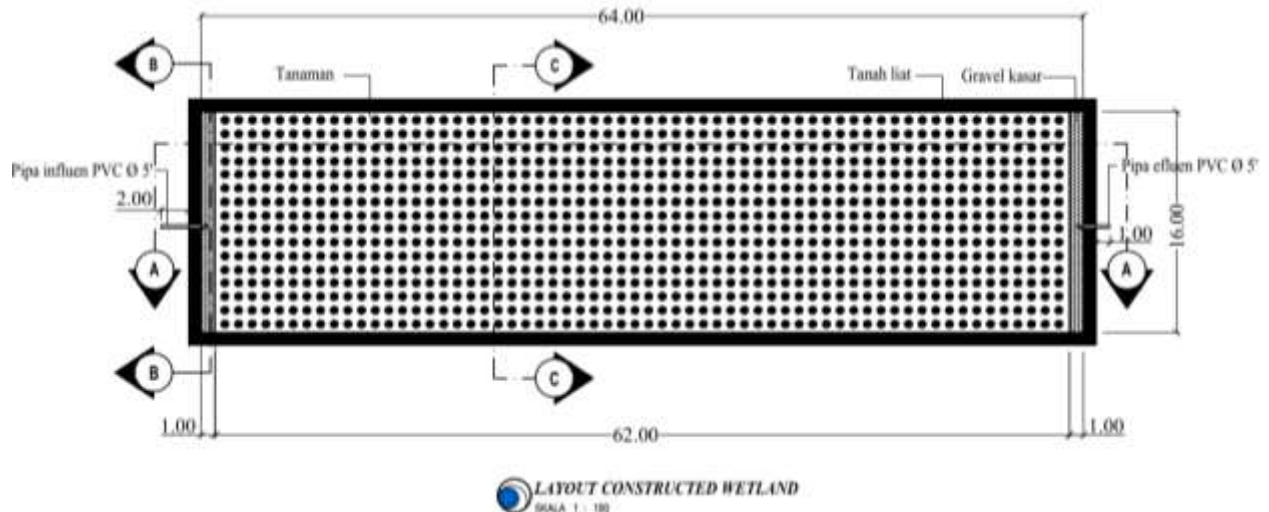
Dasar *constructed wetland* yang direncanakan yaitu lapisan tanah liat dengan permeabilitas $K = 10^{-6}$, media atau material filter yang digunakan yaitu *gravel* halus dan *gravel* kasar, kedalaman air limbah *constructed wetland* (D_{CW}) sebesar 60 cm, *freeboard* sebesar 30 cm, rasio kemiringan dasar sebesar 10 : 1, porositas material filter (ϵ) sebesar 0,4 untuk *gravel* kasar berdiameter 25 mm, suhu referensi penyisihan BOD (T_R) sebesar 20°C, laju konstanta penyisihan BOD (K_R) sebesar 1,104/hari, Koefisien suhu untuk laju konstanta penyisihan BOD pada suhu referensi (θ_R) sebesar 1,06.

Karakteristik air limbah influen *constructed wetland* seperti debit rata-rata ($Q_{rata-rata}$) sebesar 24 m³/hari yang didapat dari Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Kota Jambi. Konsentrasi BOD₅ (C_0) sebesar 92,85 mg/L serta suhu air limbah (T_A) sebesar 30,4 °C yang didapat dari penelitian pendahuluan. Konsentrasi BOD₅ efluen (C_e) sesuai baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 sebesar 30 mg/L.

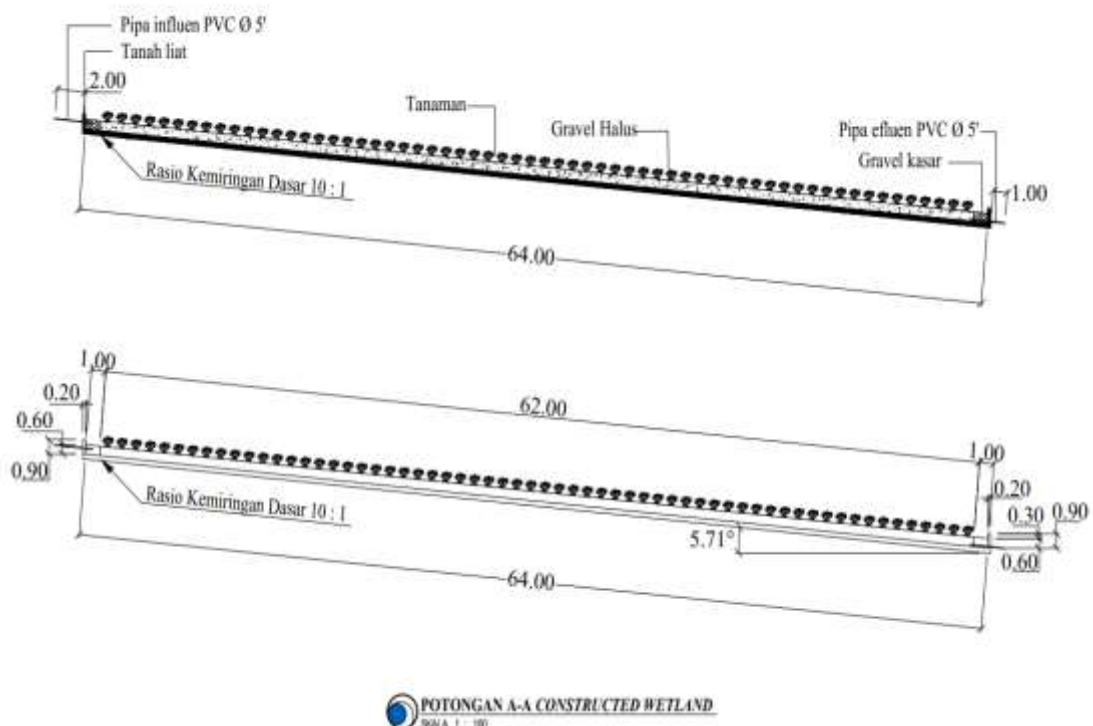
Berdasarkan perhitungan desain *constructed wetland* terdiri dari perhitungan laju konstanta pada suhu air limbah, perhitungan luas permukaan *constructed wetland*, perhitungan waktu retensi hidraulik (HRT), perhitungan luas permukaan yang dibutuhkan untuk mencakup proses penyisihan polutan terlarut dihitung apabila HRT tidak sesuai dengan kriteria desain yaitu menyisihkan polutan terlarut pada rentang 5-14 hari, perhitungan rasio panjang : lebar, perhitungan periksa kesesuaian laju retensi hidraulik (HRT) dan perhitungan periksa kesesuaian laju beban hidraulik (HLR). Berdasarkan perhitungan desain, maka diperoleh dimensi *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier IPAL tipe AUF di Kota Jambi sebagai berikut:

Panjang <i>constructed wetland</i>	= 64 m
Lebar <i>constructed wetland</i>	= 16 m
Luas permukaan <i>constructed wetland</i>	= 1.024 m ²
Kedalaman <i>constructed wetland</i>	= 0,6 m
Kedalaman total <i>constructed wetland</i>	= 0,9 m

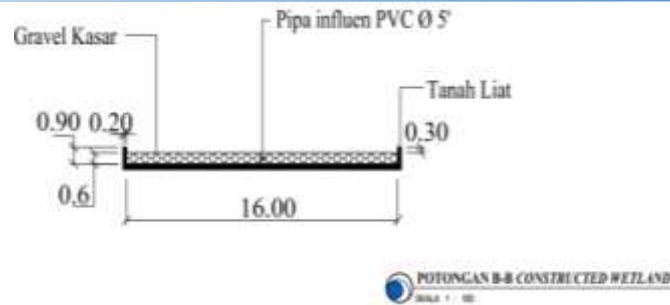
Dimensi *constructed wetland* yang telah didapatkan digunakan untuk menggambar desain *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier pada IPAL tipe AUF di Kota Jambi seperti *layout constructed wetland* yang disajikan pada **Gambar 2**. Potongan A-A yang disajikan pada **Gambar 3**, potongan B-B disajikan pada **Gambar 4** dan potongan C-C disajikan pada **Gambar 5**. Rekapitulasi perbandingan hasil pemilihan kriteria desain dan perhitungan desain terhadap kriteria desain *constructed wetland* disajikan pada **Tabel 2**.



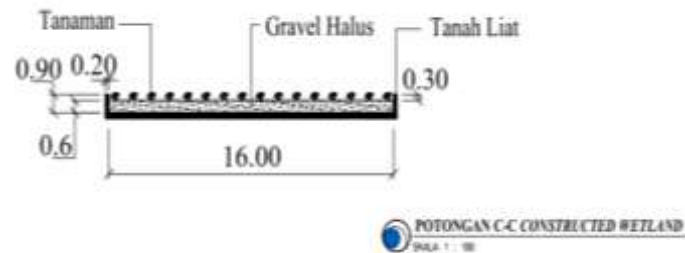
Gambar 2. *Layout Constructed Wetland*



Gambar 3. *Potongan A-A Constructed Wetland*



Gambar 4. Potongan B-B *Constructed Wetland*



Gambar 5. Potongan C-C *Constructed Wetland*

Tabel 2. Rekapitulasi Perbandingan Hasil Pemilihan Kriteria Desain dan Perhitungan Desain terhadap Kriteria Desain *Constructed Wetland*

Komponen	Satuan	Kriteria Desain	Hasil Pemilihan atau Perhitungan Desain	Keterangan	Sumber
Dasar <i>wetland</i>	cm/s	- Lapisan tanah liat dengan permeabilitas $K = 10^{-6}$ - Lapisan geomembran	Lapisan tanah liat dengan permeabilitas $K = 10^{-6}$	Sesuai	[10]
Media atau material filter	mm	- Gravel halus diameter (12-20) - Gravel kasar diameter (20-40)	Gravel halus diameter (12-20) dan Gravel kasar diameter (20-40)	Sesuai	
Tanaman yang dapat digunakan	-	Akar wangi; Cat tail; Papyrus; Typhaa; Phragmites communis; Khana sp; Echinodorus palaeifolius; Nymphaeae; Water hyacinth; atau Tumbuhan famili typhaceae	Phragmites communis	Sesuai	
Kedalaman air limbah <i>constructed wetland</i> (D_{cw})	cm	<90	60 cm	Sesuai	
Freeboard	cm	30	30 cm	Sesuai	
Slide slope		3:1–10:1	10 : 1	Sesuai	[11], [12]
Waktu retensi hidraulik (HRT) untuk menyisihkan polutan terlarut	hari	5–14	10,24	Sesuai	
Waktu retensi hidraulik (HRT) untuk menyisihkan polutan tersuspensi	hari	0,5–3	0,56	Sesuai	
Laju beban hidraulik (HLR)	m/hari	0,01–0,05	0,02	Sesuai	
Rasio panjang : lebar	-	4:1–6:1	4 : 1 dengan panjang 64 m : lebar 16 m	Sesuai	

Berdasarkan **Tabel 2** menunjukkan bahwa hasil pemilihan atau perhitungan desain *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier IPAL tipe AUF di Kota Jambi telah sesuai dengan kriteria desain yang terdapat pada buku A panduan perhitungan bangunan pengolahan lumpur tinja untuk seluruh komponen.

Perhitungan Kebutuhan Tanaman untuk Desain *Constructed Wetland*

Perhitungan kebutuhan tanaman *phragmites communis* untuk desain *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier untuk menyisihkan mikroplastik pada air limbah IPAL tipe AUF di Kota Jambi disajikan sebagai berikut.

Kebutuhan tanaman *phragmites communis* = Luas media tanam $\times$ kerapatan tanaman
Perencanaan tanaman pada *constructed wetland* adalah 40 tanaman/m² [16]. Maka, kebutuhan tanaman *phragmites communis* adalah sebanyak 39.680 tanaman.

Perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) merupakan daftar rancangan pekerjaan yang terdiri dari perhitungan volume pekerjaan, volume pekerjaan disajikan pada **Tabel 3**. Rencana Anggaran Biaya (RAB) dihitung berdasarkan perhitungan volume pekerjaan dikali dengan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) atau harga berdasarkan *online store* dikarenakan untuk uraian pekerjaan pembelian atau penggantian tanaman *phragmites communis* tidak tercantum pada standar harga satuan barang dan jasa di Lingkungan Provinsi Jambi yang mengacu pada Peraturan Gubernur Jambi nomor 1 tahun 2024 tentang standar harga satuan. Uraian RAB *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier IPAL tipe AUF di Kota Jambi disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Analisa	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	Biaya Persiapan Pekerjaan					
a	Pembersihan lahan	1.024	m ²	AHSP	Rp.5.136,92	Rp.5.260.206,08
b	Pengukuran dan pemasangan papan patok lahan	160	m	AHSP	Rp. 164.278	Rp.26.284.480
c	Penggalian tanah	933,12	m ³	AHSP	Rp. 58.800	Rp.54.867.456
d	Pembelian tanah liat untuk dasar <i>constructed wetland</i>	11,52	m ³	AHSP	Rp. 103.488	Rp.1.192.181,76
e	Pemadatan tanah liat	11,52	m ³	AHSP	Rp. 45.600	Rp.525.312
	Jumlah					Rp.88.129.635,84
2	Pekerjaan Material Filter <i>Constructed Wetland</i>					
a	Pembelian <i>gravel</i> kasar	76,8	m ³	AHSP	Rp. 350.000	Rp.26.810.000
b	Pembelian <i>gravel</i> halus	595,2	m ³	AHSP	Rp. 350.000	Rp.208.320.000
c	Penimbunan <i>gravel</i> kasar	76,8	m ³	AHSP	Rp. 45.600	Rp.8.404.992
d	Penimbunan <i>gravel</i> halus	595,2	m ³	AHSP	Rp.45.600	Rp.27.141.120
	Jumlah					Rp.270.676.112
3	Pekerjaan Pipa					
a	Pembelian pipa PVC Ø 5 inc	3	m	AHSP	Rp. 98.750	Rp.296.250
b	Pemasangan pipa PVC Ø 5 inc	3	m	AHSP	Rp.122.000	Rp.366.000
	Jumlah					Rp.662.250
4	Pekerjaan Tanaman					
a	Pembelian tanaman <i>phragmites communis</i>	39.680	tanaman	Online store	Rp.5	Rp.198.400
b	Penanaman <i>phragmites communis</i>	992	m ²	AHSP	Rp.5.136	Rp.5.094.912
	Jumlah					Rp.5.293.312
5	Operasional dan Pemeliharaan					
a	Pembersihan tanaman <i>phragmites communis</i>	992	m ²	AHSP	Rp.5.136	Rp.5.094.912
b	Penggantian tanaman <i>phragmites communis</i>	39.680	tanaman	Online store	Rp.5	Rp.198.400
c	Penanaman <i>phragmites communis</i>	992	m ²	AHSP	Rp.5.136	Rp.5.094.912
d	Penggantian <i>gravel</i> kasar	76,8	m ²	AHSP	Rp. 45.600	Rp.3.502.080
e	Penggantian <i>gravel</i> halus	595,2	m ²	AHSP	Rp. 45.600	Rp.27.141.120
	Jumlah					Rp.41.031.424
	Total					Rp.405.792.733,84

Berdasarkan **Tabel 3** diperkirakan biaya untuk membangun *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier IPAL tipe AUF di Kota Jambi yaitu sebesar Rp.405.792.733,84.

Estimasi Efisiensi Penyisihan Mikroplastik pada Desain *Constructed Wetland*

Efisiensi penyisihan mikroplastik pada desain *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier IPAL tipe AUF di Kota Jambi tipe AUF di Kota Jambi belum diketahui. Hal ini dikarenakan desain pada penelitian ini belum direalisasikan dan belum dianalisis pada skala laboratorium untuk mengevaluasi efisiensi penyisihannya, maka untuk mengetahui seberapa besar efisiensi penyisihannya, dilakukan estimasi efisiensi penyisihan mikroplastik berdasarkan kapasitas pengolahan *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier IPAL tipe AUF di Kota Jambi dan luas permukaan desain yang didapat dari perhitungan desain *constructed wetland*, dibandingkan dengan data studi literatur mengenai kapasitas pengolahan, luas permukaan dan efisiensi penyisihan mikroplastik *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier IPAL yang relevan berdasarkan jurnal bereputasi tinggi. Estimasi efisiensi penyisihan mikroplastik pada desain *constructed wetland* disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Estimasi Efisiensi Penyisihan Mikroplastik pada Desain *Constructed Wetland*

No	Kapasitas Pengolahan (m ³ /hari)		Luas Permukaan (m ²)		Efisiensi Penyisihan Mikroplastik (%)		Sumber Studi Literatur
	Penelitian Saat Ini	Studi Literatur	Penelitian Saat Ini	Studi Literatur	Penelitian Saat Ini	Studi Literatur	
1	24	<i>Constructed wetland</i> 1 = 60 <i>Constructed wetland</i> 2 = 10 <i>Constructed wetland</i> 3 = 15	1.024	32,24 7,38 22,68	100 100 100	100 11,8 45,5	[7]
2	24	361	1.024	500	100	89	[17]
3	24	251	1.024	500	100	88	[8]
4	24	100	1.024	1200	100	92,35	[18]
5	24	180.000	1.024	80.000	100	87,72	[19]

Berdasarkan **Tabel 4** menunjukkan bahwa estimasi efisiensi penyisihan mikroplastik pada desain *constructed wetland*, sebagai pengolahan tersier IPAL tipe AUF di Kota Jambi yaitu sebesar 100%. Maka, dapat disimpulkan bahwa air limbah yang mengandung mikroplastik setelah diolah pada desain *constructed wetland* dapat tersisihkan seluruhnya, tentunya kadar mikroplastik pada air limbah tersebut telah memenuhi batas paparan mikroplastik paling relevan untuk manusia di air minum yaitu sebesar 10,4 partikel/L [6].

4. Kesimpulan

Desain *constructed wetland* sebagai pengolahan tersier untuk menyisihkan mikroplastik pada air limbah IPAL tipe AUF di Kota Jambi dengan kapasitas pengolahan sebesar 24 m³/hari menggunakan sistem *Sub Surface Flow Constructed Wetland* (SSFCW) dan *Horizontal Sub Surface Flow* (HSSF) didapatkan bahwa dimensi desain *constructed wetland* sebesar 64 m × 16 m × 0,9 m, maka perkiraan biaya untuk pembangunan desain sebesar Rp.405.415.773,84 dengan estimasi efisiensi penyisihan mikroplastik yaitu sebesar 100% sehingga air limbah yang mengandung mikroplastik setelah diolah pada desain *constructed wetland* dapat tersisihkan seluruhnya, tentunya kadar mikroplastik pada air limbah tersebut telah memenuhi batas paparan mikroplastik paling relevan untuk manusia di air minum yaitu sebesar 10,4 partikel/L, sehingga air limbah tersebut telah aman dibuang ke badan air atau lingkungan.

5. Referensi

- [1] R. Kumar, P. Sharma, C. Manna, dan M. Jain, "Science of the Total Environment Abundance , interaction , ingestion , ecological concerns , and mitigation policies of microplastic pollution in riverine ecosystem: A review," *Sci. Total Environ.*, vol. 782, hal. 146695, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146695.
- [2] K. Gunaan, E. Fabbri, dan M. Capolupo, "The hidden threat of plastic leachates: A critical review on their impacts on aquatic organisms," *Water Res.*, vol. 184, 2020, doi: 10.1016/j.watres.2020.116170.
- [3] L. C. Wang, J. C. Te Lin, C. Di Dong, C. W. Chen, dan T. K. Liu, "The sorption of persistent organic pollutants in microplastics from the coastal environment," *J. Hazard. Mater.*, vol. 420, no. April, hal. 126658, 2021, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126658.
- [4] G. E. Üstün, K. Bozdaş, dan T. Can, "Abundance and characteristics of microplastics in an urban

- wastewater treatment plant in Turkey,” *Environ. Pollut.*, vol. 310, no. May, 2022, doi: 10.1016/j.envpol.2022.119890.
- [5] S. Hajji, M. Ben-Haddad, M. R. Abelouah, G. E. De-la-Torre, dan A. A. Alla, “Occurrence, characteristics, and removal of microplastics in wastewater treatment plants located on the Moroccan Atlantic: The case of Agadir metropolis,” *Sci. Total Environ.*, vol. 862, no. December 2022, hal. 160815, 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.160815.
- [6] World Health Organization, *Dieary and Inhalation Exposure to Nano and Microplastic Particles and Potential Implications for Human Health*. 2022.
- [7] S. Wei dkk., “Characteristics and removal of microplastics in rural domestic wastewater treatment facilities of China,” *Sci. Total Environ.*, vol. 739, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139935.
- [8] Q. Wang, C. Hernández-Crespo, M. Santoni, S. Van Hulle, dan D. P. L. Rousseau, “Horizontal subsurface flow constructed wetlands as tertiary treatment: Can they be an efficient barrier for microplastics pollution?,” *Sci. Total Environ.*, vol. 721, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137785.
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Buku A Panduan Perhitungan Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja*. Direktorat Jenderal Cipta Karya, 2017.
- [10] UN-HABITAT, *Constructed Wetland Manual*. Kathamandu: UN HABITAT Water for Asian Cities Programme Nepal, 2008.
- [11] R. W. Crites, *Design Criteria and Practice for Constructed Wetland*. Water Science and Technology, 1994.
- [12] G. Bendoricchio, L. D. Cin, dan J. Persson, *Guidelines for Free Water Surface Wetland Design*. Ecosystems, 2000.
- [13] Y. Long dkk., “Microplastics removal and characteristics of a typical multi-combination and multi-stage constructed wetlands wastewater treatment plant in Changsha, China,” *Chemosphere*, 2023, [Daring]. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137199>
- [14] Y. Chen dkk., “Transport and fate of microplastics in constructed wetlands: A microcosm study,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 415, hal. 1–7, 2021, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.125615.
- [15] Pemerintah Provinsi Jambi, *Peraturan Gubernur Jambi Nomor 1 Tahun 2024 tentang Standar Harga Satuan*. 2024.
- [16] Y. Chen dkk., “Transport and fate of microplastics in constructed wetlands: A microcosm study,” *J. Hazard. Mater.*, vol. 415, no. March, hal. 125615, 2021, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.125615.
- [17] Q. Wang, Y. Li, X. Yang, S. W. H. Van Hulle, dan D. P. L. Rousseau, “Microplastics in two different constructed wetlands systems for wastewater treatment: Removal and fate,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 12, no. 6, 2024, doi: 10.1016/j.jece.2024.114341.
- [18] N. Baylan, P. Koyuncuoğlu, dan G. Erden, “Microplastics in a horizontal subsurface flow constructed wetland: A Case Study of Denizli/Türkiye,” *Ecol. Eng.*, vol. 207, no. July, 2024, doi: 10.1016/j.ecoleng.2024.107349.
- [19] Y. Long dkk., “Microplastics removal and characteristics of a typical multi-combination and multi-stage constructed wetlands wastewater treatment plant in Changsha, China,” *Chemosphere*, 2023.