



## Penanganan Air Limbah Di Permukiman Tepi Danau Tondano Dengan Teknologi Constructed Wetland

Isai S. Walingkas<sup>#a</sup>, Roski R. I. Legrans<sup>#b</sup>, Isri R. Mangangka<sup>#c</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia  
<sup>a</sup>isaiwalingkas@gmail.com, <sup>b</sup>legransroski@unsrat.ac.id, <sup>c</sup>isri.mangangka@unsrat.ac.id

### Abstrak

Dampak hubungan aktivitas manusia dan pengelolaan lingkungan yaitu pencemaran air. Desa Eris merupakan salah satu desa yang terletak di tepi Danau Tondano, dengan pembuangan air limbah desa Eris menuju ke Danau Tondano. Hal tersebut menjadi tujuan penelitian untuk mengetahui sejauh mana pencemaran air di desa Eris dengan cara perhitungan debit air limbah dan menghitung volume constructed wetland. Metode penelitian yang digunakan yaitu data hasil survey lapangan, data kualitatif yaitu data hasil wawancara dengan pemerintah setempat. Data primer diperoleh dari hasil survey, dan data sekunder yang diperoleh dari sumber-sumber yang telah ada. Hasil kesimpulan bahwa Desa Eris dengan jumlah penduduk sebanyak 1.801 orang menghasilkan air limbah domestik dengan debit rata – rata keseluruhan yaitu 57,024 m<sup>3</sup>/hari sehingga memerlukan sistem pengolahan air limbah dengan teknologi constructed wetland. Desain yang digunakan yaitu SFS (Subsurface Flow System), dengan dimensi yaitu panjang 114.289m, lebar 18.998 m dan kedalaman 60 cm. Jenis tanaman yang digunakan yaitu reeds yang mempunyai kemampuan penetrasi rizoma hingga sedalam 0,6 m, dan media pasir yaitu gravelly sand. Berdasarkan perhitungan debit air limbah didapatkan hasil Qpeak Air Limbah Total adalah 0,809 L/det. perhitungan volume c didapatkan hasil Hydraulic-loading rate (Lw) adalah 0,026262801 m<sup>3</sup>/ m<sup>2</sup>/d sehingga nilai Lw lebih besar 0.015 dan lebih kecil 0.050, sesuai parameter desain. Dan BOD5 loading rate adalah 27,632088 lb/d. Dengan penggunaan sistem pengolahan air limbah constructed wetland dapat mengurangi pencemaran danau Tondano.

*Kata kunci: Constructed Wetland, Subsurface Flow System, air limbah, Desa Eris, Danau Tondano*

### 1. Pendahuluan

#### 1.1. Latar Belakang

Danau Tondano merupakan salah satu dari 15 danau kritis yang menjadi Prioritas Nasional untuk ditangani berdasarkan Konferensi Nasional Danau Indonesia (KNDI) di Denpasar, Bali pada 13 Agustus 2009 silam. Hal ini pun dipertegas melalui Peraturan Presiden (Perpres) No. 60/2021 tentang Penyelamatan Danau Prioritas Nasional. Salah satu permasalahan yang menghambat penyelamatan Danau Tondano yaitu pencemaran yang diakibatkan oleh pembuangan limbah domestik rumah tangga di permukiman tepi danau. Oleh karena itu, diperlukan kajian mengenai Studi Penanganan Air Limbah Di Permukiman Tepi Danau Tondano Dengan Teknologi Constructed Wetland (Studi Kasus Desa Eris)

Constructed wetland adalah lahan basah buatan, dengan fungsi pemurnian air limbah dengan menggunakan fisik, kimia dan metode biologi dalam sebuah eco-system, memanfaatkan proses filtrasi, adsorpsi, sedimentasi, pertukaran ion dan penguraian mikroba. Dengan penggunaan teknologi *constructed wetland* dalam pengolahan air limbah dapat menjadi salah satu alternatif untuk mewujudkan sistem pengolahan air limbah yang bersifat biologis sehingga menggunakan material alami dan tidak mencemari lingkungan.

Dari uraian tersebut, dapat dirumuskan suatu masalah yakni bagaimanakah pengelolaan limbah cair rumah tangga dari permukiman tepi Danau Tondano agar tidak mencemari Danau

Tondano. Selanjutnya ditetapkan bahwa tujuan penelitian adalah perancangan IPAL komunal untuk pengolah limbah cair permukiman dengan teknologi *constructed wetland*.

## 2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini diawali dengan pengumpulan data yang terdiri atas data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif yang akan digunakan yaitu data hasil survey lapangan di Permukiman Tepi Danau Tondano berupa data penduduk Desa Eris. Data kualitatif yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu data hasil wawancara dengan pemerintah setempat mengenai kondisi air limbah. Selanjutnya adalah analisis kebutuhan air bersih berdasarkan jumlah penduduk dan besaran debit air limbah. Data produksi limbah cair akan digunakan dalam perancangan IPAL tipe *constructed wetland*.

Lokasi penelitian bertempat di Permukiman Tepi Danau Tondano, yaitu di Desa Eris, Kecamatan Eris, Minahasa. Waktu penelitian ini dilaksanakan dalam waktu 9 minggu hingga tahap laporan akhir hasil penelitian, terhitung sejak bulan April 2023 hingga minggu pertama di bulan Juni 2023.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Kondisi Lokasi Penelitian

Desa Eris merupakan salah satu desa yang terletak di tepi Danau Tondano dengan jumlah penduduk sebanyak 1801 orang. Topografi wilayahnya dari datar hingga pegunungan menyusuri sisi timur Danau Tondano.

### 3.2. Perhitungan Debit Air Limbah

Debit air limbah dihitung berdasarkan jumlah penduduk Desa Eris yakni sebanyak 1801 orang. Berikut ini adalah perhitungan debit air limbah:

$$Pt = P \times Cp = 1.801 \times 70\% = 1.260,7 = 1.261 \text{ orang}$$

$$Q_{ave \text{ Air Bersih Domestik}} = P \times Uk = 1.801 \times 120 \text{ L/org} \cdot \text{hari} = 2,50 \text{ L/det.}$$

$$\begin{aligned} Q_{ave \text{ Air Bersih Non Domestik}} &= Q_{ave \text{ Air Bersih Domestik}} \times \text{Persentase Pemakaian} \\ &= 2,50 \text{ L/det} \cdot 15\% = 0,38 \text{ L/det.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{ave \text{ Total Air Bersih}} &= Q_{ave \text{ Air Bersih Domestik}} + Q_{ave \text{ Air Bersih Non Domestik}} \\ &= 2,50 \text{ L/det} + 0,38 \text{ L/det} = 2,88 \text{ L/det.} \end{aligned}$$

$$Q_{ave \text{ Air Limbah}} = 70\% \times Q_{ave \text{ Total Air Bersih}} = 70\% \times 2,88 \text{ L/det} = 2,016 \text{ L/det.}$$

$$\begin{aligned} Q_{min \text{ Air Limbah}} &= \frac{1}{5} \times \left( \frac{Pt}{1000} \right)^{0,2} \times Q_{ave \text{ Air Limbah}} = \frac{1}{5} \times \left( \frac{1.261}{1000} \right)^{0,2} \times 2,016 \text{ L/det} \\ &= 0,138 \text{ L/det.} \end{aligned}$$

$$Q_{peak \text{ Air Limbah}} = Q_{ave \text{ Air Limbah}} \times f_{peak} = 2,016 \text{ L/det} \cdot 4,44 = 8,971 \text{ L/det.}$$

$$f_{peak} = \frac{5}{\left( \frac{P}{1000} \right)^{0,2}} = \frac{5}{\left( \frac{1801}{1000} \right)^{0,2}} = 4,44$$

$$Q_{inf \text{ permukaan}} = Cr \times Q_{ave \text{ Air Limbah}} = 0,3 \times 2,016 \text{ L/det} = 0,605 \text{ L/det.}$$

$$Cr = \text{Koefisien Infiltrasi} = 0,1 - 0,3$$

$$\begin{aligned} Q_{peak \text{ Air Limbah total}} &= Q_{peak \text{ Air Limbah}} + Q_{inf \text{ permukaan}} \\ &= 8,971 \text{ L/det} + 0,605 \text{ L/det} = 9,576 \text{ L/det.} \end{aligned}$$

### 3.3. Kriteria Perancangan

Perancangan *Constructed Wetland* mengacu pada kriteria yang ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Panduan Desain untuk Constructed Wetland

Parameter Desain	Unit	Tipe Sistem	
		Free Water Surface (FWS)	Subsurface Flow System (SFS)
Hydraulic detention time	day	4 – 15	4 – 15
Water depth	ft	0.3 – 2.0	1.0 – 2.5
BOD5 loading rate	lb/acre	< 60	< 60
Hydraulic loading rate	Mgal/acre.d	0.015 – 0.050	0.015 – 0.05
Specific area	Acre/(Mgal/d)	67 – 20	67 – 20

(Sumber: Metcalf & Eddy, 2001)

**Tabel 2.** Data Awal Perancangan Constructed Wetland

PERENCANAAN	SATUAN	VOLUME	PERENCANAAN YANG DIPAKAI
Jumlah Penduduk	org	1801	
Cakupan Pelayanan	%	70%	70%
Penduduk Terlayani	%	1260,7	
Unit Konsumsi	L/org.hari	120	120 L/org.hari
Q average Air Bersih Domestik	L/det.	2,50	
Q average Air Bersih Non Domestik	L/det.	0,38	Persentase Pemakaian 15%
<b>Q average Total Air Bersih</b>	<b>L/det.</b>	<b>0,94</b>	
Q average Air Limbah	L/det.	0,66	Persentase Rata-Rata Air Buangan (Tabel)
Q min Air Limbah	L/det.	0,138	
Q peak Air Limbah	L/det.	0,612	
Q infiltrasi permukaan	L/det.	0,197	
Q peak Air Limbah Total	L/det.	0,809	

### 3.4. Perancangan Constructed Wetland

Parameter perancangan yang sangat penting untuk sistem *constructed wetland* adalah waktu detensi hidrolis, kedalaman basin (panjang dan lebar), laju beban BOD5, dan laju beban hidrolis. Rentang tipikal yang disarankan untuk perancangan diberikan pada Tabel 1.

Pentingnya karakteristik dari tanaman berhubungan dengan kedalaman optimum air untuk sistem FWS dan kedalaman rizoma dan penetrasi akar untuk sistem SFS. Cattails cenderung mendominasi pada kedalaman air lebih dari 6 in (0.15 m). Bulrushes tumbuh dengan baik pada kedalaman 2 hingga 10 in (0.05 m – 0.25 m). Reeds tumbuh sepanjang pesisir pantai dan pada kedalaman air hingga 5 ft (1.5 m), tetapi merupakan kompetitor yang lemah pada air yang dangkal. Sedges umumnya berada sepanjang garis pantai dan pada air yang lebih dangkal daripada bulrushes. Rizoma dan akar cattail bertahan pada kedalaman air hingga kira-kira 12 in (0.3 m), sedangkan reeds dapat bertahan pada lebih dari 24 in (0.6 m) dan bulrushes hingga lebih dari

30 in (0.76 m). Reeds dan bulrushes umumnya dipilih untuk sistem SFS karena kedalaman penetrasi rizomanya mencukupi untuk penggunaan basin yang lebih dalam.



**Gambar 1.** Perspektif *Constructed Wetland*

Dalam perhitungan perencanaan desain constructed wetland, digunakan data sebagai berikut:

1. BOD influen = 220 mg/l
2. BOD efluen = 2 mg/l
3. Debit air buangan = 0,66 L/det = 57,024 m<sup>3</sup>/hari = 2013,78 ft<sup>3</sup>/d = 0,01506 Mgal/hari
4. Tipe vegetasi = reeds (0,6m)
5. Temperatur air minimum = 160C
6. Media yang digunakan = gravelly sand
7. Slope = 0,01

Kedalaman media ditentukan berdasarkan jenis vegetasi yang akan digunakan pada sistem wetland yang direncanakan. Dalam hal ini, vegetasi yang akan digunakan adalah reeds yang mempunyai kemampuan penetrasi rizoma hingga sedalam 0,6 m. Oleh karena itu, kedalaman untuk perencanaan adalah sedalam d = 1,97 ft.



**Gambar 2.** Desain *Constructed Wetland*

a) Nilai  $\alpha$ ,  $k_s$ , dan  $K_{20}$

Media Type	Max 10% grain size, mm	Porosity, $\alpha$	Hydraulic Conductivity, $k_s$ , ft <sup>3</sup> /ft <sup>2</sup> .d	$K_{20}$
Medium sand	1	0.42	1.380	1.84
Coarse sand	2	0.39	1.575	1.34
Gravelly sand	8	0.35	1.640	0.86

b)  $K_T$

$$K_T = K_{20}(1.1)^{(T-20)}$$

$$K_{16} = 0,86(1.1)^{(16-20)}$$

$$K_{16} = 0,5874$$

c) Waktu detensi pore-space ( $t'$ )

$$t' = -\ln(Ce/Co)/K_T$$

$$t' = -\ln(2/220)/0,5874$$

$$t' = 8,0022 \text{ d}$$

d) Cross sectional area ( $A_c$ )

$$A_c = \frac{Q}{k_s \times S}$$

$$A_c = \frac{2013,78 \text{ ft}^3/\text{d}}{1,640 \text{ ft}^3/\text{ft}^2 \cdot \text{d} \times 0,01}$$

$$A_c = 122,79 \text{ ft}^2$$

e) Lebar media ( $W$ )

$$W = A_c/d$$

$$W = 122,79 \text{ ft}^2 / 1,97 \text{ ft}$$

$$W = 62,33 \text{ ft} = 18.998184 \text{ m}$$

f) Panjang Media ( $L$ )

$$L = (t' \times Q)/(W \times d \times \alpha)$$

$$L = (8,0022 \text{ d} \times 2013,78 \text{ ft}^3/\text{d}) / (62,33 \text{ ft} \times 1,97 \text{ ft} \times 0,35)$$

$$L = 374,964 \text{ ft} = 114.2890272 \text{ m}$$

g) Luas Permukaan Media ( $A_s$ )

$$A_s = L \times W$$

$$A_s = 374,964 \text{ ft} \times 62,33 \text{ ft}$$

$$A_s = 23.371,51 \text{ ft}^2$$

$$A_s = 2171.284 \text{ m}^2$$

h) Hidraulic-loading rate ( $L_w$ )

$$L_w = Q/A_s$$

$$L_w = 57,024 \text{ m}^3/\text{d} / 2171,284 \text{ m}^2$$

$$L_w = 0,026262801 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$$

$$0.015 < (0,026) L_w < 0.050 \text{ (memenuhi)}$$

i) BOD<sub>5</sub> loading rate

$$LBOD_5 = 0,01506 \text{ Mgal/d} \times 220 \text{ mg/L} \times 8,34 \text{ lb/Mgal. (mg/L)}$$

$$LBOD_5 = 27,632088 \text{ lb/d}$$

**Tabel 3.** Hasil Perhitungan

Parameter	Satuan	Hasil
BOD influen	mg/L	220
BOD efluen	mg/L	2
Waktu detensi	Hari (d)	8,0022
Kedalaman media	m	0,6
Lebar media	m	18.998
Panjang media	m	114.289



**Gambar 3.** Dimensi dan Detail Constructed Wetland

#### 4. Kesimpulan

- Jumlah penduduk Desa Eris sebanyak 1.801 orang menghasilkan debit air limbah domestik sebanyak 57,024 m<sup>3</sup>/hari sehingga memerlukan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL);
- IPAL yang direncanakan menggunakan teknologi *constructed wetland*. Desain yang digunakan yaitu SFS (Subsurface Flow System), dengan dimensi yaitu panjang 114.289 m, lebar 18.998 m dan kedalaman 60 cm. Jenis tanaman yang digunakan yaitu tanaman reeds yang mempunyai kemampuan penetrasi rizoma sedalam 0,6 m dan media pasir yaitu gravelly sand. Dengan penggunaan sistem pengolahan air limbah constructed wetland diharapkan dapat mengurangi pencemaran air Danau Tondano dalam rangka revitaliasi yang sementara dilaksanakan oleh pemerintah setempat;
- Berdasarkan perhitungan debit air limbah didapatkan hasil  $Q_{peak}$  air limbah total adalah 0,809 l/det;
- Berdasarkan perhitungan volume c didapatkan hasil Hidraulic-loading rate ( $L_w$ ) adalah 0,026262801 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d sehingga nilai  $L_w$  lebih besar 0.015 dan lebih kecil 0.050, sesuai parameter desain. Loading rate BOD<sub>5</sub> adalah 27,632088 lb/d.

#### Referensi

- Kementerian Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Direktorat Jenderal Cipta Karya Direktorat Pengembangan Penyehatan Lingkungan Permukiman. 2018. Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat Buku A
- Metcalf and Eddy, Inc. 1991. A Review on Constructed Wetlands Components and Heavy Metal Removal from Wastewater. Vol.6 No.7, July 27, 2015.
- Metcalf and Eddy, Inc. 2021. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. ISBN10: 0073401188 | ISBN13: 9780073401188
- Moh. Ghifary A Modeong, Isri R. Mangangka, Roski R. I. Legrans. 2022. Desain IPAL Komunal Subsurface Constructed Wetland Sebagai Pengolahan Air Limbah Domestik Di Kelurahan Karame Kota Manado. Vol. 20 No. 81 (2022): TEKNO
- Peraturan Menteri Kesehatan R.I. No.416/MENKES/PER/PER/IX/1990 Tentang Syarat-syarat dan pengawasan air minum, Jakarta
- Perpres No. 60/2021 tentang Penyelamatan Danau Prioritas Nasional.
- PP No 19 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran dan/atau Perusakan Laut
- Stewart, Mulholland, Cunningham, Kania & Österlund, (2008), Floating islands as an alternative to constructed wetlands for treatment of excess nutrients from agricultural and municipal wastes – results of laboratory-scale tests, Land Contamination & Reclamation, pp.25-33.
- UN-HABITAT. (2008). Constructed Wetlands Manual. (Vol. 978-92-1-131963-7) UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme