

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) DOMESTIK DENGAN METODE *CONSTRUCTED WETLAND* DI PERUMAHAN BUMI CIRUAS PERMAI 1 KABUPATEN SERANG

(diterima 1 Maret 2021, diperbaiki 1 April 2021, disetujui 1 Juni 2021)

Wilda Fajar Gusti Ayu, Frebhika Sri Puji Pangesti*

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Banten Jaya

Jl.Ciwaru II No.73 Kota Serang - Banten

E-mail korespondensi*: frebhikasripujipangesti@unbaja.ac.id

Abstract. BCP 1 housing is one of the waste generators in the Ciruas District area. This housing does not yet have gray water and black water waste treatment facilities. Therefore, an appropriate and efficient gray water wastewater treatment system is needed. One alternative is to use the subsurface flow wetland method. This study aims to determine the volume of wastewater generated by the community of BCP 1 and to design a wastewater treatment plant. The WWTP planning in BCP 1 considers aspects of the quality of domestic wastewater generated every day. The quality of domestic wastewater shows a COD value of 19.8 mg/L; BOD 12.75 mg/L; TSS 84 mg/L and pH 7.6. Then an analysis of the calculation of each WWTP unit that will be planned in BCP 1 housing is carried out to match the quality standard criteria in accordance with Permen LHK P.68/MENLHK-SETJEN/2016. The WWTP system is planned to consist of an equalization tank unit, a Subsurface Flow Constructed Wetland with *Cyperus alternifolius* plants, and a holding pond. The planning results show that the processing efficiency for TSS is 88%; BOD of 12.75 mg/L; COD of 19.8 mg/L; pH of 7.6. The effluent of the WWTP has met the specified quality standards. The budget required for the construction of the WWTP is Rp. 588,191,894.

Keywords: Pollution; domestic waste; gray water; *Cyperus alternifolius*; Constructed Wetland.

Abstrak. Perumahan BCP 1 adalah salah satu penghasil limbah di wilayah Kecamatan Ciruas. Perumahan ini belum memiliki fasilitas pengolahan limbah *grey water* dan *black water*. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengolahan air limbah *grey water* yang tepat dan efisien. Salah satu alternatifnya menggunakan metode *subsurface flow wetland*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui volume air limbah yang dihasilkan oleh masyarakat Perumahan BCP 1 dan membuat desain pengolahan air limbah. Perencanaan IPAL di Perumahan BCP 1 mempertimbangkan aspek kualitas air limbah domestik yang dihasilkan setiap harinya. Kualitas air limbah domestik menunjukkan nilai COD 19,8 mg/L; BOD 12,75 mg/L; TSS 84 mg/L dan pH 7,6. Kemudian dilakukan analisis perhitungan masing-masing unit IPAL yang akan direncanakan di perumahan BCP 1 agar sesuai dengan kriteria baku mutu sesuai dengan Permen LHK P.68/MENLHK-SETJEN/2016. Sistem IPAL direncanakan terdiri dari unit bak ekualisasi, *Subsurface Flow Constructed Wetland* dengan tanaman *Cyperus alternifolius*, dan kolam penampungan. Hasil perencanaan menunjukkan efisiensi pengolahan untuk TSS sebesar 88%; BOD sebesar 12,75 mg/L; COD sebesar 19,8 mg/L; pH sebesar 7,6. Dengan efisiensi tersebut *effluent* limbah cair IPAL telah memenuhi baku mutu yang ditentukan. Anggaran biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan IPAL adalah Rp. 588.191.894.

Kata Kunci: Pencemaran; limbah domestik; *grey water*; *Cyperus alternifolius*; Constructed Wetland.

© hak cipta dilindungi undang-undang

PENDAHULUAN

Pencemaran atau polusi merupakan perubahan karakteristik fisik, kimia, biologi yang mempengaruhi kehidupan manusia, kehidupan industri, kemajuan industri, kondisi kehidupan dan aset budaya (Mitra, 2018). Peningkatan jumlah penduduk terutama masalah pemukiman menyebabkan peningkatan buangan limbah karena tidak adanya sistem pengolahan, tetapi limbah yang langsung dialirkan ke badan air. Kondisi tersebut, pada satu sisi dapat memberikan kemudahan untuk penanggulangan maupun pengelolaan air limbah secara terpadu, namun disisi lain banyak teknologi pengolahan air limbah (IPAL) yang berjalan kurang efektif, karena mahal biaya operasional dan rumitnya sistem pengoperasian sehingga diperlukan sistem pengolahan air limbah (IPAL) domestik yang sederhana, mudah dan murah untuk biaya pembuatan dan operasionalnya.

Oleh karena itu, perlu dilakukan pengembangan teknologi *constructed wetland* yang dapat diterapkan pada halaman sempit. Teknologi *constructed wetland* dapat diterapkan sebagai teknologi pengolahan limbah *grey water* (domestik) di perumahan. *Constructed wetland* adalah lahan basah buatan, dengan fungsi pemurnian air limbah dengan menggunakan fisik, kimia dan metode biologi dalam sebuah ekosistem, memanfaatkan proses filtrasi, adsorpsi, sedimentasi, pertukaran ion dan penguraian mikroba (Torrens, 2015). Instalasi pengolahan ini mampu mengolah limbah domestik dengan baik ditunjukkan dengan efisiensi pengolahan limbah yang tinggi yaitu sekitar 88% untuk penurunan polutan TSS (Rito, 2017).

Penggunaan *constructed wetland* dengan tanaman *Cyperus alternifolius* dapat menjadi alternatif pengolahan air limbah *grey water* skala perumahan. Keuntungan yang diperoleh dari sistem ini adalah memperoleh nilai efisiensi yang tinggi dan memperoleh desain IPAL yang memiliki nilai estetika (Suprihatin, 2015). Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode *constructed wetland* untuk menurunkan polutan limbah cair domestik dengan parameter yang akan diturunkan yaitu BOD, COD, TSS dan pH.

METODE

Jenis Dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan adalah data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui data hasil observasi lapangan sedangkan data sekunder merupakan penunjang data primer yang diperoleh dari studi pustaka/literatur atau jurnal mengenai penelitian sejenis. Studi literatur mengenai data kependudukan yang diperoleh dari BPS Kabupaten Serang. Perencanaan instalasi pengolahan air limbah domestik ini melakukan percobaan berupa objek yang direncanakan lalu kemudian mengumpulkan informasi dan hasil pengujian berupa sampel air buangan sebagai data primer perancangan.

Pengolahan Data

Pengolahan serta analisis data yang digunakan dalam perencanaan pengolahan limbah ini menggunakan literatur yang telah didapat sesuai dengan permasalahan yang ada yaitu :

1. Menghitung kebutuhan air bersih

Untuk menghitung kebutuhan air bersih maka diperlukan data jumlah penduduk lalu dikalikan dengan standar kebutuhan air bersih per liter per orang per hari sebesar 144 liter/hari. (Dirjen Cipta Karya, 2006).

a. Kebutuhan air bersih domestik

$$Q_{ave} = P_n \times q$$

Dimana:

Q_{ave} = Kebutuhan air bersih (liter/hari)

P_n = Jumlah penduduk pada tahun n (orang)

q = Kebutuhan air bersih (liter/orang/hari)

b. Kebutuhan air bersih non domestik

$$Q_{fave} = P_f \times Q \times \text{Asumsi jumlah pemakai}$$

Dimana:

Q_{fave} = Kebutuhan air bersih (liter/hari)

P_f = Fasilitas umum

A_p = Asumsi Pemakaian (orang/unit)

Q = debit (liter/orang/hari)

c. Menghitung debit air limbah

Untuk menghitung debit air limbah diperlukan data berupa jumlah kebutuhan air bersih yang dikalikan dengan 80%.

$$Q_d = \frac{80}{100} \times \sum Q_{ave}$$

Dimana:

Q_d = Debit air limbah (liter/hari)

$\sum Q_{ave}$ = Kebutuhan air bersih (liter/hari)

d. Dan menghitung desain IPAL yang direncanakan

$$V = Q_d \times t_d$$

Dimana:

V = Volume (m^3)

Q_d = Debit air limbah (liter/hari)

t_d = Waktu tinggal

e. Perhitungan Unit Constructed Wetland

Menurut perhitungan waktu detensi di reaktor *constructed wetland* dengan pendekatan removal BOD/COD dan temperatur, dengan rumus sebagai berikut:

• Efisiensi pengolahan BOD

$$R_{BOD} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}}$$

Dimana:

R_{BOD} = Efisiensi pengolahan BOD

C_{in} = Konsentrasi influent (mg/L)

C_{out} = Konsentrasi effluent (mg/L)

• Waktu detensi pengolahan BOD

$$R_{BOD} = \frac{HRT}{\left(\frac{22,8}{T}\right) + HRT}$$

Dimana:

HRT = *Hydraulic Residence Time* (hari)

T = Temperature ($^{\circ}C$)

• Efisiensi pengolahan COD

$$R_{COD} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}}$$

Dimana:

R_{COD} = Efisiensi pengolahan COD

C_{in} = Konsentrasi influent (mg/L)

C_{out} = Konsentrasi effluent (mg/L)

• Waktu detensi pengolahan COD

$$R_{COD} = \frac{HRT}{\left(\frac{15}{T}\right) + HRT}$$

Dimana:

HRT = *Hydraulic Residence Time* (hari)

T = Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

f. Perhitungan Evapotranspirasi dan Presipitasi

Pada unit SSFCW terjadi reaksi evapotranspirasi yang mengakibatkan berkurangnya kuantitas air dalam unit ini.

Perhitungan Kehilangan Tekan

- Perhitungan *headloss* pada pipa bertekanan dihitung menggunakan rumus *Hazen-William*, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$h_f = \left[\frac{Q}{0,2785 \cdot C \cdot D^{2,63}} \right]^{1,85} L$$

Dimana:

h_f = headloss (m)

Q = debit (m^3/s)

C = koefisien kekasaran

L = panjang pipa (m)

- *Headloss* pada aksesoris dihitung menggunakan rumus *Hazen-William*, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$h_f = n \left[\frac{kV^2}{2g} \right]$$

Dimana:

h_f = *headloss* (m)

n = jumlah aksesoris

V = kecepatan di dalam aksesoris (m/s)

g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Unit IPAL yang direncanakan berupa kolam ekualisasi, unit *Constructed wetland*, dan kolam penampungan. Kolam ekualisasi pada pengolahan berfungsi untuk menghomogenkan air limbah dan menjaga air limbah tidak berfluktuasi (Mubin, 2016).

Perhitungan desain kolam ekualisasi sebagai berikut:

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

Dimana:

V = Volum bak ekualisasi (m^3)

HRT = *Hydraulic Retention Time* (jam)

Q = Debit air limbah

Dimensi unit *constructed wetland* dipengaruhi oleh faktor utama yaitu seberapa besar efisiensi pengolahan yang diinginkan (Nurul, 2016). Efisiensi dipengaruhi oleh faktor utama yaitu waktu tinggal hidraulik (HRT) seberapa lama air limbah berada pada

unit *constructed wetland*. Permodelan perhitungan waktu detensi di reaktor *constructed wetland* dengan pendekatan removal TSS, persamaan rumus sebagai berikut [8]:

Efisiensi pengolahan TSS

$$R_{TSS} = \frac{C_o - C_{in}}{C_o} \times 100\%$$

Dimana:

R_{TSS} = Efisiensi pengolahan TSS

C_{in} = Konsentrasi *influent* (mg/L)

C_{out} = Konsentrasi *effluent* (mg/L)

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam perencanaan adalah data primer dan data sekunder. Data Primer berupa karakteristik limbah meliputi BOD, COD, TSS, dan pH. Pengambilan sampel air sebanyak 2 kali dengan 2 titik pengambilan secara *grab sample* pada pagi hari. Dilakukan pengukuran luas lahan area IPAL. Untuk data sekunder yang dibutuhkan adalah denah area Perumahan Bumi Ciruas Permai 1, baku mutu air limbah berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia P.68/MENLHK- SETJEN/2016.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Air Limbah Domestik

Hasil dari karakteristik air limbah dibandingkan dengan Baku Mutu Air Limbah Domestik sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia P.68/MENLHK-SETJEN/2016. Hasil karakteristik air limbah pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Karakteristik Air Limbah

Parameter	Satuan	Nilai	Rata-Rata	Baku Mutu	
BOD	mg/L	15,3	10,2	12,75	30
COD	mg/L	20,9	18,7	19,8	100
TSS	mg/L	113,5	54,5	84	30
pH		7,54	7,73	7,6	6-9

Sumber: Hasil Uji Laboratorium 2020

Berdasarkan hasil analisa di atas, data yang digunakan untuk perencanaan sebagai berikut: TSS = 84 mg/L ; COD = 19,8 mg/L dan BOD = 12,75 mg/L

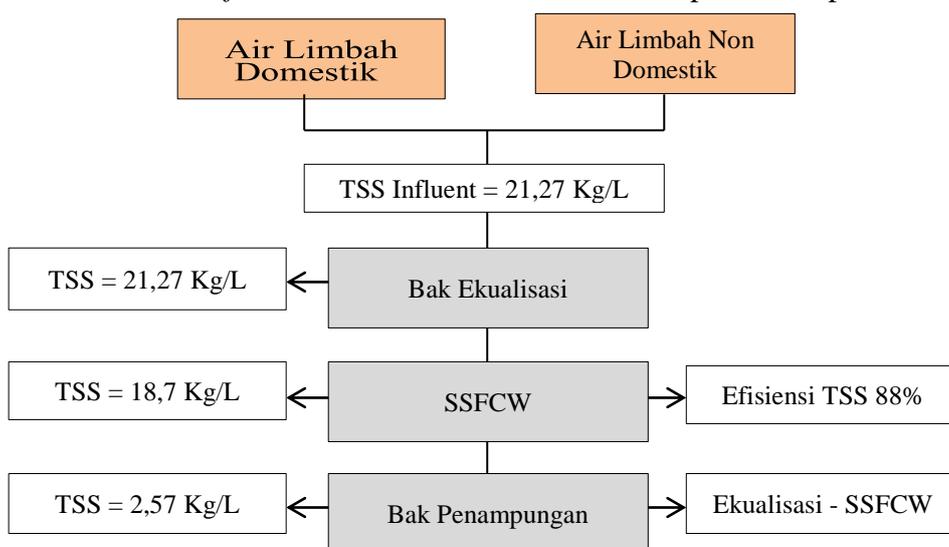
Kuantitas Air Limbah

Kuantitas air limbah domestik didasarkan dari data jumlah penduduk masyarakat Perumahan Bumi Ciruas Permai 1 yang dikalikan dengan standar kebutuhan air bersih per liter per orang per hari sebesar 144 liter/hari (Widiana dan Wardana, 2012). Hasil dari pengumpulan data kuantitas air bersih didapatkan total kebutuhan air bersih sebesar 316.546 liter/hari. Pada perencanaan diterapkan 80% merupakan angka persentase untuk menentukan air limbah dari penggunaan air bersih masyarakat Perumahan Bumi Ciruas Permai 1. Hal ini disesuaikan dengan literatur bahwa debit air limbah dapat diperkirakan mencapai 80% kebutuhan air bersih pada perumahan (Safrodin, *et.al.*, 2017). Untuk limbah *grey water* diperkirakan 50-80% dari total air limbah perumahan. Oleh karena itu dalam perencanaan diterapkan 75% limbah *grey water* dari total air limbah domestik. Di peroleh total debit air limbah *grey water* masyarakat Perumahan Bumi Ciruas Permai 1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q \text{ grey water} &= Q \text{ limbah total} \times 75\% \\
 &= 253,237 \text{ m}^3/\text{hari} \times 75\% \\
 &= 189,92 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

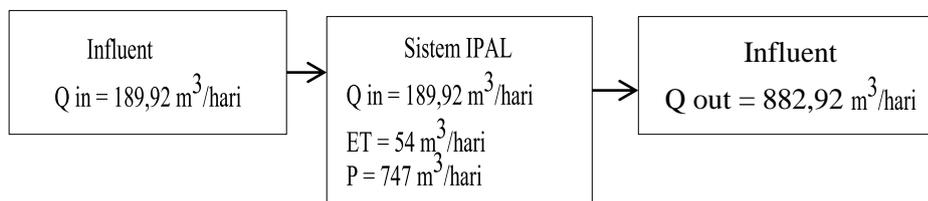
1. Kesetimbangan Massa

Penentuan kesetimbangan massa diperlukan untuk menentukan arah massa yang terbebaskan akibat proses pengolahan air limbah *grey water* dalam IPAL *Subsurface Flow Constructed Wetland* (Tutlomondo, *et.al.*, 2015). Adanya kesetimbangan massa juga berfungsi untuk menentukan sistem operasi dan pemeliharaan IPAL. *Mass balance* IPAL *Subsurface Flow Constructed Wetland* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Massa Balance Polutan dalam Sistem IPAL

Sedangkan kesetimbangan massa air akibat pengaruh presipitasi dan evapotranspirasi ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Kesetimbangan Massa Air

Berdasarkan diagram alir *water balance* diatas dijelaskan bahwa nilai Evapotranspirasi didapatkan dari hasil penelitian dengan *Cyperus alternifolius* disesuaikan dengan temperatur Kabupaten Serang sekitar 27,4 °C.

$$\begin{aligned}
 (ET_{CYP}) &= \frac{24 \text{ mm}}{\text{hari}} \times \frac{1 \text{ mm}}{1000} \times 2250 \text{ m}^2 \\
 &= 54 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (P) &= \frac{332 \text{ mm}}{\text{hari}} \times \frac{1 \text{ mm}}{1000} \times 2250 \text{ m}^2 \\
 &= 747 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

2. Perencanaan Unit-Unit Pengolah Air Limbah

Perencanaan IPAL terdiri atas bak ekualisasi, bangunan *Subsurface Flow Constructed Wetland*, dan bak penampung.

a. Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi difungsikan sebagai bak penampung awal untuk menjaga kuantitas debit air limbah yang masuk. Debit atau aliran dan konsentrasi limbah yang fluktuatif akan disamakan debit dan konsentrasinya dalam bak ekualisasi, sehingga memberikan kondisi optimum pada pengolahan selanjutnya. Unit ini direncanakan berbentuk persegi panjang dan pengaliran dari bak ekualisasi ke unit berikutnya (SSFCW) dengan pemompaan agar beban air limbah merata. Dimensi Bak Ekualisasi Direncanakan:

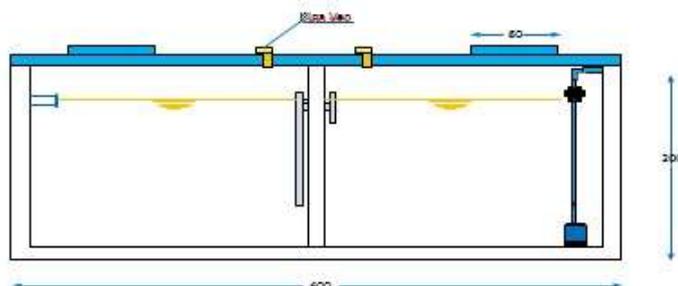
$$\begin{aligned}
 \text{Volume Bak Ekualisasi} &= \frac{\text{HRT}}{24} \times Q \\
 &= \frac{2 \text{ jam}}{24 \text{ jam}} \times 189,92 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 16 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Dimensi bak ekualisasi:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= 16 \text{ m}^3 \\
 \text{H} &= 2 \text{ m} \\
 \text{Luas} &= 8 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Fb = 0,3 m
Panjang = 4 m
Lebar = 2 m

Desain unit kolam Ekualisasi dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3 Bak Ekualisasi

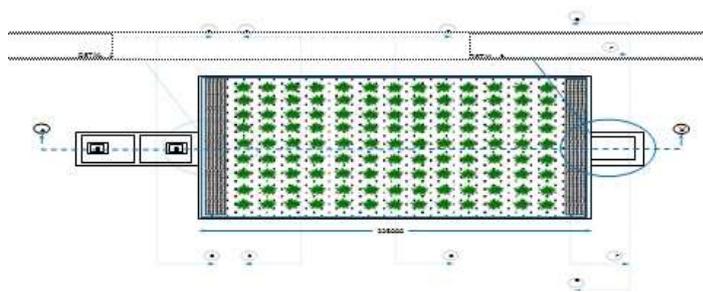
b. Reaktor *Constructed Wetland*

Subsurface Flow Constructed Wetland (SSFCW) direncanakan berbentuk persegi panjang dan terbagi atas beberapa kompartmen. Pembagian kompartmen bertujuan untuk meratakan persebaran air dan memudahkan dalam perawatan unit SSFCW. Waktu detensi (HRT) di unit SSFCW selama 3 hari. Tanaman yang digunakan pada unit adalah *Cyperus alternifolius* dengan kerapatan penanaman dalam 1 m² terdapat 1 rumpun (10-20 *stems*). Media yang digunakan pada unit ini terdiri dari *Medium sand* yang digunakan sebagai media melekatnya akar yang tercelup air limbah dan media *gravel* sebagai penyangga dibagian *inlet* dan *outlet*.

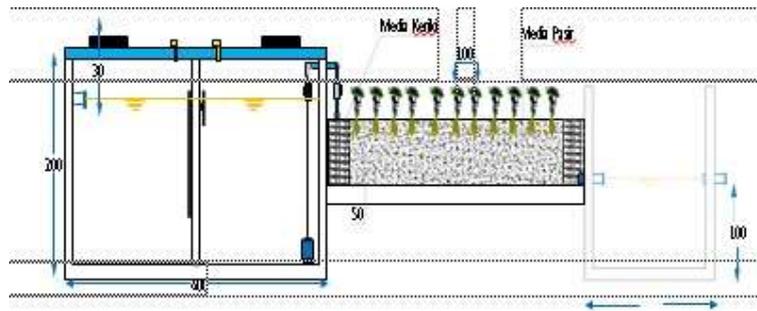
Dimensi bak SSFCW:

Panjang = 25 m
Lebar = 90 m
H = 0,5 m
Td = 3 hari
Volume = 1356 m³
As = 2250 m²
HLR = 0,08 m³/m².hari
BOD_{LR} = 1,076 gr/m².hari

Desain unit reaktor SSFCWS dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Denah IPAL SSFCWS



Gambar 5. Potongan SSFCWS

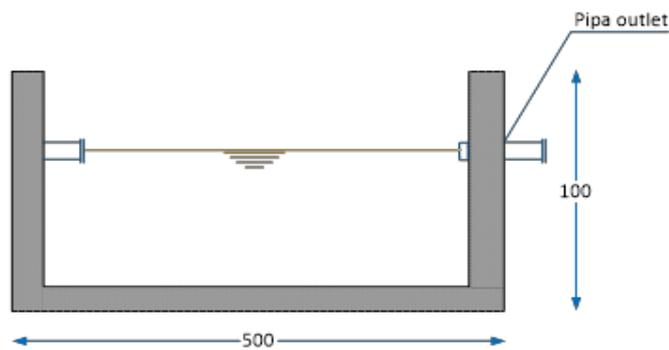
c. Kolam Penampung

Kolam penampung direncanakan untuk menampung air hasil olahan dari *Subsurface Flow Constructed Wetland* sebelum dibuang ke badan air. Kolam penampung dapat mempermudah proses operasi dan pemeliharaan khususnya pada proses pengambilan sampel *effluent* air limbah untuk diuji kentrasinya disesuaikan dengan baku mutu yang ada. Fungsi lain dari kolam penampung adalah hasil pengolahan ini dapat juga dimanfaatkan kembali untuk air siram tanaman.

Dimensi bak penampungan:

Volume	= 23,74 m ²
As	= 23,74 m ²
Panjang	= 5 m
Lebar	= 5 m
H	= 1 m

Desain unit reaktor SSFCWS dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Bak Penampungan

Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Biaya yang dibutuhkan untuk mewujudkan unit IPAL *Constructed Wetland* sebesar Rp. 588.191.894. Hasil perhitungan RAB ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Rencana Anggaran Biaya IPAL *Constructed Wetland*

No	Uraian Pekerjaan	Harga
1	Pembersihan Lapangan dan Penataan Tanaman	Rp 26.917
2	Pekerjaan penggalian tanah	Rp 74.568
3	Pekerjaan Pengurugan Pasir dengan Pematatan	Rp 12.616.287
4	Pekerjaan beton	Rp 145.815.441
5	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	Rp 2.088.033
6	Pekerjaan Bekisting Dinding	Rp 28.634.143
7	Pekerjaan Bekisting Lantai	Rp 28.864.874
8	Pekerjaan Pondasi Beton Bertulang	Rp 175.845.418
9	Pekerjaan Pengurugan Tanah Kembali	Rp 38.761
10	Pekerjaan Pengurugan Pasir, Kerikil dan Tanaman Pada SSFCW	Rp 184.966.852
11	Pompa, Pipa dan Aksesorisnya	Rp 9.220.600
Total Biaya		Rp 588.191.894

KESIMPULAN

Dari studi perencanaan dan desain IPAL di Perumahan Bumi Ciruas Permai 1 ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Volume air limbah domestik yang dihasilkan masyarakat Perumahan Bumi Ciruas Permai 1 untuk 10 tahun mendatang sebesar 253.237 liter/hari. IPAL dengan menggunakan metode *Constructed Wetland* mampu mereduksi polutan TSS sebesar 88% dari semula TSS sebesar 84 mg/L menjadi 9,63 mg/L. Hasil untuk parameter BOD sebesar 12,75 mg/L; COD sebesar 19,8 mg/L; pH sebesar 7,6 telah memenuhi standar baku mutu sesuai dengan Permen LHK P.68/MENLHK-SETJEN/2016.
2. Anggaran biaya yang dibutuhkan untuk mewujudkan unit IPAL adalah sebesar Rp 588.191.894,-

DAFTAR PUSTAKA

- Mitra, A. (2016). *Fundamentals of quality control and improvement*. John Wiley & Sons.
- Torrens, A. (2015). *Subsurface flow constructed wetlands for the treatment of wastewater from different sources. Design and operation* (Doctoral dissertation, Universitat de Barcelona).
- Rito, B. A. B. R. (2017). Pemanfaatan *Constructed Wetland* Sebagai Bagian Dari Rancangan Lanskap Ruang Publik Yang Berwawasan Ekologis Studi Kasus Houtan Park China. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 9(1), 46-59.

- Suprihatin, H. (2014). Penurunan Konsentrasi BOD Limbah Domestik Menggunakan Sistem Wetland dengan Tanaman Hias Bintang Air (*Cyperus alternifolius*). *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 1(2), 80-87.
- Mubin, F., Binilang, A., & Halim, F. (2016). Perencanaan sistem pengolahan air limbah domestik di Kelurahan Istiqlal Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 4(3).
- Euis Nurul, H., & Wahyu, A. (2010). Potensi dan pengaruh tanaman pada pengolahan air limbah domestik dengan sistem constructed wetland. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(2), 11-18.
- Widiana, S. (2013). Perencanaan Teknis Sistem Penyaluran dan Pengolahan Air Buangan Domestik (Studi Kasus: Kelurahan Bojongsalaman Kecamatan Semarang Barat Kota Semarang). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(1), 1-9.
- Safroedin, A., Mangkoedihardjo, S., & Yuniarto, A. (2017). Desain IPAL Subsurface Flow Constructed Wetland Di Rusunawa Grudo Surabaya. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 3(5).
- Tuttolomondo, T., Licata, M., Leto, C., Leone, R., & La Bella, S. (2015). Effect of plant species on water balance in a pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetland planted with *Arundo donax* L. and *Cyperus alternifolius* L.—Two-year tests in a Mediterranean environment in the West of Sicily (Italy). *Ecological Engineering*, 74, 79-92.
- Vymazal, J. (2010). Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water*, 2(3), 530-549.