

# PERENCANAAN PENERAPAN *CONSTRUCTED WETLAND* UNTUK PENGOLAHAN EFLUEN TANGKI SEPTIK

Soeprijanto<sup>1)</sup> dan Nieke Karnaningroem<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Telepon: 08165422334

email: soeprijanto@chem-eng.its.ac.id

## Abstract

*Wetlands* are natural wet ecosystems with diverse and complex roles in nature and fundamentally *wetlands* are at least intermittently flooded with water depths that support the growth of emergent vegetation such as cattail, reeds, sedges, bulrushes, rushes, and grasses. The vegetation provides surfaces for the attachment of microbial films, aids on filtration and adsorption of wastewater constituents, transfer oxygen into the water column, and controls the growths of algae by restricting the penetration of sunlight. The extensive root systems serve as large surface areas for the development of microorganisms and enabling filtration as well as adsorption of sediment. Design of the system consisted of two wetland cells in series, namely the subsurface flow (SSF) and the free water surface (FWS) cells. The SSF had an effluent rate of 8 m<sup>3</sup>/day, surface area of 35,68 m<sup>2</sup>, bed width of 3,6 m, length of 10 m, depth of 0,6 m, cross sectional area of 2,16 m<sup>2</sup>, organic loading rate (OLR) of 179,37 kg BOD/ha-day, HLR of 0,2242 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-day, and residence time of 1 day. The FWS had a surface area of 19,71 m<sup>2</sup>, bed width of 2,5 m, length of 8 m, depth of 0,3 m, cross sectional area of 0,75 m<sup>2</sup>, OLR of 83,21 kg BOD/ha-day, HLR of 0,4059 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-day, and residence time of 1 day.

**Keywords:** emergent vegetation, free water surface, subsurface flow, *wetlands*

## 1. PENDAHULUAN

Di Indonesia tangki septik dengan menggunakan resapan banyak digunakan hampir semua perumahan, universitas, perhotelan, masyarakat dll, sebagai sistem pembuangan air limbah domestik. Sistem yang digunakan adalah pembuangan air limbah di tempat, yang merupakan pengolahan secara konvensional. Apabila sistem tersebut gagal akan mengancam pada kesehatan manusia dan kerusakan lingkungan terutama pada daerah dengan permukaan air tanah tinggi seperti Surabaya. Hal ini dikarenakan kemampuan proses peresapan efluen dari tangki septik menurun, terutama saat musim hujan akibat tanah mengalami kejenuhan (Neralla *et al.*, 2000). Untuk mengatasi kegagalan tersebut, diperlukan metoda-metoda lain yang dapat digunakan sebagai pengolahan limbah pengganti. Salah satunya menggunakan *wetland*. *Wetland*

merupakan pengolahan yang sederhana, mempunyai nilai ekonomis, mudah dalam pemeliharaan dan pengoperasian serta dapat diterapkan oleh semua masyarakat.

*Wetland* dibedakan menjadi dua, yaitu *natural wetland* dan *constructed wetland*. *Natural wetland* adalah area yang sudah ada secara alami dengan debit dan struktur yang tidak direncanakan, misalnya rawa-rawa pesisir pantai atau *mangrove wetland*. *Natural wetland* banyak ditumbuhi oleh vegetasi *emergent*, misalnya *cattail* (*Typha sp.*), *reeds* (*Phragmites sp.*), *sedges* (*Carex sp.*), *bullrushes* (*Scirpus sp.*), *rushes* (*Juncus sp.*), dan spesies tanaman rumput-rumputan yang lain. Vegetasi dalam *natural wetland* merupakan fungsi dari tipe dan lokasi *wetland*. Sistem *constructed wetland* mempunyai dua tipe yang telah banyak dikembangkan untuk pengolahan air limbah, yaitu sistem *subsurface flow* (SSF) dan *free*

*water surface* (FWS). Sistem tersebut dapat memberikan siklus mineral dan menempelkan *niches* untuk populasi mikroba sehingga dapat meningkatkan kualitas air (Biddlestone, Gray dan Thurairajan, 1991, Kadlec dan Knight, 1996).

Penggunaan *constructed wetland* merupakan alternatif pengolahan yang biayanya tidak mahal dan efektif. Sistem ini mampu melakukan pengolahan lebih baik dari pada *natural wetland* dengan luas permukaan yang sama, karena bagian dasar bak biasanya miring dan regime hidrolis dalam sistem dikendalikan. Selain digunakan untuk mengolah air limbah domestik, juga telah digunakan untuk berbagai aplikasi industri. *Constructed wetland* banyak digunakan untuk mengolah drainase tambang asam karena metodenya yang tidak mahal.

*Constructed wetland* yang meliputi FWS dan SSF akhir-akhir ini sudah lebih banyak berkembang. Sistem SSF melibatkan aliran *subsurface* melalui medium *permeable*. Karena tanaman air yang tercelup digunakan dalam sistem ini mereka tergantung pada dasar reaksi mikrobiologi untuk pengolahan (Biddlestone *et al.*, 1991). Tipe media (tanah atau batuan) mempengaruhi sistem hidrolis (Reed, 1993).

Sistem *wetland* secara signifikan dapat mereduksi BOD<sub>5</sub>, padatan tersuspensi (SS), fosfor, nitrogen, logam-logam, *trace* organik, dan patogen (Reed, 1993, Soeprijanto dan Liu, 2007). Dasar mekanisme pengolahan adalah meliputi sedimentasi, pengendapan kimia dan adsorpsi, interaksi mikroba dengan BOD<sub>5</sub>, S, dan nitrogen, juga beberapa penyisihan menggunakan tumbuhan.

Proses pengolahan yang terjadi dalam *natural wetland* adalah serupa dengan proses yang terjadi dalam bentuk-bentuk *wetland* lainnya yang ada di lapangan. Penyisihan organik yang dapat mengendap terjadi terutama akibat dari sedimentasi. Penyisihan organik koloid dan organik yang dapat larut

terjadi terutama oleh oksidasi mikroba secara aerobik.

Tujuan dari studi ini adalah untuk mendapatkan informasi tentang dimensi sistem *constructed wetland* untuk mengolah efluen dari tangki septik Asrama Mahasiswa ITS sehingga diperoleh air berkualitas baik sebelum dibuang ke badan air.

## 2. GAMBARAN UMUM WILAYAH STUDI

Lokasi penempatan *constructed wetland* ditetapkan di asrama mahasiswa ITS yang dihuni sekitar 70 mahasiswa. Debit efluen tangki septik sebesar 8 m<sup>3</sup>/detik. Perencanaan *constructed wetland* meliputi: *detention time*, *organic loading rate*, *hydraulic loading rate*, dan luas area yang dibutuhkan. Selain itu juga dilakukan perhitungan dimensi dari sistem SSF dan FWS.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis *Constructed Wetland*

Air limbah yang digunakan diambil dari efluen tangki septik asrama mahasiswa ITS yang mana dengan menggunakan asumsi minimum pemakai tangki septik per hari berjumlah 70 orang. Sedangkan parameter efluen tangki septik yang diukur meliputi COD, BOD, nitrat (NO<sub>3</sub>-N), fosfat (PO<sub>4</sub>-P) dan TKN-N (Total Nitrogen).

### Perhitungan *Constructed Wetland*

Besar debit air limbah dari efluen tangki septik diperhitungkan berdasarkan pada debit rata-rata dari pemakaian WC dan Kamar mandi di asrama mahasiswa ITS dengan penghuni dalam kisaran 70 mahasiswa, dan dalam desain diambil jumlah mahasiswa sebanyak 80 orang. Besarnya debit efluen tangki septik sebesar 8 m<sup>3</sup>/hari. Debit ini akan digunakan sebagai dasar perhitungan desain pada kedua tipe *wetland*.

### Beban BOD dan COD Setiap Hari

Pengambilan sampel air limbah dilakukan pada efluen tangki septik di wilayah asrama

ITS didapatkan nilai rata-rata BOD dalam kisaran 38,5-42 g/m<sup>3</sup> dan COD 80-88 g/m<sup>3</sup>.

### Subsurface Flow

Konsep pengolahan *SSF wetland* adalah menjaga aliran ke dalam permukaan media dalam *bed*. Tetapi, jumlah signifikan operasi sistem *SSF* menunjukkan bervariasinya derajat aliran permukaan pada media *bed*. Karena sistem ini didesain untuk aliran *subsurface* yang sempurna, maka kondisi tersebut membuat potensi desain menurun. Hal ini dikarenakan aliran permukaan tersumbat pada ruang kosong dalam *bed*. Selain itu juga karena akar tanaman, tersangkutnya bahan-bahan tanaman atau oleh terakumulasinya padatan tersuspensi yang dipisahkan dari aliran air limbah.

Bila kondisi aliran *subsurface* yang diharapkan dalam *bed SSF wetland*, maka desain hidrolis secara praktis menggunakan Hukum Darcy. Hukum Darcy mampu menggambarkan regim aliran dalam media berpori-pori (*porous*). Persamaan Darcy adalah sebagai berikut:

$$Q = K_s A S$$

di mana:

Q = debit rata-rata, m<sup>3</sup>/hari

K<sub>s</sub> = konduktivitas hidrolis, m/hari

A = *surface area of wetland*, m<sup>2</sup>

S = *slope* media

Aspek rasio dari *bed wetland* sangat penting dipertimbangkan dalam desain hidrolis pada sistem *SSF wetland*. Hal ini dikarenakan gradien hidrolis potensial maksimum dikorelasikan terhadap kedalaman *bed* dibagi dengan panjang arah aliran. Banyak sistem-sistem yang didesain dengan aspek rasio 10:1 atau lebih dengan kedalaman total 0,6 m, tetapi terbukti tidak mempunyai cukup gradien hidrolis. Gradien hidrolis merupakan *total head* yang ada dalam sistem untuk mengatasi tahanan terhadap aliran horisontal dalam media berpori.

Permukaan atas media sebaiknya merata untuk memudahkan penanaman dan perawatan rutin. Secara teoritis, *slope* dasar sebaiknya sesuai dengan *slope level* air untuk

menjaga kedalaman air merata ke seluruh sistem *SSF*. Tetapi, karena konduktivitas hidrolis media bervariasi dengan waktu dan lokasi, tidak praktis untuk menentukan *slope* dasar dengan cara ini. *Slope* dasar sebaiknya didesain hanya untuk sistem drainase, dan tidak untuk mendukung konduktivitas hidrolis *SSF*. Di dalam desain kemiringan *bed* adalah sebesar 0,5-5% untuk memudahkan konstruksi dan drainase yang baik (Chalk dan Wheale, 1989).

Media tumbuh yang didapatkan secara alami seperti pasir atau kerikil memiliki variasi ukuran dan distribusi yang tidak sama. Ukuran media dan variasi dalam suatu butiran didapatkan dengan analisis ayakan dari butiran sampel yang representatif. Untuk media pasir dapat digunakan pasir dari sungai, sedangkan media kerikil didapatkan dari ayakan pasir. Tipe dan karakteristik berbagai media yang dapat digunakan menurut Reed (1993) disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Tipe Karakteristik Media Pada *SSF*

Tipe Media	Ukuran efektif (mm)	Porositas (%)	Konduktivitas hidrolis (K <sub>s</sub> ) (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d)
<i>Coarse Sand</i>	2	32	1000
<i>Gravelly Sand</i>	8	35	5000
<i>Fine Gravel</i>	16	38	7500
<i>Medium Gravel</i>	32	40	10000
<i>Coarse Rock</i>	128	45	100000

Ukuran efektif media adalah ukuran media bagian atas yang dianggap paling efektif dalam memisahkan kotoran yang besarnya 10% dari fraksi berat. Sedangkan porositas merupakan prosentase volume tanah yang tidak ditempati oleh partikel padat. Konduktivitas hidrolis (K<sub>s</sub>) diasumsikan bahwa media dan air limbah yang mengalir melewatinya adalah air bersih sehingga tidak terjadi penyumbatan.

Kedalaman media yang dipilih akan sangat bergantung pada keinginan desain untuk suatu sistem. Jika tanaman diinginkan sebagai sumber oksigen yang utama untuk nitrifikasi dalam sistem, kedalaman *bed* sebaiknya tidak melebihi kedalaman potensi

akar berpenetrasi untuk spesies tanaman yang digunakan. Hal ini akan menjamin adanya kandungan oksigen ke seluruh badan *bed*, tetapi dapat memerlukan manajemen praktis yang menjamin penetrasi akar mencapai kedalaman tersebut. Tabel 2 menunjukkan hubungan antara penetrasi akar dan unjuk kerja sistem *wetland*. Kedalaman akar yang ditunjukkan dalam Tabel 2 dianggap mendekati batas praktis maksimum yang diharapkan (Reed, 1993).

**Tabel 2** Unjuk Kerja *Bed SSF Wetland* Dengan dan Tanpa Tanaman

Tipe <i>Bed</i>	Kedalaman Akar (m)	Kualitas Effluen Akhir (mg/L)		
		BOD	TSS	NH <sub>3</sub>
Bulrush, <i>Scirpus</i>	0,8	5	4	2
Reeds, <i>Phragmites</i>	0,6	22	8	5
Cattails, <i>Typha</i>	0,3	30	6	18
Tanpa Tanaman	0,0	36	6	22

### Penyisihan BOD<sub>5</sub>

Sebagian besar pengolahan limbah domestik di desain untuk mendapatkan standar kualitas buangan sebesar 45 mg/L TSS dan 25 mg/L BOD<sub>5</sub> (Green dan Upton, 1994, Soeprijanto dan Liu, 2007). Sedangkan untuk ukuran-ukuran dari sistem *constructed wetland* didasarkan pada konsentrasi BOD<sub>5</sub> inlet sekitar 200 mg/L, dianggap sebagai tipe perumahan (Metcalf dan Eddy, 1991) dan konsentrasi BOD<sub>5</sub> outlet diprediksi sebesar 20 mg/L (Gearheart, 1992).

Penyisihan bahan organik sebagai BOD atau COD dapat didekati dengan orde reaksi pertama kinetika *plug flow*. Dasar desain yang digunakan adalah mengikuti desain Eropa dan pedoman operasi pada sistem-sistem ini (Cooper, 1990), tetapi beberapa penyederhanaan telah diadopsi untuk suatu aplikasi spesifik terhadap media kerikil yang diisi dalam *SSF* (Green dan Upton, 1994), dalam membersihkan effluent air limbah yang diolah berasal dari komunitas kecil, dan didasarkan pada kinetika orde pertama, dapat ditunjukkan pada persamaan:

$$\frac{C_e}{C_0} = e^{-K_T t}$$

$$K_T = K_{20} (1,06)^{(T-20)}$$

di mana:

C<sub>e</sub> = konsentrasi NH<sub>4</sub>-N influen, mg/L

C<sub>0</sub> = konsentrasi NH<sub>4</sub>-N efluen, mg/L

K = *temperature dependent rate constant*, hari<sup>-1</sup>

t = waktu detensi, hari

T = suhu (°C)

Efluen BOD<sub>5</sub> (C<sub>e</sub>) dipengaruhi oleh produksi residu BOD<sub>5</sub> dalam *wetland* melalui peruraian sampah tanaman dan bahan-bahan organik lain yang terjadi secara alami. Residu BOD<sub>5</sub> mempunyai nilai tipikal antara 2 sampai 7 mg/L. Akibatnya, persamaan kinetika orde pertama sebaiknya tidak digunakan untuk medesain nilai BOD<sub>5</sub> akhir yang nilainya lebih kecil dari 5 mg/L.

Hasil pengamatan dari beberapa peneliti menunjukkan bahwa konstanta kecepatan reaksi *plug flow* untuk sistem *SSF* lebih tinggi daripada untuk *fakultatif lagoons* atau sistem *FWS*. Hal ini dikarenakan luas permukaan yang ada pada media dalam *SSF wetland* sangat lebih tinggi dari pada kedua sistem tersebut (Neel, McDermott dan Monday, 1961, Reed *et al.*, 1987, Reed *et al.*, 1994). Luas permukaan untuk mendukung pengembangan dan tempat hidup untuk pertumbuhan mikroorganisme yang berperan dalam sistem tersebut. Konstanta kecepatan reaksi menurut Reed *et al.*, (1994) ditunjukkan dalam Tabel 3 untuk membandingkan dari ketiga sistem tersebut.

**Tabel 3.** Perbandingan Konstanta Kecepatan Reaksi Order Pertama Aliran Plug Flow (Reed *et al.*, 1994)

Proses pengolahan	Konstanta kecepatan reaksi (hari <sup>-1</sup> )
Subsurface Flow <i>Wetland</i>	1,104
Fakultative Lagoons	0,117
Free Water Surface <i>Wetland</i>	0,501

Waktu tinggal hidrolis, t atau HRT dapat didefinisikan berikut ini:

$$t = \text{HRT} = \frac{\varepsilon \text{LWD}}{Q}$$

di mana:

$t$  = HRT = *hydraulic loading time* (hari)

$\varepsilon$  = porositas tanah

$L$  = panjang media, m

$W$  = lebar media, m

$D$  = kedalaman air di dalam media, m

$Q$  = debit rata-rata, m<sup>3</sup>/hari

Karena nilai  $LW$  adalah sama dengan luas permukaan *bed*, maka rumus luas permukaan ( $A_s$ ) untuk mencapai level penyisihan BOD<sub>5</sub> yang diperlukan adalah sebagai berikut:

$$A_s = (L)(W) = \frac{Q (\ln C_0 - \ln C_e)}{K_T D \varepsilon}$$

di mana:

$A_s$  = *surface area of wetland*, m<sup>2</sup>

$L$  = panjang media, m

$W$  = lebar media, m

$Q$  = debit rata-rata, m<sup>3</sup>/hari

$C_0$  = konsentrasi NH<sub>4</sub>-N influen, mg/L

$C_e$  = konsentrasi NH<sub>4</sub>-N efluen, mg/L

$K_T$  = *temperature dependent rate constant*, hari<sup>-1</sup>

$D$  = kedalaman air di dalam media, m

$\varepsilon$  = porositas tanah

### Perhitungan Beban Organik dan Luas Bed

Debit,  $Q = 8 \text{ m}^3/\text{hari}$  (sebagai dasar desain *constructed wetland*), aliran fluida = 100 L/orang-hari, BOD inlet = 80 mgBOD<sub>5</sub>/L, BOD outlet = 10 mgBOD<sub>5</sub>/L, dan jumlah penghuni asrama = 80 orang.

### Perhitungan Luas SSF

Laju aliran pada SSF dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} Q &= 100 \text{ L/orang-hari} \times 80 \text{ orang} \\ &= 8000 \text{ L/hari} = 8 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$K_T = 1,104 (1,06)^{(32-20)} = 2,22/\text{hari}$$

$$A_s = \frac{8 (\ln 80 - \ln 10)}{2,22 (0,6) (0,35)} = 35,68 \text{ m}^2$$

Dengan perbandingan antara panjang dan lebar 3 : 1, maka dimensi *SSF* yang didapatkan adalah sebagai berikut: panjang = 10 m, lebar 3,6 m, dan kedalaman 0,6 m.

### Beban BOD untuk 80 Orang

Beban BOD dihitung dengan asumsi penghuni asrama adalah sebanyak 80 orang.

$$\begin{aligned} \text{Beban BOD} &= 80 \text{ mg/L} \times 100 \text{ L/orang-hari} \\ &\quad \times 80 \text{ orang} \\ &= 640.000 \text{ mg/hari} \\ &= 0,64 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, beban BOD pada bed yang terjadi} &= 0,64/35,68 \\ &= 0,01794 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hari} \\ &= 179,37 \text{ kg/ha.hari.} \end{aligned}$$

### Waktu tinggal dalam SSF

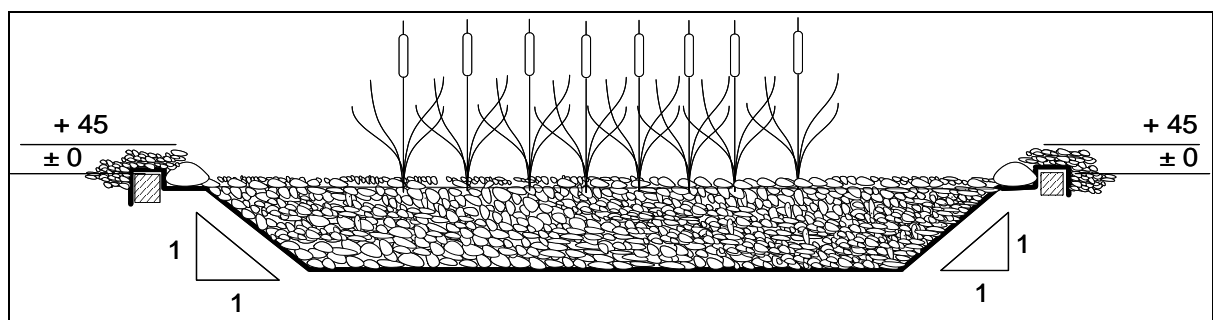
$$t = \text{HRT} = \frac{0,35 \times 10 \times 3,6 \times 0,6}{8} = 0,95 \approx 1 \text{ hari}$$

### Beban Hidrolik

Beban hidrolik adalah laju aliran sebesar 8 m<sup>3</sup>/hari pada luas *bed* 35,68 m<sup>2</sup> luas *SSF*. Beban hidrolik untuk mengolah efluen tangki septik adalah sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Beban hidrolik} &= \frac{8 \text{ m}^3/\text{hari}}{35,68 \text{ m}^2} \\ &= 0,2242 \text{ m/hari} \\ &= 0,2242 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari.} \end{aligned}$$

Skema sistem *subsurface wetlands* dapat ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Skema Sistem *Sub-Surface Constructed Wetland*

**Free Water Surface****Penyisihan BOD<sub>5</sub>**

Dalam Sistem *FWS*, penyisihan BOD<sub>5</sub> terlarut karena diperlukan oleh pertumbuhan mikroba yang menempel pada akar tanaman, batang, dan rontokan daun yang jatuh ke dalam air. Karena alga umumnya tidak ada dan jika sistem tertutup sempurna dengan tanaman, maka sumber utama oksigen untuk keperluan reaksi adalah berasal dari reaerasi pada permukaan air dan translokasi tanaman oksigen dari daun-daun menuju rhizosphere (Reed *et al.*, 1987).

Kriteria spesifik yang dijelaskan adalah diperuntukkan untuk beban organik rendah sampai menengah. Beban organik akan didistribusikan ke semua bagian area. Desain kedalaman air sebaiknya  $\leq 0,6$  m untuk meyakinkan distribusi kebutuhan oksigen cukup.

Penyisihan BOD<sub>5</sub> dalam *FWS* dapat digambarkan dengan kinetika *plug-flow* orde pertama sebagai berikut:

$$\frac{C_e}{C_0} = e^{-K_T t}$$

di mana:

C<sub>e</sub> = konsentrasi NH<sub>4</sub>-N influen, mg/L

C<sub>0</sub> = konsentrasi NH<sub>4</sub>-N efluen, mg/L

K = *temperature dependent rate constant*, hari<sup>-1</sup>

T = suhu (°C)

t = waktu detensi, hari

Waktu tinggal hidrolis, t atau HRT, dapat dipresentasikan berikut ini:

$$t = \text{HRT} = \frac{\text{LWD}}{Q}$$

di mana:

t = HRT = *hydraulic loading time* (hari)

L = panjang media, m

W = lebar media, m

D = kedalaman air di dalam media, m

Q = debit rata-rata, m<sup>3</sup>/hari

Dalam sistem *FWS wetland*, sebagian volume yang ada ditempati oleh tanaman, sehingga waktu tinggal yang sebenarnya akan merupakan fungsi porositas ( $\epsilon$ ), yang

dapat didefinisikan sebagai luas penampang yang masih ada untuk aliran.

$$\epsilon = \frac{V_v}{V}$$

di mana:

V<sub>v</sub>: volume pori tanah, m<sup>3</sup>

V : volume total tanah, m<sup>3</sup>

Reed *et al.* (1987) mengkombinasikan hubungan antara persamaan kinetika *plug-flow* order dan waktu tinggal hidrolis dengan sehingga didapatkan persamaan:

$$\frac{C_e}{C_0} = A \exp \left[ \left( -0,7 K_T (A_v)^{1,75} \frac{\text{LWD} \epsilon}{Q} \right) \right] \text{ atau}$$

$$\text{LWD} = \frac{\left( \ln A - \ln \frac{C_e}{C_0} \right) Q}{0,7 \epsilon (K_T) (A_v)^{1,75}}$$

di mana:

A = *surface area of wetland*, m<sup>2</sup>

C<sub>e</sub> = konsentrasi NH<sub>4</sub>-N influen, mg/L

C<sub>0</sub> = konsentrasi NH<sub>4</sub>-N efluen, mg/L

Q = debit rata-rata, m<sup>3</sup>/hari

$\epsilon$  = porositas tanah

K = *temperature dependent rate constant*, hari<sup>-1</sup>

T = suhu (°C)

Nilai konstanta kecepatan reaksi tergantung pada suhu, yang dihitung dari konstanta kecepatan pada suhu 20°C dan faktor koreksi 1,06. Konstanta kecepatan, K<sub>T</sub> pada suhu air T° C selanjutnya dapat dihitung dengan:

$$K_T = K_{20} (1,06)^{(T-20)}$$

di mana:

K = *temperature dependent rate constant*, hari<sup>-1</sup>

t = waktu detensi, hari

T = suhu (°C)

Ada hubungan antara beban BOD<sub>5</sub> rata-rata dan BOD<sub>5</sub> rata-rata efluen. Semakin tinggi beban BOD yang diberikan pada sistem akan menghasilkan peningkatan nilai BOD efluen, dan beban dapat diberikan hingga sebesar 183 kg/ha-hari jika dianggap desain hanya ditanami dengan penuh tanaman.

Analisis secara konservatif menunjukkan bahwa *FWS* sebaiknya diisi penuh dengan

tanaman dan beban tidak melebihi 40 kg BOD/ha-hari, jika standar BOD efluen sebesar 30 mg/L (USEPA, 2000). Batasan analisis untuk sistem *FWS* menunjukkan bahwa beban sampai 45 kg BOD/ha-hari menghasilkan BOD efluen kurang dari 20 mg/L. Pada sistem *FWS* dengan permukaan air terbuka berhubungan dengan udara yang memberikan kesempatan reaerasi dan oksidasi aerobik dengan sistem didesain pada beban organik tidak lebih dari 60 kg/ha.hari untuk mendapatkan BOD efluen kurang dari 30 mg/L (USEPA, 2000). Sehingga beban luasan (ALR) dapat dirumuskan berikut ini:

$$ALR = \frac{QC_0}{A} \text{ atau } A = \frac{QC_0}{ALR}$$

di mana:

- $A$  = surface area of wetland, m<sup>2</sup>
- $Q$  = debit rata-rata, m<sup>3</sup>/hari
- $C_0$  = konsentrasi NH<sub>4</sub>-N efluen, mg/L

#### Kedalaman Sistem

Desain kedalaman air pada sistem *SFW* sebaiknya 0,6 m atau kurang untuk menjamin kecukupan penyebaran oksigen, dan resirkulasi sebagian efluen perlu dipertimbangkan untuk mengatasi kehilangan air karena proses evapotranspirasi dan menjaga kecepatan aliran dan level oksigen.

#### Perhitungan Beban Organik dan Luas Bed

Aliran fluida = 100 L/orang-hari, laju alir:  $Q = 8 \text{ m}^3/\text{hari}$ , inlet = 20 mg BOD<sub>5</sub>/L (Asumsi keluaran dari Sistem *SSF*), dan Outlet = 6 mg BOD<sub>5</sub>/L.

#### Menghitung luas permukaan sistem *FWS* untuk mengolah efluen sistem *SSF*

$$K_T = 0,0057 (1,06)^{(32-20)} = 0,0115/\text{hari.}$$

$$LWD = \frac{\left( \ln 0,52 - \ln \frac{6}{20} \right) 8}{0,7 (0,75)(0,0115)(15,7)^{1,75}} = 5,91 \text{ m}^3$$

Bila kedalaman *bed* adalah 0,3 m, maka luas permukaan sistem *FWS* adalah:  $5,91/0,3 = 19,71 \text{ m}^2$ . Sedangkan rasio antara lebar dan panjang dalam kisaran 1:3 sampai 1:5, tanpa mengubah luas yang diinginkan, sehingga didapatkan lebar = 2,5 m dan panjang = 8 m (1:3).

#### Beban organik dalam *FWS*

Beban BOD = 20 mg/L x 100 L/orang-hari x 80 orang = 164.000 mg/ hari = 0,164 kg/hari.

Beban BOD pada *bed* =  $0,164/19,71 = 0,008321 \text{ kg/m}^2\text{-hari} = 83,21 \text{ kg/ha-hari}$ .

#### Waktu tinggal dalam *FWS*

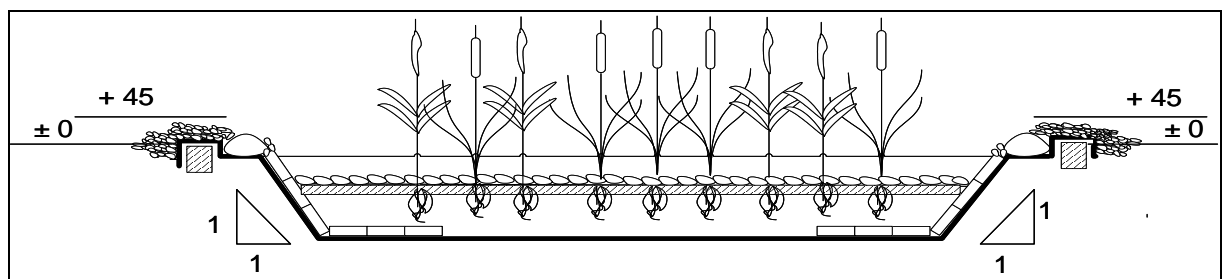
$$t = \text{HRT} = \frac{0,75(8)(2,5)(0,3)}{8} = 0,6 \approx 1 \text{ hari}$$

#### Beban hidrolis

Beban hidrolis adalah  $8 \text{ m}^3/\text{hari}$  pada luas *bed*  $19,71 \text{ m}^2$  luas *FWS*, yaitu,

$$\begin{aligned} \text{Beban hidrolis} &= \frac{8 \text{ m}^3/\text{hari}}{35,68 \text{ m}^2} = 0,40589 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,4059 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-hari.} \end{aligned}$$

Skema sistem *free water surface wetland* dapat ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Skema Sistem *Free Water Surface Constructed Wetland*

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dapat ditunjukkan bahwa dengan memanfaatkan

saluran pembawa efluen tangki septik ( $Q = 8 \text{ m}^3/\text{hari}$ ) dan dengan menggunakan pipa jenis PVC seperti yang sudah ada di asrama dan penampang berbentuk trapesium, maka

dimensi yang diperlukan untuk SSF adalah: luas permukaan *bed* = 35,68 m<sup>2</sup>, lebar = 3,6 m, panjang = 10 m, dan kedalaman *bed* = 0,6 m, luas penampang = 2,16 m<sup>2</sup>, beban pada *bed* (OLR) = 179,37 kg BOD/ha-hari, beban hidrolis (HLR) = 0,2242 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-hari, dan waktu tinggal yang dibutuhkan dalam *wetland* (t) = 1 hari. Sedangkan dimensi untuk FWS adalah luas area yang dibutuhkan = 19,71 m<sup>2</sup>, lebar = 2,5 m, panjang = 8 m, dan kedalaman *bed* = 0,3 m, luas penampang = 0,75 m<sup>2</sup>, beban organik (OLR) = 83,21 kg BOD/ha-hari, beban hidrolis (HLR) = 0,4059 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-hari, dengan waktu tinggal yang dibutuhkan dalam *wetland* (t) = 1 hari.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Biddlestone, A.J., Gray, K.R. dan Thurairajan, K. (1991). A Botanical Approach To The Treatment of Wastewaters. *Journal Biotechnology*. 17(3), 209-220.
- Chalk, E. dan Wheale, G. (1989). The Root-zone Process at Holtby Sewage Treatment Work. *Journal IWEM*, 3, 201-207.
- Cooper, FL. (1990). European Design and Operations Guidelines for Reed Bed Treatment Systems, Rep. UI17, Water Research Centre, Swindon, UK.
- Gearheart, R.A. (1992). Use of Constructed Wetlands to Treat Domestic Wastewater, City of Arcata, CA. *Water Science and Technology*, 26, 1625-1637.
- Green, MB. dan Upton, J. (1994). Constructed Reed Beds: A Cost-Effective Way to Polish Wastewater Effluents for Small Communities. *Water Environmental Resources*, 188-192.
- Kadlec dan Knight, (1996). Constructed Wetlands. Boca Raton. FL: Lewia Publishers, 893.
- Mitsch, W.J. dan Gosselink, J.G. (1992). Wetlands, Second Edition. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Metcalf dan Eddy (1991). Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse, 3<sup>rd</sup> Edition. McGraw-Hill, New York.
- Neel, J.K., McDermott, J.H., dan Monday, C.A. (1961). Experimental Lagooning of Raw Sewage. *Journal Water Pollution Control Fed.* 33(6), 603-641.
- Neralla, S., Weaver, R.W., Lesikar, B.J. dan Persyn, R.A. (2000). Improvement of Domestic Wastewater Quality by Subsurface Flow Constructed Wetlands. *Bioresource Technology*. 75(1). 19-25.
- Reed, S. C. (1993). Subsurface Flow Constructed Wetland For Wastewater Treatment And Technology Assesment, US Environmental Protection Agency, New Orleans.
- Reed, S.C., Middlebrooks, E.J., dan Crites, R.W. (1987). Natural Systems for Waste Mangement and Treatment. McGraw-Hill Book Co. New York.
- Reed, S.C., Middlebrooks, E.J., dan Crites, R.W. (1994). Natural Systems for Waste Mangement and Treatment. Second Edition, McGraw-Hill Book Co. New York.
- Soeprijanto dan Liu, J.C. (2007). Performance of constructed *wetland* systems for nitrogen removal. *Industri: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, 6(3), 230-238.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (2000). Manual: Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. EPA/625/R-99/010. Office of Research and Development. Cincinnati, Ohio.