

PENGOLAHAN AIR LIMBAH RUMAH SAKIT MENGGUNAKAN HORIZONTAL SUBSURFACE FLOW CONSTRUCTED WETLAND

Gede H. Cahyana¹, Annisha Nur Aulia²
 Prodi Teknik Lingkungan Universitas Kebangsaan
 Korespondensi: ghcahyana@gmail.com

ABSTRAK

Activated sludge adalah reaktor pengolahan air limbah yang banyak diterapkan di rumah sakit. Reaktor ini membutuhkan aerator mekanis sebagai pemasok oksigen. Sedangkan reaktor yang jarang digunakan adalah *Subsurface Flow Constructed Wetland*. Kedua jenis reaktor tersebut memanfaatkan mikroba dalam mereduksi pencemar di dalam air limbah. Peran mikroba di dalam *activated sludge* diambil alih oleh mikroba yang tumbuh di zone perakaran tanaman *Typha latifolia* dan *Vetiver sp.* Dibuat reaktor skala laboratorium untuk memperoleh data kinerja kedua tanaman tersebut dalam mengolah air limbah rumah sakit. Hasilnya, efisiensi penyisihan COD $Q_1 = 0,13$ l/j dan COD $Q_2 = 0,43$ l/j pada tanaman *Typha latifolia* sebesar 87,71% dan 67,61%. Pada tanaman *Vetiver sp* sebesar 90,07% dan 68,32%. Efisiensi penyisihan BOD₅ $Q_1 = 0,13$ l/j dan $Q_2 = 0,43$ l/j pada tanaman *Typha latifolia* sebesar 90,00% dan 71,7%. Pada tanaman *Vetiver sp* sebesar 91,69% dan 73,29%. Efisiensi penyisihan Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) $Q_1 = 0,13$ l/j dan $Q_2 = 0,43$ l/j pada tanaman *Typha latifolia* sebesar 91,27% dan 61,54%, sedangkan pada tanaman *Vetiver sp.* sebesar 92,01% dan 62,68%. *Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland* mampu dan layak digunakan untuk mengolah air limbah rumah sakit.

Kata kunci : *Subsurface Flow Constructed Wetland, Typha latifolia, Vetiver sp.*

ABSTRACT

Activated sludge is a wastewater treatment reactor widely applied for hospital. The reactor requires a mechanical aerator as a source of oxygen. At the same time, Subsurface Flow Constructed Wetland is rarely used. Both types of reactors utilize microbes in reducing pollutants of wastewater. The role of microbes in activated sludge is taken over by microbes that grow in the root zone of *Typha latifolia* and *Vetiver sp.* Two laboratory scale reactors were made to get serial data on the performance of the two plants in treating hospital wastewater. The result, the removal efficiency of COD on $Q_1 = 0.13$ l/h and COD on $Q_2 = 0.43$ l/h for *Typha latifolia* plants were 87.71% and 67.61%. On *Vetiver sp.* plants were 90.07% and 68.32%. The removal efficiency of BOD₅ on $Q_1 = 0.13$ l/h and $Q_2 = 0.43$ l/h for *Typha latifolia* plants were 90.00% and 71.7%. On *Vetiver sp.* plants were 91.69% and 73.29%. The efficiency of Total Kjeldahl Nitrogen removal (TKN) $Q_1 = 0.13$ l/h and $Q_2 = 0.43$ l/h for *Typha latifolia* plants were 91.27% and 61.54%, whereas in *Vetiver sp.* plants were 92.01% and 62.68%. Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland is capable and feasible for hospital wastewater treatment.

Keywords: *Subsurface Flow Constructed Wetland, Typha latifolia, Vetiver sp.*

PENDAHULUAN

Mayoritas rumah sakit di Indonesia mengolah air limbahnya menggunakan reaktor *activated sludge* atau umum disebut lumpur aktif. Sebagai bioreaktor pertumbuhan tersuspensi, *activated sludge* dan variasinya seperti *rotating biological contactor* (RBC) memerlukan energi listrik untuk pasokan oksigennya. Banyak juga yang hanya menampung air limbahnya di *septic tank* tetapi fungsinya tidak optimal sebagai pengolah air limbah secara anaerob. Jarang yang menggunakan teknologi sederhana dengan biaya operasi dan pemeliharaan relatif murah, yaitu *Constructed Wetland*. Lebih khusus lagi adalah *Subsurface-flow Constructed Wetland* aliran horizontal. Di dalam teknologi ini, peran penting pengolahan air limbah dilaksanakan oleh tanaman seperti *Typha latifolia* dan *Vetiver sp.* Itu sebabnya, teknologi ini sering disebut *the real green technology*.

Setiap teknologi pengolahan air limbah selalu memiliki keunggulan dan kelemahan. Ada yang unggul prosesnya, yakni cepat dan tinggi efisiensinya. Ada juga yang

unggul biaya operasi dan rawatnya karena murah. Bagaimana dengan *Constructed Wetland*? Untuk memperoleh data kinerja atau kemampuan *Constructed Wetland* dalam mengolah air limbah rumah sakit, dilaksanakan penelitian dalam skala laboratorium. Disiapkan reaktor yang didesain dengan kriteria seperti dijelaskan di dalam Crites, et.al., 1998. Tujuannya adalah untuk mendapatkan taraf efisiensi penyisihan pencemar dengan memanfaatkan tanaman *Typha latifolia* dan *Vetiver sp.* Parameter yang dianalisis adalah COD, BOD₅ dan Total Kjeldahl Nitrogen (TKN).

TINJAUAN PUSTAKA

Wetland adalah sistem pengolahan air limbah secara alamiah dengan memanfaatkan mikroba dan tanaman yang didukung oleh mekanisme sedimentasi, filtrasi, transfer gas, adsorpsi, reaksi kimia dan aktivitas biologi (Tchobanoglous, et.al., 2003). Ada beberapa definisi *Constructed Wetland* di antaranya: lahan berisi air dengan kedalaman kurang dari 0,6 m yang ditanam

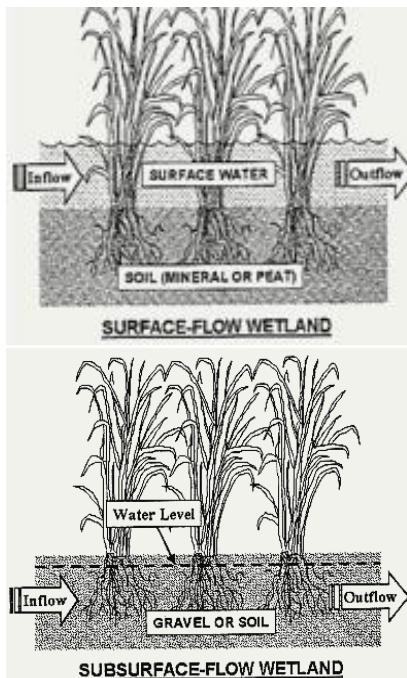
di dalamnya tanaman air *Cattails*, *Bulrushes*, *Reeds*, *Rushes* dan *sedges*.

Constructed Wetland meniru proses di lahan basah (*wetland*). Tumbuhan air berperan penting dalam proses pemulihan kualitas air limbah secara alamiah. Sistem pengolahan dikendalikan dengan kalkulasi desain yang tepat dan memanfaatkan proses alamiah oleh vegetasi, media, dan mikroorganisme. Unit ini sudah digunakan di banyak negara untuk pengolahan air limbah domestik dan non-domestik.

Keunggulan *Constructed Wetland* dibandingkan dengan teknologi konvensional ialah 1. Biaya pembangunan dan operasinya lebih murah. 2. Operasi dan perawatan lebih mudah. 3. Efisiensi relatif tinggi. 4. Toleran terhadap konsentrasi tinggi pencemar. 5. Mampu mengolah zat beracun (termasuk logam berat) yang tidak bisa dilakukan oleh teknologi konvensional. 6. Zat pencemar dapat dimanfaatkan kembali dan didaur ulang (*reuse - recycle*) menjadi biomassa yang bernilai ekonomi.

Selain positifnya, ada juga negatifnya. Beberapa keterbatasan *Constructed Wetland* ialah: 1. Perlu lahan luas. 2. Masih banyak karakteristik yang belum diketahui berkaitan dengan kriteria desain dan operasinya. 3. Kompleksitas biologis dan hidrologis. 4. Kemungkinan berkembang vektor penyakit seperti nyamuk (Hammer, 1989 dalam Khatuddin, 2010).

Ada dua jenis *Constructed Wetland*, yaitu aliran permukaan (*Surface Flow Constructed Wetland*) atau FWS (*Free Water System*) dan aliran bawah permukaan (*Sub-Surface Flow Constructed Wetland*) atau dikenal dengan *SSF-Wetlands* (Kadlec, Knight, 1996). Perbedaan sistem aliran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tipe aliran di dalam *Constructed Wetland* (Sumber: Kadlec, Knight, 1996)

Free Water Surface disebut juga rawa buatan dengan aliran di atas permukaan tanah. Sistem ini berupa kolam atau saluran yang dilapisi oleh lapisan *impermeable* di bawah saluran atau kolam yang berfungsi untuk mencegah merembesnya air ke luar kolam atau saluran. *Free Water Surface* tersebut berisi tanah sebagai tempat hidup tanaman air tergenang (*emergent plant*) dengan kedalaman 0,1 - 0,6 (Tchobanoglous, et.al., 2003). Pada sistem ini air limbah mengalir melewati (di atas) permukaan tanah. Pengolahan limbah terjadi ketika air limbah melewati akar tanaman yang berisi bakteri (Crites, et. al., 1998). Pada praktiknya *Free Water Surface System* jarang digunakan karena sering menjadi sarang vektor penyakit (nyamuk) dan berbau busuk.

Subsurface Flow (SSF) disebut juga rawa buatan dengan aliran di bawah permukaan. Sistem ini dirancang untuk pengolahan lanjutan dan disebut sebagai "*root zone*". *Subsurface Flow* terdiri atas saluran atau kolam dengan dasar yang kedap air, diisi pasir atau batu untuk mendukung pertumbuhan vegetasi. Ada dua macam pola aliran pada *Subsurface Flow System*, yaitu aliran horizontal (*Horizontal Subsurface Flow*) dan aliran vertikal (*Vertical Flow System*). Yang sering digunakan adalah aliran horizontal karena jenis ini memiliki efisiensi pengolahan terhadap *suspended solid* dan bakteri lebih tinggi dibandingkan dengan tipe lain (Khatuddin, 2010).

Horizontal Subsurface Flow (HSF), yaitu kolam yang berisi material (tanah, batu bata, pasir, kerikil). Material ini difungsikan sebagai pendukung pertumbuhan akar. Dasar dan dinding kolam kedap air dengan tujuan untuk mencegah infiltrasi ke dalam tanah sebelum diolah di *Constructed Wetland*. Biasanya dilapisi tanah liat atau membran sintetis (HDPE atau LDPE tebal 2 mm). Dasar *Constructed Wetland* diberi kemiringan 0 - 1% untuk memastikan terjadi aliran dari inlet ke outlet.

Vegetasi di *Horizontal Subsurface Flow* ditanam di media lapisan paling atas. Tanaman yang berada di atas media memiliki kemampuan adsorpsi oksigen menggunakan daun dan batang yang berada di atas permukaan media. Oksigen ditransfer ke akar sehingga keadaan di sekitar akar menjadi aerob. Tanaman dapat mentransfer oksigen antara 5 - 45 mg oksigen perhari permeter persegi luas permukaan, bergantung pada kepadatan tanaman (Khatuddin, 2010). Untuk meningkatkan efisiensi *Horizontal Subsurface Flow* maka perlu diperluas penetrasi akar ke dalam media untuk menciptakan kontak yang lebih besar antara akar dan limbah.

Keuntungan tipe *Horizontal Subsurface Flow*, yaitu tidak ada genangan air yang menimbulkan bau busuk atau menjadi sarang nyamuk. Sedangkan kekurangan, bakteri

menghasilkan lendir biofilm yang dapat menyumbat ruang antarmedia (parasitas, *perviousness*). *Horizontal Subsurface Flow* tidak cocok digunakan untuk pengolahan air limbah yang *suspended solid*-nya tinggi. Oleh karena itu dianjurkan dibuat unit pengolah pendahuluan seperti sedimentasi, tangki septik, tangki imhoff. Biaya konstruksi yang dibutuhkan untuk tipe ini lebih tinggi daripada tipe *Free Water Surface* (Vymazal, 2002 dalam Khatuddin, 2010).

Vertical Flow System (VFS), tipe ini hampir sama dengan *Horizontal Subsurface Flow*, tetapi berbeda arah aliran airnya. Pengalirannya tidak kontinu tetapi semialir atau bisa juga disebut *batch*. Air limbah dimasukkan di permukaan sistem kemudian merembes melalui media yang dipenuhi oleh akar tanaman hingga mencapai dasar *Constructed Wetland* menuju outlet.

Ada kriteria untuk mendesain *Subsurface Flow Constructed Wetland*. Pada Tabel 1 ditampilkan kriteria desainnya dan Tabel 2 tentang karakteristik medianya.

Tabel 1. Kriteria desain Subsurface Flow Constructed Wetland

Parameter Desain	Satuan	Besaran	Sumber
Waktu detensi hidrolis	hari	3 - 4 (BOD) 6 - 10 (N)	Tchobanou glous,2003
Tinggi muka air	m	0,3 - 0,6	Tchobanou glous,2003
Beban BOD	kg/ha.hari	<112	Tchobanou glous,2003
Beban hidrolis	m ³ /m ² .hari	0,015 - 0,05	Tchobanou glous,2003
Tinggi media	m	0,5 - 0,8	Tchobanou glous, 1991
Area sfesifik	ha/(10 ³ m ³ /hari)	2,2 - 7,2	Tchobanou glous,1991
Slope dasar	%	0,5 - 1	EPA, 2002

Sumber : USEPA, 1988

Tabel 2. Karakteristik media pada *Subsurface Flow System*

Tipe Media	Max 10% Ukuran Butiran (mm)	Parasitas (Perviousness) (n), %	Ks (m ³ /m ² /hari)
Coarse Sand	2	32	1000
Gravelly Sand	8	35	5000
Fine Gravel	16	38	7500
Medium Gravel	32	40	10000
Coarse Rock	128	45	100000

Sumber : USEPA, 1988

USEPA (1988) mengeluarkan acuan desain untuk *Constructed Wetland*. Langkah pertama adalah menghitung nilai K_T yang berguna untuk menentukan luas permukaan *Constructed Wetland*. K_T adalah konstanta temperatur yang diperoleh dari konversi nilai konstanta pada 20°C, disajikan pada persamaan (1).

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

K_T = konstanta temperatur (perhari)
 K_{20} = 1,104/hari
 T = temperatur air (°C)

Nilai K_T yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung waktu detensi (t) untuk penyisihan BOD serta luas permukaan dengan menggunakan rumus (2).

$$A_s = \frac{Q (\ln C_o - C_e)}{K_T d n} \quad (2)$$

A_s = luas permukaan Constructed Wetland (m²)
 Q = debit (m³/hari)
 C_e = effluent BOD (mg/l)
 C_o = influent BOD (mg/l)
 K_T = konstanta temperatur (/hari)
 d = kedalaman media (m)
 n = porositas media

Luas penampang melintang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3).

$$A_c = \frac{Q}{K_s S} \quad (3)$$

A_c = luas penampang Constructed Wetland (m²)
 Q = debit (m³/hari)
 K_s = Hydraulic conductivity (m³/m²/hari)
 S = Slope

Setelah diperoleh nilai A_c , lebar *Constructed Wetland* (W) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (4). Panjang *Constructed Wetland* (L) diperoleh dengan persamaan (5).

$$W = A_c / d \quad (4)$$

$$L = A_s / W \quad (5)$$

Setelah dimensi *Constructed Wetland* dan debit diketahui maka dapat dihitung waktu detensi (t) yang digunakan pada *Constructed Wetland* dengan menggunakan persamaan (6).

$$t = LWdn/Q \quad (6)$$

Dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem ini, ada tiga faktor yang mempengaruhi kinerja sistem.

1. Media

Media yang digunakan dalam reaktor secara umum dapat berupa tanah, pasir, kerikil, plastik, batu bata. Pada penelitian ini digunakan kerikil. Penggunaan kerikil sebagai media tanam tidak jauh berbeda dengan pasir.

Hanya saja, kerikil memiliki ruang antarbutir (parasitas, *perviousness*) yang lebih besar daripada pasir. Kerikil sering digunakan sebagai media untuk budi daya tanaman secara hidroponik. Penggunaan media ini akan membantu peredaran unsur hara dan udara serta tidak menekan pertumbuhan akar.

2. Vegetasi

Tanaman adalah komponen terpenting yang berfungsi sebagai pendaur ulang zat pencemar di dalam air limbah dan memasok oksigen ke dasar air atau ke dalam substrat yang berkondisi anaerobik. Tanaman menggunakan energi matahari untuk menggerakkan reaksi biokimia di dalam selnya sehingga tidak dibutuhkan aerator mekanis yang menggunakan listrik dalam proses pengolahan air limbah seperti yang terjadi pada teknologi konvensional. Fungsi tanaman air dalam pengolahan air limbah *Constructed Wetland* adalah: 1. Akar atau batang dalam air sebagai tempat tumbuh bakteri, sebagai media adsorpsi dan filtrasi. 2. Batang dan daun yang berada di permukaan air untuk mengurangi masuknya sinar matahari. Mencegah tumbuhnya alga. Mengurangi efek kecepatan angin di permukaan air. Transfer gas yang dihasilkan tanaman.

Fungsi lain tanaman ini adalah meningkatkan aktivitas bakteri di bagian akar. Sumber karbon bagi bakteri. Akar tanaman sebagai filter melepaskan oksigen di daerah perakaran (*rhizosphere*). Akar menyerap unsur hara yang terkandung dalam air limbah sehingga berfungsi sebagai pupuk bagi tanaman.

3. Mikroorganisme

Mikroba heterotrof aerobik selain mengurai air limbah juga mempertahankan konsentrasi oksigen di dalam air limbah dan mengurangi bau busuk. Untuk menunjang kehidupan mikroba ini diperlukan pengaturan jarak tanaman pada reaktor yang diharapkan agar tanaman mampu memberikan transfer oksigen yang cukup untuk mikroba yang hidup di permukaan media. Nitrogen dan karbon merupakan sumber energi bagi mikroba. Karbon digunakan untuk membentuk biomassa mikroba (C₅H₇O₂N).

Beberapa kemampuan *Constructed Wetland* dalam menyisihkan COD pada *Constructed Wetland* skala lapangan dan *pilot project* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kemampuan *Constructed Wetland* menyisihkan COD

Jenis Air Limbah	Sistem Pengolahan	Konsentrasi Awal (mg/l)	Penyisihan	Keterangan
Domestik	Vertikal	467	92%	CW Hofst Mohr, Jerman
Domestik	Horizontal, dengan <i>Pragmites</i>	393	98%	CW Germerswang, Jerman
Industri kentang	Kombinasi, dengan <i>Typha</i> , <i>Scirpus</i>	2.986	95%	Skala pilot project, 4 stage, USA
Leachate landfill	Horizontal, dengan <i>Pragmites</i>	1.264	68%	Skala pilot project, 2 stage, Slovenia
Limbah pertanian	Kombinasi, dengan <i>Pragmites</i>	1.465	97,6%	CW Rugeley, 4 stage UK
Domestik	Horizontal, dengan <i>Typha</i>	146	96,5%	1 stage & 3 kolom stabilisasi, Kenya
Limbah rumah sakit	Kombinasi, dengan <i>Pragmites</i>	768	95%	2 stage, Nepal
*Limbah, RPH, Tahu	HSF bersekat (td=5 hari), dengan <i>Sagittaria lancifolia</i>	106 - 128	81,82 - 84,38%	Skala lab, 2 stage, Dago Bandung

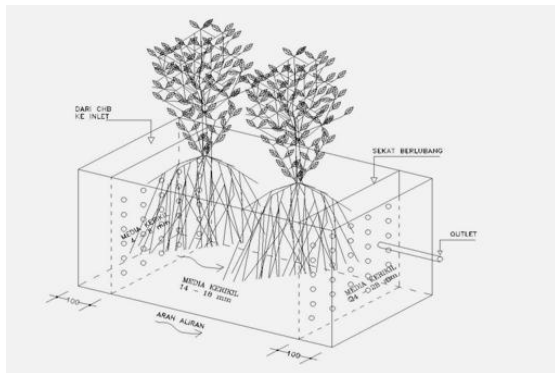
Sumber : Haberl, et.al., 1996, *Sonie, 2007

Penyumbatan (*clogging*) adalah masalah utama dalam *Constructed Wetland*. Apabila desain, pembuatan, pengoperasian dan perawatannya optimal, maka umurnya mencapai 15 - 20 tahun. Umur tersebut dipengaruhi oleh ukuran butir kerikil dan kualitas air limbah. Jika fungsinya menurun (*hydraulic conductivity*-nya turun), langkah yang harus dilakukan adalah:

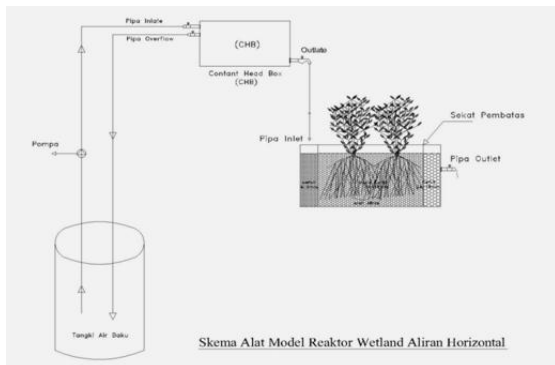
1. Istirahat, proses ini disebut "*resting*". Maka, dalam desain, lebih baik membagi reaktor menjadi beberapa bagian sehingga apabila bagian tertentu sedang "*resting*" maka bagian lain masih tetap berfungsi.
2. Selama proses *resting* tersebut berbagai elemen yang mengakibatkan penyumbatan dapat terdekomposisi sehingga *hydraulic conductivity* bisa meningkat lagi.
3. Apabila penurunan *hydraulic conductivity* disebabkan oleh tanah maka media harus dibongkar dan diganti. Utamakan penggantian di bagian inlet yang sering *clogging*.
4. Kepadatan tanaman juga perlu diperhatikan. Jika sudah padat maka perlu dikeluarkan atau dipanen untuk menghindari penyumbatan media dan penurunan suplai oksigen. (Rahayu, Setyowati, 2008)

METODOLOGI PENELITIAN

Disiapkan dua buah reaktor *Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland*. Reaktor A berisi tanaman *Vetiver sp.* dan reaktor B berisi tanaman *Typha latifolia*. Reaktor dibagi menjadi tiga kompartemen yang terdiri atas zona inlet, zona pengolahan, dan zona outlet. Panjang zona inlet dan outlet adalah 0,1 m. Panjang zona pengolahan adalah 0,34 m. Antara zona inlet, zona pengolahan, zona outlet dipasang sekat berlubang dengan diameter 1 cm. Zona outlet diisi kerikil diameter 24 - 28 mm. Zona pengolahan diisi kerikil diameter 14 - 18 mm dan tanaman. Zona outlet diisi kerikil diameter 4 - 8 mm dan dibuatkan lubang outlet pada ketinggian 25 cm dari dasar reaktor. Slope dasar reaktor adalah 1%.



Gambar 2. Model reaktor *Constructed Wetland* aliran horizontal
Sumber: Hasil desain



Gambar 3. Diagram Sistem *Constructed Wetland* aliran horizontal
Sumber: Hasil desain

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Zat organik di dalam air limbah bisa dinyatakan dalam COD, BOD₅ dan TKN. Konsentrasi awal COD = 168,5 mg/L, BOD₅ = 118,7 mg/L dan TKN = 33,44 mg/L. Konsentrasi tersebut relatif kecil karena air limbah sudah diolah di unit pengolah pendahuluan. Variasi debit (Q) yang diterapkan ialah Q₁ = 0,13 l/j dengan waktu tinggal 8 hari dan Q₂ = 0,43 l/j dengan waktu tinggal 2 hari. Angka tersebut didasarkan pada kalkulasi kriteria desain

pada sistem *Subsurface Flow Constructed Wetland*.

Efisiensi Penyisihan COD

Efisiensi penyisihan COD oleh tanaman *Typha latifolia* dan *Vetiver sp.* dengan variasi debit ditulis pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Efisiensi Penyisihan COD, Q₁ = 0,13 l/j

No.	Waktu (Hari)	Efisiensi COD (%)	
		<i>Typha latifolia</i>	<i>Vetiver sp</i>
1	8	76,12	76,83
2	16	81,56	81,56
3	24	84,63	86,76
4	32	87,00	89,36
5	40	87,71	90,07

Sumber : Hasil analisis

Tabel 5. Efisiensi Penyisihan COD, Q₂ = 0,43 l/j

No.	Waktu (Hari)	Efisiensi COD (%)	
		<i>Typha latifolia</i>	<i>Vetiver sp</i>
1	2	60,99	60,04
2	4	63,59	62,64
3	6	65,72	65,95
4	8	66,90	68,08
5	10	67,61	68,32

Sumber : Hasil analisis

Efisiensi penyisihan COD oleh *Typha latifolia* pada debit Q₁ = 0,13 l/j mencapai 87,71% dan oleh *Vetiver sp* pada Q₁ = 0,13 l/j mencapai 90,07%. Pada Q₂ = 0,43 l/j efisiensi penyisihan COD oleh *Typha latifolia* sebesar 67,61% dan oleh *Vetiver sp.* sebesar 68,32%. Ini menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan COD bergantung pada konsentrasi dan waktu detensi di dalam *Wetland*. Permeabilitas atau parasitas (perviousness, bukan porositas /porosity) media mempengaruhi waktu detensi air limbah. Kecukupan waktu detensi memberikan kesempatan kepada mikroorganisme untuk kontak dan mendegradasi zat organik di dalam air limbah. Hasil degradasi ini adalah senyawa yang lebih sederhana sehingga mampu dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai nutrisi. Fenomena filtrasi dan sedimentasi juga mempengaruhi efisiensi penyisihan COD.

Efisiensi Penyisihan BOD₅

Efisiensi penyisihan BOD₅ oleh *Typha latifolia* dan *Vetiver sp.* Ditampilkan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Efisiensi BOD₅, Q₁ = 0,13 l/j

No.	Waktu (Hari)	Efisiensi BOD ₅ (%)	
		<i>Typha latifolia</i>	<i>Vetiver sp</i>
1	8	79,86	81,91
2	16	85,60	87,08
3	24	88,00	89,66
4	32	89,85	90,67
5	40	90,00	91,69

Sumber : Hasil analisis

Tabel 7. Efisiensi BOD₅, Q₂ = 0,43 l/j

No.	Waktu (Hari)	Efisiensi BOD ₅ (%)	
		<i>Typha latifolia</i>	<i>Vetiver sp</i>
1	2	66,54	65,98
2	4	68,75	68,01
3	6	70,23	70,6
4	8	71,15	72,91
5	10	71,7	73,29

Sumber : Hasil analisis

Efisiensi penyisihan BOD₅ oleh *Typha latifolia* pada Q₁ = 0,13 l/j mencapai 90,00% dan oleh *Vetiver sp* pada Q₁ = 0,13 l/j mencapai 91,69%. Pada Q₂ = 0,43 l/j, efisiensi oleh *Typha latifolia* turun menjadi 71,7% dan oleh *Vetiver sp* menjadi 73,29%. Ini menunjukkan bahwa waktu detensi berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi BOD₅. Zona aerobik terjadi di sekitar akar dan *rhizome* yang mengandung oksigen (Vymazal et.al. 2008 dalam Khatuddin, 2010). Dengan banyaknya konsentrasi oksigen di dalam media, maka jumlah mikroba pun semakin banyak sehingga pengolahan menjadi lebih baik. Tanaman juga dapat membantu proses sedimentasi. Tanaman akan mengurangi kecepatan air sehingga menyebabkan pengendapan dan partikel akan menempel pada permukaan biofilm pada tanaman.

Efisiensi total nitrogen (TKN)

Efisiensi penyisihan TKN oleh *Typha latifolia* dan *Vetiver sp*. Dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Efisiensi penyisihan TKN, Q₁ = 0,13 l/j

No.	Waktu (Hari)	Efisiensi total nitrogen (TKN) (%)	
		<i>Typha latifolia</i>	<i>Vetiver sp</i>
1	8	83,13	82,92
2	16	85,94	84,99
3	24	88,76	88,76
4	32	91	91,57
5	40	91,27	92,01

Sumber : Hasil analisis

Tabel 9. Efisiensi Penyisihan TKN, Q₂ = 0,43 l/j

No.	Waktu (Hari)	Efisiensi total nitrogen (TKN) (%)	
		<i>Typha latifolia</i>	<i>Vetiver sp</i>
1	2	53,5	53,68
2	4	55,56	56,01
3	6	59,3	60,71
4	8	61,18	62,11
5	10	61,54	62,68

Sumber : Hasil analisis

Efisiensi penyisihan TKN oleh *Typha latifolia* pada Q₁ = 0,13 l/j mencapai 91,27% dan oleh *Vetiver sp* pada Q₁ = 0,13 l/j mencapai 92,01%. Pada Q₂ = 0,43 l/j efisiensi oleh *Typha latifolia* turun menjadi 61,54% dan oleh *Vetiver sp* turun menjadi 62,68%. Waktu detensi berpengaruh pada kemampuan tanaman dalam mengolah total nitrogen (TKN). Untuk meningkatkan efisiensi penyisihan nitrogen, oksigen dibutuhkan oleh mikroba dalam proses nitrifikasi. Aerasi *rhizosphere* dari tanaman menstimulus proses dekomposisi, meningkatkan nitrifikasi dan denitrifikasi.

Penurunan konsentrasi pada reaktor uji terjadi ketika pencemar memasuki *Constructed Wetland*. Bakteri yang ingin memperoleh energi akan menguraikan zat pencemar seperti senyawa organik menjadi unsur yang lebih sederhana dan dapat diserap oleh tanaman. Bakteri aerob menguraikan zat organik menggunakan oksigen dan menghasilkan air, karbondioksida dan energi. Sementara bakteri anaerob menggunakan ion nitrat dan sulfat untuk menguraikan zat organik dan hasil yang diperoleh adalah karbondioksida, energi, gas nitrogen bagi bakteri yang menggunakan ion nitrat, atau gas asam sulfida bagi bakteri yang menggunakan ion sulfat. Penguraian bahan organik oleh bakteri *rhizosphere* yang berada pada akar tanaman kemudian dimanfaatkan tanaman untuk fotosintesis.

Tanaman dalam reaktor menjadi tempat melekatnya bakteri terutama di akar. Tanaman dapat mentransfer oksigen yang dihasilkan dari fotosintesis yang terjadi di bagian daun ke akar. Tanaman dapat mencegah terjadinya pertumbuhan alga yang pesat. Tanaman juga dapat memperlambat aliran air sehingga terjadi proses sedimentasi. Tanaman hidrofita ini mampu mengisap oksigen dari udara melalui daun, akar dan *rhizome* yang kemudian dilepaskan kembali pada daerah sekitar perakaran (*rhizosphere*). Ini terjadi karena jenis tanaman air memiliki ruang antarsel atau lubang saluran udara sebagai alat transportasi oksigen dari udara ke akar.

Dapat dilihat bahwa terjadi saling ketergantungan antara tanaman dan mikroba. Untuk fotosintesisnya, tanaman

memerlukan karbondioksida dan air yang dihasilkan dari respirasi mikroba. Sebaliknya mikroba memerlukan karbohidrat dan oksigen dari hasil fotosintesis untuk menguraikan zat organik. Simbiosis mutualisme di dalam satu unit pengolah air limbah.

Secara umum bisa disebutkan bahwa penurunan konsentrasi COD, BOD₅ dan total nitrogen (TKN) pada Q₁ = 0,13 l/j berkisar antara 80% - 90% dan pada Q₂ = 0,43 l/j berkisar antara 50% - 70%. Artinya, reaktor *Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland* mampu dan layak digunakan dalam mengolah air limbah rumah sakit.

KESIMPULAN

1. Efisiensi penyisihan COD pada tanaman *Typha latifolia* Q₁ = 0,13 l/j sebesar 87,71% dan tanaman *Vetiver sp* Q₁ = 0,13 l/j sebesar 90,07%, sedangkan pada Q₂ = 0,43 l/j terjadi penurunan efisiensi untuk tanaman *Typha latifolia* sebesar 67,61% dan tanaman *Vetiver sp* sebesar 68,32%.
2. Efisiensi penyisihan BOD₅ pada tanaman *Typha latifolia* Q₁ = 0,13 l/j sebesar 90,00% dan tanaman *Vetiver sp* Q₁ = 0,13 l/j sebesar 91,69%, sedangkan pada Q₂ = 0,43 l/j terjadi penurunan efisiensi untuk tanaman *Typha latifolia* sebesar 71,7% dan tanaman *Vetiver sp*. sebesar 73,29%.
3. Efisiensi penyisihan total nitrogen (TKN) pada tanaman *Typha latifolia* Q₁ = 0,13 l/j sebesar 91,27% dan tanaman *Vetiver sp*. Q₁ = 0,13 l/j sebesar 92,01%, sedangkan pada Q₂ = 0,43 l/j terjadi penurunan efisiensi untuk tanaman *Typha latifolia* sebesar 61,54% dan tanaman *Vetiver sp*. sebesar 62,68%.
4. *Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland* mampu dan layak digunakan untuk mengolah air limbah rumah sakit.

DAFTAR PUSTAKA

- Crites, Ron, Tchobanoglous. (1998). *Small and Decentralized Wastewater Management System*. Mc.Graw-Hill Inc. New York.
- Haberl, Perfler, Laber, Cooper. (1996). *Wetland Systems for Water Pollution Control*, Pergamon Press, UK.
- Kadlec, R. H., Knight. (1996). *Treatment Wetlands*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Khiatuddin, M. (2010). *Melestarikan Sumber Daya Air dengan Teknologi Rawa Buatan*. Edisi Kedua, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Kamariah, S (2006). *Subsurface Flow and Free Water Surface Flow Constructed Wetland with Magnetic Field for Leachate Treatment*. Tugas Akhir Teknik Sipil – Universiti Teknologi Malaysia.
- Rahayu, Setyowati, (2008). *Kimia Industri*. Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah. Departemen Pendidikan Nasional.
- Sonie, Rakhmi. (2007). *Pengolahan Efluen ABR (Anaerobic Buffled Reactor) Dengan Rekayasa Aliran Pada Constructed Wetland*. Tugas Akhir Teknik Lingkungan ITB.
- Tchobanoglous, et.al., (2003), *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, McGraw-Hill, New York.
- Tchobanoglous, et.al, (1991), *Wastewater Engineering: Treatment and Disposal*, McGraw-Hill, New York.
- U.S. EPA (1988). *Design Manual Constructed Wetlands for Municipal Wastewater Treatment*, US EPA CERL, Cincinnati, OH