

Desain Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Berbasis Tumbuhan Air Hias, *Horizontal Sub Surface Flow Constructed Wetland*

Abdul Gani Akhmad¹, Rosmiaty Arifin², Iwan Setiawan Basri³

Jurusan Teknik Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Tadulako Palu.

Email : gani9367@yahoo.co.id

ABSTRAK

Studi ini bertujuan mengevaluasi kinerja *Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetland* (HSSF-CW) skala percontohan yang memanfaatkan tumbuhan air hias *Typha angustifolia* dan media pasir-kerikil halus dalam menyisihkan total coliform dan TSS dari air limbah rumah sakit. Tiga cell HSSF-CW skala percontohan berukuran 1.00 x 0.45 x 0.35 m³ diisi media pasir kerikil berdiameter 5 – 8 mm setinggi 35 cm dengan kedalaman media terendam 0.30 m. Terdapat 3 perlakuan yakni cell pertama (CW1) tanpa tanaman, cell kedua (CW2) ditanami dengan kerapatan 12 tanaman *Typha angustifolia*, dan cell ketiga (CW3) ditanami dengan kerapatan 24 tanaman *Typha angustifolia*. Ketiga cell HSSF-CW menerima beban air limbah yang sama dengan kandungan total coliform dan TSS masing-masing 91000 MPN/100 mg dan 53 mg/L dengan Laju Pemuatan Hidrolik 3.375 m³ per hari. Air limbah diresirkulasi secara kontinyu untuk mencapai ekuivalen kebutuhan luasan ideal HSSF-CW. Hasil eksperimen menunjukkan kinerja CW3 lebih efisien dibanding CW1 dan CW2 dalam penyisihan total coliform dan TSS air limbah rumah sakit. Efisiensi penyisihan polutan pada CW3 mencapai 91.76% untuk total coliform dengan waktu retensi hidrolik 1 hari serta 81.00% untuk TSS dengan waktu retensi hidrolik 2 hari. Kesimpulan penelitian ini adalah sistem HSSF-CW yang menggunakan media pasir-kerikil berdiameter 5 – 8 mm dengan kedalaman media terendam 0.30 m dan ditanami tumbuhan air hias *Typha angustifolia* dengan jarak tanam lebih rapat terbukti lebih efisien dalam menyisihkan total coliform dan TSS dari air limbah rumah sakit.

Kata Kunci : *constructed wetland*, *Typha angustifolia*, media pasir-kerikil, air limbah rumah sakit.

PENDAHULUAN

Kehadiran rumah sakit dengan kompleksitas kegiatannya diharapkan tidak menambah beban negatif berupa pencemaran lingkungan. Di dalam Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 7 Tahun 2019 telah diatur tentang keharusan rumah sakit memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan hasil pengolahan air limbah yang memenuhi standar kualitas. Faktanya, beberapa hasil peneliti melaporkan rendahnya kinerja IPAL beberapa rumah sakit di Indonesia (Mallongi, 2018; Harlisty, Akili, & Kandou, 2016; Amouei *et al.*, 2015; Kusuma, Yanuwadi, & Laksono, 2013; Amouei *et al.*, 2012; Rahmawati & Azizah, 2005). Kinerja IPAL rumah sakit di Palu juga dilaporkan rendah, dimana konsentrasi total coliform dan TSS dari efluen IPAL rumah sakit masih melampaui standar kualitas (Akhmad *et al.*, 2020).

Penelitian, pengembangan, dan penerapan teknologi pengolahan air limbah berbasis tumbuhan air, *Constructed Wetland* (CW), saat ini mendapat perhatian di negara-negara maju dan berkembang. CW adalah ekosistem buatan yang dirancang dengan memanfaatkan interaksi yang kompleks antara media pendukung, makrofit, dan mikroorganisme

untuk mengolah hampir semua jenis air limbah. CW dianggap sebagai teknik hijau dan berkelanjutan yang membutuhkan input energi lebih rendah, biaya operasional dan pemeliharaan lebih sedikit dan menambah nilai estetika (Kumar and Dutta, 2019). CW tipe *Horizontal Sub Surface Flow* (HSSF-CW) lebih sesuai untuk rumah sakit karena kelebihanannya dapat dijadikan taman. Indonesia dengan iklimnya yang tropis, berbagai jenis tumbuhan air tumbuh subur sepanjang tahun (Noor, 2007), oleh karena itu HSSF-CW berpeluang dijadikan teknologi alternatif pengolahan air limbah rumah sakit di Indonesia.

Horizontal Sub Surface Flow Constructed Wetland (HSSF-CW) biasanya menghasilkan efluen yang rendah bahan organik dan padatan tersuspensi. Namun untuk penyisihan *E. coli*, sistem ini cocok dikombinasikan dengan teknologi lain, seperti desinfeksi klorin atau ultra-violet (Headley *et al.*, 2013), hanya saja praktek didesinfeksi dengan bahan kimia seperti klorin dapat menciptakan masalah kesehatan dan ekologi lebih lanjut karena pembentukan trihalometana (Toscano *et al.*, 2013), juga desinfeksi UV tidak selalu sesuai untuk desinfeksi limbah dari HSSF-CW karena perkembangan lapisan seperti biofilm pada bola

lampu dapat menghalangi sinar UV (Richter and Weaver, 2003). Sebuah HSSF-CW modifikasi yang dikembangkan oleh Headley *et al.* (2013) yang menggunakan media kerikil 8-16 mm dengan kedalaman 1.00 m yang ditambahkan aerasi buatan terbukti mampu secara konsisten mengurangi konsentrasi E. coli ke tingkat yang sangat rendah, hanya saja pada tingkat pemuatan yang relatif tinggi dibutuhkan masukan listrik yang besar untuk menggerakkan pompa udara. Meningkatnya penyisihan Fecal Coliform pada filter aerasi mungkin disebabkan oleh kondisi aerobik yang memungkinkan protozoa yang hidup bebas dan predator lain menjadi aktif bahkan di musim dingin, meskipun mekanisme penyisihan lain, seperti kompetisi, sedimentasi, filtrasi, dan proteolisis mungkin juga terjadi (Mara & Johnson, 2006). Adapun strategi yang dilakukan pada penelitian ini untuk mengoptimalkan kondisi aerobik pada HSSF-CW adalah dengan memaksimalkan peran akar tumbuhan air hias *Typha angustifolia*, menggunakan media pasir kerikil sungai yang lebih halus dengan diameter 5 - 8 mm, dan kedalaman media yang terendam dibatasi 0.30 m.

Tumbuhan air hias *Typha angustifolia* memiliki kemampuan untuk mengembangkan aerenkim di korteks akarnya dan melepaskan oksigen sehingga konsentrasi oksigen terlarut meningkat di rizosfer bahkan dalam kondisi stres, yang memfasilitasi degradasi polutan secara aerobik (Pincam and Jampeetong, 2020). Akar tanaman air mengeluarkan eksudat untuk menciptakan lingkungan yang tidak sesuai untuk kelangsungan hidup patogen (Fabiana F Avelar *et al.*, 2014), juga bertindak sebagai media filter dan mengurangi kecepatan air sehingga meningkatkan sedimentasi (Saeed and Sun, 2012), dimana sekitar 10–50% E. coli ditemukan terasosiasi dengan partikel > 5 µm dalam air limbah (Boutilier *et al.*, 2009). Pengaruh media yang lebih halus sangat signifikan terhadap penyisihan TC, E. coli, dan EF (Morató *et al.*, 2014), juga memberikan kondisi kondusif untuk pertumbuhan akar. Kedalaman media yang terendam dibatasi 0.30 m dengan pertimbangan disesuaikan kedalaman yang umumnya mampu ditembus akar *Typha angustifolia*, dengan demikian zona anaerobik bisa diminimalkan dan zona aerobik menjadi optimal pada cell HSSF-CW tanpa harus menggunakan pompa udara.

Penelitian ini bertujuan mengkaji kinerja HSSF-CW skala percontohan yang memanfaatkan tumbuhan air hias *Typha angustifolia* dan media pasir-kerikil berdiameter 5 – 8 mm dalam

menghilangkan Total Coliform dan TSS dari air limbah rumah sakit, dengan target hasil pengolahan memenuhi standar Peraturan Menteri LHK No. P.68/MENLKH-SETJEN/2016 dengan waktu retensi hidrolik yang lebih singkat.

METODE

Lokasi Sumber Air Limbah yang Digunakan pada Eksperimen

Air limbah yang digunakan pada eksperimen ini bersumber dari inlet IPAL salah satu rumah sakit umum di Palu, yang terletak di 0°53'57,38"S, 119°50'52,63"E pada ketinggian kurang lebih 100 m dpl, area dengan curah hujan tahunan kurang dari 1000 mm dan suhu rata-rata tahunan 27°C ("Palu, Indonesia Travel Weather Averages". *Weatherbase*. Diakses tanggal 4 Agustus 2020).

2.2 Desain dan Pengaturan Eksperimental

Tersedia tiga cell HSSF-CW berbahan fiber glass dengan dimensi panjang (L) 1.00 m, lebar (W) 0.45 m, dan tinggi (h) 0.35 m. Kemiringan dasar cell (S) dibuat 0.005. Kedalaman media yang dibasahi (d) 0.30 m. Menurut USEPA (1993), media pasir kerikil dengan diameter 5 - 8 mm memiliki nilai porositas (n) dan konduktivitas hidrolik (K_s) masing-masing 0.35 dan 5000 m³/m²/h. Dengan menggunakan (Persamaan 1), diperoleh laju pemuatan hidrolik (Q) maksimum yang bisa dibebankan pada HSSF-CW adalah 3.375 m³/h.

Luas permukaan sistem HSSF-CW (A_s) ditetapkan berdasarkan waktu retensi hidrolik (t) sama dengan 1 untuk memudahkan perhitungan. Dengan menggunakan (Persamaan 2) maka diperoleh nilai A_s sama dengan 32 m². Luas permukaan cell CW percontohan yang ada hanya 0.45 m². Oleh karena itu untuk mencapai equivalen luas 32 m², maka efluen harus disirkulasi kembali ke tangki influen secara kontinyu.

$$Q = A_c \cdot K_s \cdot S$$

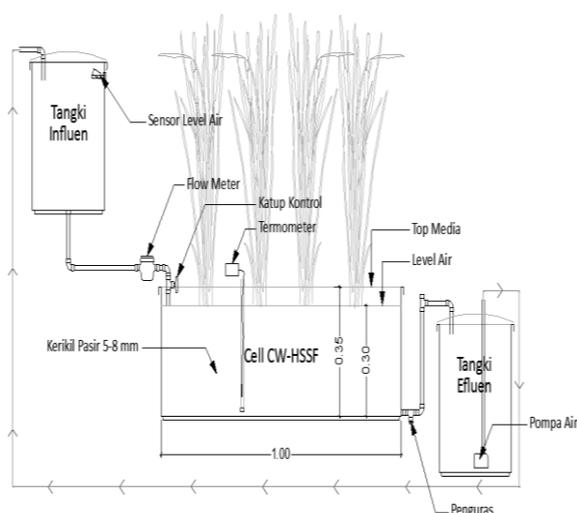
$$A_s = \frac{Q \cdot t}{d \cdot n}$$

Dimana, Q: Laju Pemuatan Hidrolik (m³/d); A_c : Luas Penampang CW (m²); K_s : Konduktivitas Hidrolik (m³/m²/hari), dan; S: Kemiringan Dasar Cell; A_s : Luas Permukaan CW (m²); t: Waktu Retensi Hidrolik (hari); d: Kedalaman Media yang Dibasahi (m), dan; n: Porositas Media.

Deskripsi Pengaturan Eksperimental dan Konstruksi

Pengaturan eksperimen seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Tersedia tiga cell CW skala

percontohan dengan perlakuan berbeda, semuanya diisi media pasir kerikil 5 – 8 mm setinggi 0.35 m dengan kedalaman media yang terendam 0.30 m. Cell pertama (CW1) tanpa ditanami, cell kedua (CW2) ditanami dengan kerapatan 12 tanaman *Typha angustifolia*, dan cell ketiga (CW3) ditanami dengan kerapatan 24 tanaman *Typha angustifolia*. Setiap unit HSSF-CW terdiri dari tiga komponen: komponen pertama berupa tangki penampungan influen yang dilengkapi pipa distribusi, sensor level air, flow meter, dan katup kontrol debit. Influen dialirkan secara gravitasi melalui pipa distribusi ke inlet cell CW dengan debit dikendalikan maksimum 3.375 m³/h; Komponen kedua berupa cell CW sebagai tempat berlangsungnya proses pengolahan yang dilengkapi pengukur suhu air. Pipa inlet cell CW diletakkan pada ketinggian 0.30 m dari dasar cell, sedangkan pipa outlet diletakkan pada dasar cell CW dengan ujungnya ditinggikan 0.30 m untuk menjaga konsistensi ketinggian permukaan air pada cell CW. Di dalam cell CW, influen mengalir perlahan melalui media pasir-kerikil dalam jalur yang kurang lebih horizontal hingga mencapai zona outlet; Komponen ketiga berupa tangki penampungan efluen. Pada tangki penampungan efluen dilengkapi pompa air untuk mensirkulasi kembali efluen ke tangki influen secara kontinyu. Pompa air tersebut dilengkapi dengan *switch on-off* yang disambungkan ke sensor level air di tangki influen.



Gambar 1. Skema Pengaturan Unit HSSF-CW skala percontohan

Pengoperasian HSSF-CW

Pengoperasian HSSF-CW dilakukan dengan prosedur: 1) Material pasir-kerikil diayak menggunakan wire mash 4 mm dan 6 mm untuk mendapatkan media pasir-kerikil dengan butiran 5 –

8 mm, dicuci bersih, kemudian diisi ke cell CW setinggi 0.35 m; 2) Komponen unit HSSF-CW dipasang dan disetting. Katup kontrol diatur dengan debit air keluar maksimum 3.375 m³/h; 3) Dilakukan pengetesan unit HSSF-CW untuk memastikan semua komponen sistem berfungsi dengan baik. Pengetesan ini menggunakan air kran; 4) *Typha angustifolia* dikumpulkan dari populasi alami yang tumbuh secara lokal, ditanam pada cell CW dengan aplikasi pupuk NPK secara berkala; 5) Proses aklimatisasi dilakukan selama 2 minggu, dan; 5) Eksperimen utama dilakukan, air kran pada unit HSSF-CW dikuras habis kemudian air limbah rumah sakit diisi sampai tangki influen dan cell CW penuh. Sistem HSSF-CW mulai dioperasikan dengan membuka katup pada tangki influen.

Pengambilan Sampel dan Analisis Sampel

Pengambilan sampel efluen di masing-masing unit HSSF-CW dilakukan setiap hari pada jam 09.00 pagi selama 1 minggu. Sampel diambil dan disimpan pada botol plastik 1000 ml untuk analisis lab TSS dan DO serta botol kaca steril 500 mL untuk analisis lab total coliform. Uji laboratorium TSS dan DO dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik dan Lingkungan Universitas Tadulako Palu. Adapun uji laboratorium total coliform dilakukan di Laboratorium Pendidikan Biologi PMIPA Universitas Tadulako Palu. Pengukuran suhu dan pH sampel diukur di tempat menggunakan termometer digital dan pH-meter pen.

Analisis Data Statistik

Analisis data dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel XP versi 2013. Kinerja penyisihan polutan dari HSSF-CW dihitung dari Persamaan (3)

$$E = \frac{(C_{in} - C_{out})}{C_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana, *E*: Efisiensi sistem HSSF-CW; *C_{in}*: Parameter air limbah sebelum perlakuan, dan; *C_{out}*: Parameter air limbah setelah perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Air Limbah yang Digunakan pada Eksperimen

1. TSS dan Total Coliform

Hasil uji laboratorium menunjukkan konsentrasi total coliform dan TSS air limbah yang digunakan pada eksperimen ini tercatat tinggi dengan nilai masing-masing 91000 MPN/100 ml dan 53 mg/L (Tabel 1), namun nilai tersebut masih lebih rendah jika dibandingkan dengan konsentrasi rata-rata total coliform dan TSS pada periode sebelumnya (Tabel 2).

Menurunnya konsentrasi Total coliform dan TSS saat ini kemungkinan karena kegiatan di rumah sakit atau kunjungan pasien berkurang akibat pandemi Covid-19.

Tabel 1. Konsentrasi TSS dan Total Coliform Air Limbah yang Digunakan pada Eksperimen

| Parameter | Konsentrasi | Standar |
|----------------|-------------|---------|
| Total Coliform | 91000 | 3000 |
| TSS (mg/L) | 53 | 30 |

Sumber: Hasil Uji Laboratorium September 2020

Tabel 2. Konsentrasi TSS dan Total Coliform Air Limbah Inlet Rumah Sakit Periode 2015-2019

| Parameter | Konsentrasi Rata-Rata | | | | | Standar |
|------------|-----------------------|------|------|------|------|---------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | |
| Total | 1308 | 1401 | 2133 | 4500 | 2163 | 3000 |
| TSS (mg/L) | 126 | 59 | 85 | 145 | 147 | 30 |

Sumber: Akhmad (2020)

2. Suhu dan pH

Air limbah yang digunakan pada eksperimen ini memiliki suhu 30.8 °C dan pH 7.7 (Tabel 3). Menurut standar, suhu yang disyaratkan paling tinggi 38 °C dan pH pada kisaran 6 - 9.

Selama proses eksperimen berjalan, kondisi suhu air pada perlakuan CW1, CW2, dan CW3 cenderung stabil pada kisaran rata-rata 29.6 – 30.1 °C. Namun, kondisi pH air berbeda antara perlakuan CW1, CW2, dan CW3, dimana pada CW1 terjadi peningkatan pH air rata-rata 8.2, CW2 rata-rata 7.8, dan CW3 cenderung stabil pada pH 7.7 dari kondisi pH awal 7.7. Peningkatan pH air pada perlakuan CW1 kemungkinan karena pengaruh penggunaan media pasir-kerikil yang berbahan batu kapur yang sifatnya basa. Adapun nilai pH pada CW2 dan CW3 yang cenderung stabil pada pH awal 7.7 kemungkinan dinetralkan oleh akar tanaman, karena uji coba parsial yang dilakukan dengan merendam akar *Typha angustifolia* dengan sampel air yang sama tanpa media pasir-kerikil didapatkan pH air 7,4. Faktor pH penting pada sistem HSSF-CW dimana nutrisi lebih mudah untuk diserap oleh akar tanaman pada kisaran pH netral oleh karena pada kisaran pH tersebut kebanyakan unsur nutrisi larut dalam air.

3. BOD, COD, DO, dan Amonia

Komponen organik (BOD, COD), amonia nitrogen, dan oksigen terlarut (DO) pada sampel air limbah rumah sakit yang digunakan pada eksperimen ini, konsentrasinya tidak ada yang

melampaui standar (Tabel 4). Namun keberadaan komponen organik, nutrisi, dan oksigen terlarut tersebut tidak harus nihil karena dibutuhkan oleh tanaman dan mikroorganisme untuk kelangsungan proses pengolahan dalam sistem HSSF-CW.

Rasio BOD/COD dari air limbah rumah sakit yang digunakan pada eksperimen ini adalah 0.35. Menurut Metcalf, Eddy and Tchobanoglous (2004) bahwa Rasio BOD/COD 0.5 atau lebih besar menunjukkan bahwa organik mudah terdegradasi, sedangkan rasio di bawah 0.3 menunjukkan bahwa organik yang tersedia sulit didegradasi oleh mikroorganisme. Dengan demikian, bahan organik dari air limbah rumah sakit yang digunakan pada eksperimen ini cenderung sulit didegradasi oleh mikroorganisme.

Tabel 3. Konsentrasi BOD, COD, DO, dan Amonia Air Limbah Rumah Sakit yang Digunakan pada Eksperimen

| Parameter | Konsentrasi | Standar |
|---------------|-------------|---------|
| BOD (mg/L) | 22.70 | 30 |
| COD (mg/L) | 65.25 | 100 |
| DO (mg/L) | 3.77 | |
| Amonia (mg/L) | 1.00 | 10 |

Sumber: Hasil Analisis Laboratorium, September 2020

Hasil analisis laboratorium menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi oksigen terlarut (DO) yang relatif sama untuk perlakuan CW1, CW2, dan CW3 dengan kisaran rata-rata 4.93 – 5.03 mg/L dari kondisi DO awal 3.77 mg/L (Tabel 5). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan DO bukan semata-mata karena pengaruh oksigen yang dilepaskan oleh akar tanaman. Akan tetapi kemungkinan lebih disebabkan oleh difusi oksigen atmosfer (Cooper, Job and Green, 1996). Difusi oksigen atmosfer bisa terjadi karena proses resirkulasi air limbah secara kontinyu dan dangkalnya air pada HSSF-CW.

Tabel 4. Konsentrasi DO dan Amonia Air Tritismen HSSF-CW Menurut Perlakuan dan Waktu Retensi Hidrolik

| Waktu Retensi (hari) | DO (mg/L) | | | Amonia (mg/L) | | |
|----------------------|-----------|------|------|---------------|------|------|
| | CW1 | CW2 | CW3 | CW1 | CW2 | CW3 |
| Awal | 3.77 | 3.77 | 3.77 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 1 | 5.15 | 5.39 | 5.09 | 1.10 | 1.10 | 1.20 |
| 2 | 4.93 | 5.04 | 5.00 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 3 | 4.91 | 5.00 | 4.81 | 1.30 | 1.20 | 1.20 |
| 5 | 5.21 | 5.22 | 5.24 | 1.30 | 1.30 | 1.20 |
| 7 | 4.45 | 4.87 | 5.00 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| Rata-Rata | 4.93 | 5.10 | 5.03 | 1.22 | 1.20 | 1.20 |

Sumber: Hasil Pengamatan September 2020

Hasil pengamatan juga menunjukkan terjadi peningkatan konsentrasi amonia yang relatif sama pada perlakuan CW1, CW2, dan CW3 dengan kisaran rata-rata 1.20 – 1.22 mg/L dari kondisi amonia awal

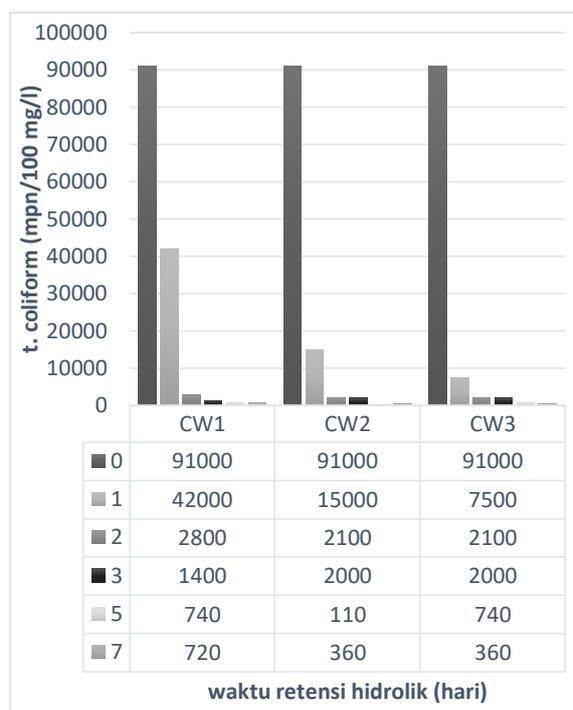
1.00 mg/L (Tabel 5). Adanya peningkatan konsentrasi amonia tersebut menunjukkan bahwa kinerja CW1, CW2, dan CW3 buruk dalam penyisihan amonia. Literatur saat ini menunjukkan kinerja sistem HSSF-CW sering menunjukkan tingkat penyisihan nitrogen yang buruk (Vymazal *et al.*, 2005). Kurangnya organik *biodegradable* sering menghalangi metabolisme denitrifikasi klasik (karena ketergantungan pada karbon organik) dalam sistem CW (Lavrova and Koumanova, 2010). Juga media pasir-kerikil yang umum diterapkan di CW tidak menghasilkan karbon, sehingga sering membatasi denitrifikasi (Saeed and Sun, 2012).

Evaluasi Kinerja HSSF-CW pada Penyisihan Total Coliform dan TSS

1. Efisiensi Penyisihan Total Coliform

Penyisihan total coliform pada ketiga perlakuan menunjukkan tren menurun (Gambar2). Baik CW1, CW2, ataupun CW3 membutuhkan waktu retensi hidrolis 2 hari untuk mencapai konsentrasi total coliform lebih kecil dari standar 3000 MPN/100 mg. Namun kinerja CW3 masih lebih efisien dibanding CW1 dan CW2, karena CW3 bisa mencapai efisiensi 91.76% dengan waktu retensi hidrolis 1 hari (Tabel 6). Karathanasis, Potter and Coyne, (2003) melaporkan bahwa rupanya akar tanaman memberikan media filtrasi yang lebih efektif daripada kerikil saja.

Sejumlah investigasi telah dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh tanaman terhadap penyisihan bakteri indikator di CW. Dalam sebagian besar investigasi tentang HSSF-CW, tanaman air terbukti secara positif mendorong kinerja penyisihan bakteri indikator. Namun, tidak jelas apakah hal ini disebabkan oleh pengaruh tanaman pada sistem hidrolis atau penyebab lain, seperti peningkatan ketersediaan luas permukaan pada akar tanaman (Kansiime and van Bruggen, 2001), atau eksudat akar yang dilepaskan oleh spesies tanaman yang mengandung aktivitas bakterisidal (Tunçsiper, Ayaz and Akça, 2012). Pelepasan eksudat antimikroba mungkin tidak hanya menjadi racun bagi mikroorganisme patogen, tetapi juga mengubah lingkungan fisik dan kimia dari rhizosfer dan menyebabkannya tidak sesuai untuk kelangsungan hidup patogen (Fabiana F. Avelar *et al.*, 2014).



Gambar 2. Nilai Penyisihan Total Coliform pada HSSF-CW Menurut Perlakuan dan Waktu Retensi Hidrolis

Tabel 5. Efisiensi Penyisihan Total Coliform HSSF-CW Menurut Perlakuan dan Waktu Retensi Hidrolis

| Efisiensi Penyisihan Total Coliform (%) | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 hari | 2 hari | 3 hari | 5 hari | 7 hari |
| | 53.85 | 96.92 | 98.46 | 99.19 | 99.21 |
| | 83.52 | 97.69 | 97.80 | 99.88 | 99.60 |
| | 91.76 | 97.69 | 97.80 | 99.19 | 99.60 |

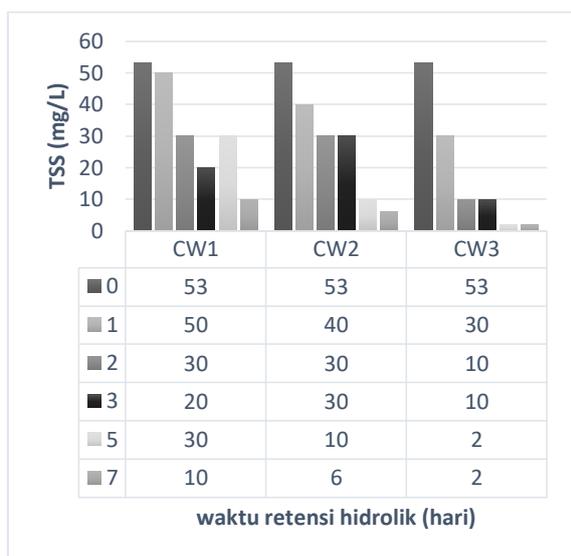
Sumber: Hasil Analisis Efisiensi Penyisihan Total Coliform

2. Efisiensi Penyisihan TSS

Penyisihan TSS pada ketiga perlakuan umumnya menunjukkan tren menurun menurut waktu retensi hidrolis (Gambar 3). Untuk mereduksi TSS hingga mencapai konsentrasi lebih kecil dari standar 30 mg/L, CW1, CW2, dan CW3 masing-masing membutuhkan waktu retensi hidrolis 3, 4, dan 2 hari (Gambar 3). Kinerja CW3 masih lebih efisien dibanding C1 dan CW2 karena efisiensi penyisihan TSS pada CW3 bisa mencapai 81.00% dengan waktu retensi hidrolis 2 hari (Tabel 7). Tingginya efisiensi penyisihan TSS pada CW3 kemungkinan karena faktor akar tanaman yang lebih rapat.

Karathanasis, Potter, and Coyne (2003) melaporkan bahwa rupanya akar tanaman memberikan media filtrasi yang lebih efektif daripada kerikil saja, sekaligus meningkatkan luas permukaan perlekatan dan sumber makanan bagi populasi mikroorganisme. Saeed and Sun (2011) juga

melaporkan bahwa jaringan tumbuhan di dalam air juga bertindak sebagai media filter, mengeluarkan oksigen, dan mengurangi kecepatan air sehingga meningkatkan sedimentasi.



Gambar 3. Nilai Penyisihan TSS pada HSSF-CW Menurut Perlakuan dan Waktu Retensi Hidrolik

Tabel 6. Efisiensi Penyisihan TSS HSSF-CW Menurut Perlakuan dan Waktu Retensi Hidrolik

| Perlakuan | Efisiensi Penyisihan TSS (%) Menurut Waktu Retensi Hidrolik | | | | |
|-----------|---|--------|--------|--------|--------|
| | 1 hari | 2 hari | 3 hari | 5 hari | 7 hari |
| CW1 | 6 | 43 | 62 | 43 | 81 |
| CW2 | 25 | 43 | 43 | 81 | 89 |
| CW3 | 43 | 81 | 81 | 96 | 96 |

Sumber: Hasil Analisis Efisiensi Penyisihan TSS

KESIMPULAN

Hasil eksperimen menunjukkan kinerja CW3 lebih efisien dibanding CW1 dan CW2 dalam penyisihan total coliform dan TSS air limbah rumah sakit. Efisiensi penyisihan polutan pada CW3 mencapai 91.76% untuk total coliform dengan waktu retensi hidrolik 1 hari serta 81.00% untuk TSS dengan waktu retensi hidrolik 2 hari. HSSF-CW yang ditanami *Typha angustifolia* dengan jarak tanam lebih rapat (24 tanaman per 0.45 m²) menggunakan media pasir-kerikil berdiameter 5 – 8 mm dengan kedalaman media terendam 0.30 m terbukti lebih efisien dalam menyisihkan total coliform dan TSS dari air limbah rumah sakit. Terdapat peningkatan DO, selain karena pengaruh akar tanaman juga karena pengaruh faktor difusi oksigen atmosfer.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhmad, A. G. *et al.* (2020) 'An Opportunity for Using Constructed Wetland Technology in Hospital Wastewater Treatment: A Preliminary Study', in *The 2020 International Conference on Science in Engineering and Technology*. Palu.
- Amouei, A. *et al.* (2012) 'Investigation of hospital wastewater treatment plant efficiency in north of Iran during 2010-2011', *International Journal of Physical Sciences*, 7(31), pp. 5213–5217. doi: 10.5897/IJPS12.322.
- Amouei, A. *et al.* (2015) 'Characteristics of Effluent Wastewater in Hospitals of Babol University of Medical Sciences, Babol, Iran', *Health Scope*, 4(2). doi: 10.17795/jhealthscope-23222.
- Avelar, Fabiana F *et al.* (2014) 'Coliform bacteria removal from sewage in constructed wetlands planted with *Mentha aquatica*', *Environmental Technology*, 35(16), pp. 2095–2103. doi: 10.1080/09593330.2014.893025.
- Avelar, Fabiana F. *et al.* (2014) 'Coliform bacteria removal from sewage in constructed wetlands planted with *Mentha aquatica*', *Environmental Technology*, 35(16), pp. 2095–2103. doi: 10.1080/09593330.2014.893025.
- B., R. and Anwar, M. (2018) 'Studi Karakteristik dan Kualitas BOD dan COD Limbah Cair Rumah Sakit Umum Daerah Lanto Dg. Pasewang Kabupaten Jeneponto', *Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan*, 1. Available at: <http://journal.unhas.ac.id/index.php/jnik/article/view/4285>.
- Boutillier, L. *et al.* (2009) 'Adsorption, sedimentation, and inactivation of *E. coli* within wastewater treatment wetlands', *Water Research*, 43(17), pp. 4370–4380. doi: 10.1016/j.watres.2009.06.039.
- Cooper, P. F., Job, G. D. and Green, M. B. (1996) *Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment*. Swindon : WRc Swindon. Available at: <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/942402>.
- Harlisty, B. F., Akili, R. H. and Kandou, G. D. (2016) 'Analisis Kandungan Amoniak dan Bakteri Coliform Total pada Limbah Cair Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Kota Bitung Pada Tahun 2016'. Available at: <http://medkesfkm.unsrat.ac.id/wp-content/uploads/2016/10/JURNAL-Bima-Febrian-Harlisty.pdf>.
- Headley, T. *et al.* (2013) 'Escherichia coli removal and internal dynamics in subsurface flow ecotechnologies: Effects of design and plants', *Ecological Engineering*, 61, pp. 564–574. doi: 10.1016/j.ecoleng.2013.07.062.
- Kansiime, F. and van Bruggen, J. J. A. (2001) 'Distribution and retention of faecal coliforms in the Nakivubo wetland in Kampala, Uganda', *Water Science and Technology*, 44(11–12), pp. 199–206. doi: 10.2166/wst.2001.0829.
- Karathanasis, A. D., Potter, C. L. and Coyne, M. S. (2003)

- ‘Vegetation effects on fecal bacteria, BOD, and suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater’, *Ecological Engineering*, 20(2), pp. 157–169. doi: 10.1016/S0925-8574(03)00011-9.
- KEMEN-LHK (2016) *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*. Indonesia.
- Kumar, S. and Dutta, V. (2019) ‘Constructed wetland microcosms as sustainable technology for domestic wastewater treatment: an overview’, *Environmental Science and Pollution Research*, 26(12), pp. 11662–11673. doi: 10.1007/s11356-019-04816-9.
- Kusuma, Z., Yanuwadi, B. and Laksmono, R. W. (2013) ‘Study of Hospital Wastewater Characteristic in Malang City’, *Research Inveny: International Journal Of Engineering And Science Issn Www.Researchinveny.Com*, 2(2), pp. 13–16. Available at: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31244050/C022013016.pdf?response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DResearch_Inveny_International_Journal_o.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20191217%2Fus-east-1
- Lavrova, S. and Koumanova, B. (2010) ‘Influence of recirculation in a lab-scale vertical flow constructed wetland on the treatment efficiency of landfill leachate’, *Bioresource Technology*, 101(6), pp. 1756–1761. doi: 10.1016/j.biortech.2009.10.028.
- Mara, D. D. and Johnson, M. L. (2006) ‘Aerated Rock Filters for Enhanced Ammonia and Fecal Coliform Removal from Facultative Pond Effluents’, *Journal of Environmental Engineering*, 132(4), pp. 574–577. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2006)132:4(574).
- Metcalfe, L., Eddy, H. P. and Tchobanoglous, G. (2004) *Wastewater engineering : treatment, disposal, and reuse*. New York [etc.]: McGraw-Hill. Available at: <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/1979505>.
- Morató, J. et al. (2014) ‘Key design factors affecting microbial community composition and pathogenic organism removal in horizontal subsurface flow constructed wetlands’, *Science of The Total Environment*, 481, pp. 81–89. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.01.068.
- Noor, M. (2007) *Rawa Lebak; Ekologi, Pemanfaatan, dan Pengembangannya*. Jakarta: RajaGrafindo Persada. Available at: https://scholar.google.com/scholar?cluster=18029372474365716443&hl=en&as_sdt=2005.
- Pincam, T. and Jampeetong, A. (2020) ‘Treatment of Anaerobic Digester Effluent Using *Typha angustifolia* L.: Growth Responses and Treatment Efficiency’, *Journal of Water and Environment Technology*, 18(2), pp. 105–116. doi: 10.2965/jwet.19-045.
- Rahmawati, A. A. and Azizah, R. (2005) ‘Perbedaan Kadar Bod, Cod, Tss, dan Mpn Coliform pada Air Limbah, Sebelum dan Sesudah Pengolahan di RSUD Nganjuk’, *Jurnal Kesehatan Lingkungan Unair*, 2(1), pp. 97–110. Available at: <http://www.journal.unair.ac.id/filerPDF/KESLING-2-1-10.pdf>.
- Richter, A. Y. and Weaver, R. W. (2003) ‘Ultraviolet disinfection of effluent from subsurface flow constructed wetlands’, *Environmental Technology*, 24(9), pp. 1175–1182. doi: 10.1080/09593330309385658.
- Saeed, T. and Sun, G. (2011) ‘A comparative study on the removal of nutrients and organic matter in wetland reactors employing organic media’, *Chemical Engineering Journal*, 171(2), pp. 439–447. doi: 10.1016/j.cej.2011.03.101.
- Saeed, T. and Sun, G. (2012) ‘A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: Dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media’, *Journal of Environmental Management*, 112, pp. 429–448. doi: 10.1016/j.jenvman.2012.08.011.
- Toscano, A. et al. (2013) ‘Removal efficiency of a constructed wetland combined with ultrasound and UV devices for wastewater reuse in agriculture’, *Environmental ...*. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2013.767284>.
- Tunçsiper, B., Ayaz, S. Ç. and Akça, L. (2012) ‘COLIFORM BACTERIA REMOVAL FROM SEPTIC WASTEWATER IN A PILOT-SCALE COMBINED CONSTRUCTED WETLAND SYSTEM’, *Environmental Engineering and Management Journal*, 11(10), pp. 1873–1879. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Bilal_Tuncsiper2/publication/287773645_Coliform_bacteria_removal_from_septic_wastewater_in_a_pilot-scale_combined_constructed_wetland_system/links/5910090aaca2722d1860547d/Coliform-bacteria-removal-from-septic-wastewat.
- Vymazal, J. et al. (2005) ‘Constructed Wetlands for Wastewater Treatment’, in *Wetlands and Natural Resource Management*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 69–96. doi: 10.1007/978-3-540-33187-2_5.