

UNJUK KERJA REAKTOR *CONTINUOUS WETLAND* MENGGUNAKAN TANAMAN VETIVER (*Vetiveria zizanioides*) DAN BAKTERI UNTUK MENDEGRADASI KANDUNGAN BESI (Fe), TIMBAL (Pb), DAN *Total Suspended Solid* (TSS) DARI LIMBAH MINYAK INDUSTRI X DI YOGYAKARTA

Muhammad Ramadhani Tanjung¹, Joni Aldilla Fajri², Dewi Wulandari³

Environmental Engineering Department, Faculty of Civil Engineering and Planning, Islamic University of Indonesia

e-mail : 15513216@students.uii.ac.id

ABSTRACT

Maintenance and another activities in railway workshop frequently produce wastewater that contained pollutants such as heavy metal and Total Suspended Solid (TSS) which complicated to treat if only using ordinary treatment. Therefore, specific treatment is needed to treat wastewater contaminated by heavy metals using Continuous Wetlands method with vetiver grass (Vetiveria zizanioides) and bacteria. The purpose of this research is to find out the performance of Continuous Wetlands reactors with a combination of Floating Wetlands and Constructed Wetlands using vetiver grass (Vetiveria zizanioides) and bacteria to reduce Iron (Fe), Lead (Pb), and Total Suspended Solid (TSS) contents in X industrial wastewater in Yogyakarta. Wastewater is filled into the reactors and bacteria is added to reactors too. Furthermore, flat-shaped styrofoam is perforated with 6 holes and each hole is filled with 2 vetiver grass which planted into plastic cups containing coconut fiber, gravel, sand, and soil then floated on the surface of wastewater sample with root is below the wastewater surface to be contacted for 30 days in a place with well sunlight exposure. After that sampling was carried out on days 0, 6, 11, 16, 21 and 26 to monitor as well as heavy metal concentrations and Total Suspended Solid (TSS) in wastewater. The results showed the using of vetiver grass (Vetiveria zizanioides) and bacteria are able to reduce heavy metals content of Iron (Fe) up to 69-93%, Lead (Pb) 67-76%, and Total Suspended Solid (TSS) 93-96%.

Keywords: *Continuous Wetlands, Constructed Wetland, Floating Wetlands, Vetiveria zizanioides, Wastewater*

ABSTRAK

Kegiatan pencucian dan perawatan di bengkel kereta api hampir selalu menghasilkan air limbah berupa limbah minyak yang mengandung pencemar seperti logam berat dan *Total Suspended Solid* (TSS) sehingga sulit diolah apabila hanya menggunakan pengolahan biasa. Maka dari itu diperlukan pengolahan khusus untuk air limbah yang terkontaminasi oleh logam berat yaitu menggunakan metode *Continuous Wetlands* menggunakan rumput vetiver (*Vetiveria zizanioides*) dan bakteri. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja reaktor *Continuous Wetlands* dengan kombinasi *Floating Wetlands* dan *Constructed Wetlands* menggunakan rumput vetiver (*Vetiveria zizanioides*) dan bakteri dalam mengurangi kadar Besi (Fe), Timbal (Pb), dan *Total Suspended Solid* (TSS) pada air limbah industri X di Yogyakarta. Air limbah dimasukkan kedalam reaktor dan ditambahkan bakteri. Selanjutnya *styrofoam* berbentuk pipih dilubangi sebanyak 6 lubang dan setiap lubangnya diisi dengan 2 buah tanaman vetiver yang dimasukkan kedalam gelas plastik berisikan ijuk, kerikil, pasir, dan tanah yang kemudian diletakkan terapung pada permukaan sampel air limbah dengan posisi akar berada dibawah permukaan air untuk dikontakkan selama 30 hari di tempat yang terkena sinar matahari. Selanjutnya dilakukan pemantauan pada hari ke-0, 6, 11, 16, 21, dan 26 untuk mengetahui konsentrasi logam berat dan kadar *Total Suspended Solid* (TSS) pada air limbah. Hasil menunjukkan penggunaan tanaman vetiver (*Vetiveria zizanioides*) dan bakteri mampu menurunkan kadar Besi (Fe) sebesar 69-93%, Timbal (Pb) sebesar 67-76%, dan konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) sebesar 93-96%.

Kata Kunci: *Air Limbah, Continuous Wetlands, Constructed Wetland, Floating Wetlands, Vetiveria zizanioides*

1. PENDAHULUAN

Salah satu aktivitas perbengkelan besar di Yogyakarta yaitu industri X yang fokus dalam bidang perawatan besar sarana perkeretaapian. Di tempat inilah sarana perkeretaapian seperti lokomotif, gerbong, dan sarana lainnya menjalani perawatan, perbaikan, serta modifikasi. Pada aktivitasnya sebagai sarana perbengkelan kereta api, industri X tak luput dari air limbah yang dihasilkan setiap harinya. Air limbah dari kegiatan perbengkelan sangat rentan terkontaminasi oleh logam berat dan cukup sulit diolah apabila hanya menggunakan pengolahan biasa. Maka dari itu diperlukan pengolahan khusus untuk air limbah yang terkontaminasi oleh logam berat yaitu menggunakan metode *Continuous Wetlands* menggunakan rumput vetiver (*Vetiveria zizanioides*) dan bakteri.

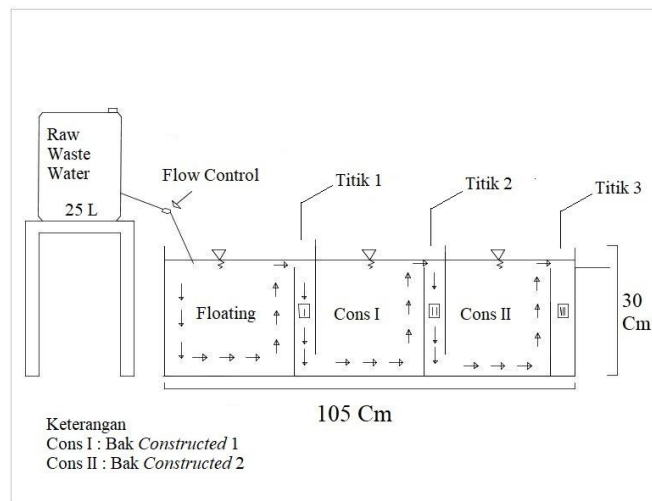
Metode *Continuous Wetlands* ditinjau dari fungsinya digunakan bagi keperluan pengolahan air tercemar yang didesain khusus untuk memurnikan air tercemar dengan mengoptimalkan proses-proses fisika, kimia, dan biologi dalam suatu kondisi yang saling berintegrasi seperti yang biasanya terjadi dalam sistem rawa alami. Metode *Continuous Wetlands* merupakan kombinasi antara *Constructed Wetlands* dan *Floating Wetlands* yang dapat menggunakan bantuan bermacam tanaman salah satunya rumput vetiver (*Vetiveria zizanioides*) atau umumnya dikenal dengan istilah akar wangi.

Pada penelitian sebelumnya memiliki tujuan untuk mengevaluasi kemampuan tanaman vetiver (*Vetiveria zizanioides*) dan bakteri dalam mengurangi kadar logam Besi (Fe), Timbal (Pb), dan *Total Suspended Solid* (TSS) pada air limbah industri X di Yogyakarta menggunakan metode *floating treatment wetland* dalam reaktor dengan sistem *batch*. Menurut Nurtana (2018), penggunaan tanaman vetiver (*Vetiveria zizanioides*) dan bakteri mampu menurunkan kadar logam Besi (Fe) sebanyak 15%-93% dan Timbal (Pb) 20%-100%. Akan tetapi penggunaan tanaman vetiver (*Vetiveria zizanioides*) dan bakteri kurang efisien dalam mereduksi konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS). Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan penelitian untuk mengetahui kinerja reaktor *Continuous Wetlands* dengan kombinasi *Floating Wetlands* dan *Constructed Wetlands* dengan menggunakan rumput vetiver (*Vetiveria zizanioides*) dan bakteri dalam mereduksi kandungan Besi (Fe), Timbal (Pb), dan *Total Suspended Solid* (TSS) pada air limbah industri X di Yogyakarta.

2. METODE PENELITIAN

Sampel air limbah diambil menggunakan metode *grab sampling*. Kemudian mendesain reaktor kaca dengan ukuran 105 cm x 30 cm x 30 cm sebagai tempat untuk pengujian *continuous wetland*. Sebelum memulai proses pengolahan, dilakukan aklimatisasi *Vetiveria zizanioides* pada reaktor yang berisi campuran air dan pupuk. Proses aklimatisasi dilakukan selama 30 hari dengan pencahayaan matahari secara langsung agar akar tanaman dapat tumbuh dengan baik. Kemudian dilakukan proses kulturisasi bakteri agar bakteri siap digunakan untuk mereduksi kandungan polutan

dalam sampel air limbah. Setelah itu reaktor siap untuk diaplikasikan. Pengaplikasian reaktor diawali dengan mengatur debit pada *flow control* yang sudah ditentukan agar pengolahan oleh tanaman dan bakteri berjalan secara optimal. Waktu tinggal yang digunakan yaitu selama 5 hari dan dilakukan pengambilan sampel pada hari ke 0, 6, 11, 16, 21, dan 26 di 3 titik pengambilan sampel. Kemudian dilakukan pengujian dan analisis parameter besi (Fe), timbal (Pb), dan *Total Suspended Solid* (TSS).



Gambar 2.1 Skema Reaktor *Floating* dan *Constructed Wetland* serta Titik Pengambilan Sampel

2.1 Alat dan Bahan

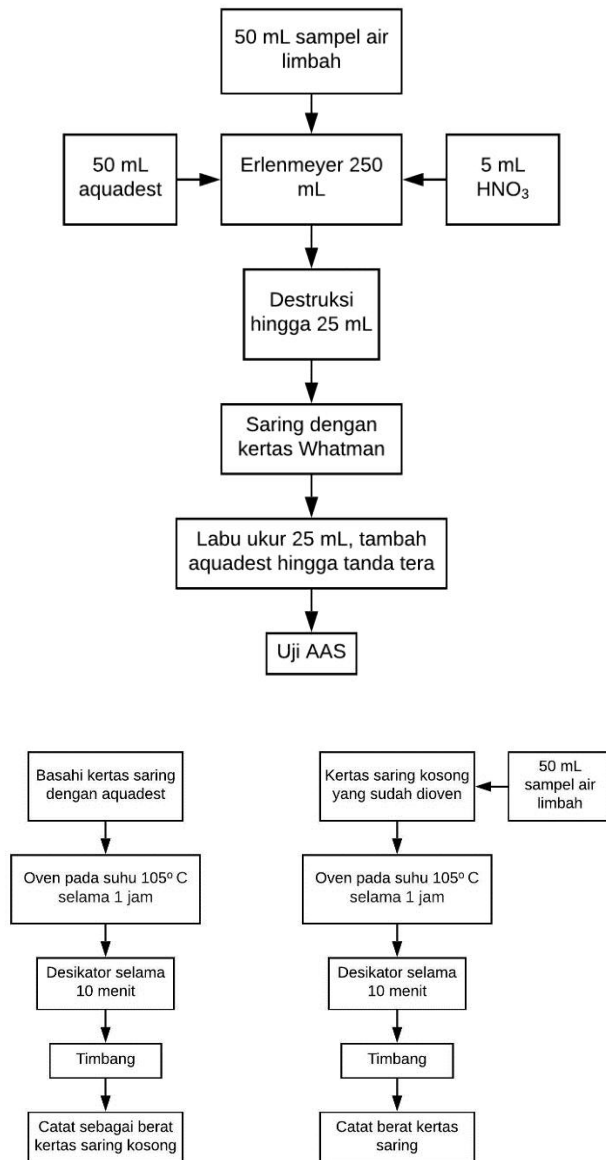
1. Alat

- Erlenmeyer 250 mL
- Labu Ukur 25 mL
- Corong Kaca
- AAS
- Pemanas Listrik
- Oven
- Desikator
- Timbangan Analitik
- Penjepit
- Kaca Arloji
- Pipet Volume 10 mL
- Kertas Saring *Whatman*

2. Bahan

- Sampel Air Limbah
- Aquadest
- HNO₃

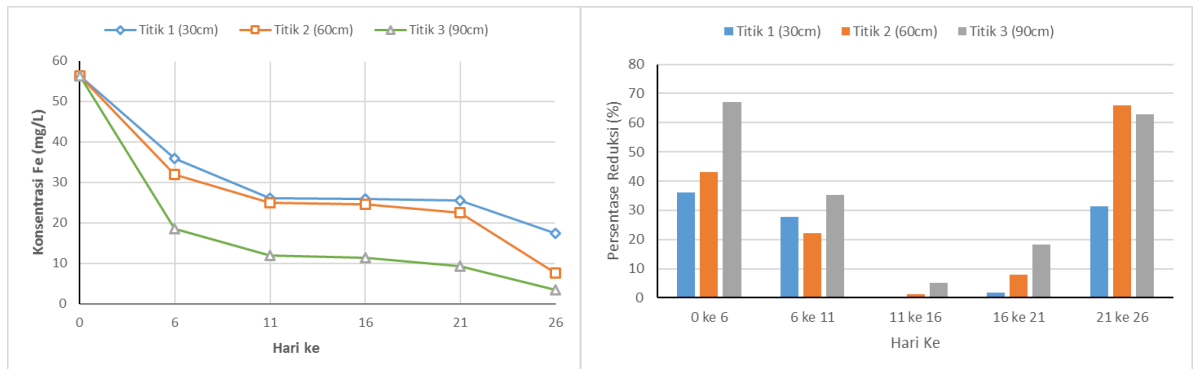
2.2 Cara Kerja



Gambar 2.2 (a) Cara Kerja Pengujian Besi (Fe) dan Timbal (Pb); (b) Cara Kerja Pengujian *Total Suspended Solid (TSS)*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Besi (Fe)



Gambar 3.1 (a) Grafik Hasil Pengujian Kadar Besi (Fe) pada Reaktor *Continuous Wetland* menggunakan Tanaman Vetiver dan Bakteri *Pseudomonas sp.* Selama 30 Hari; (b) Grafik Efisiensi Reduksi Kadar Besi (Fe) pada Reaktor *Continuous Wetland* menggunakan Tanaman Vetiver dan Bakteri *Pseudomonas sp.* Selama 30 Hari

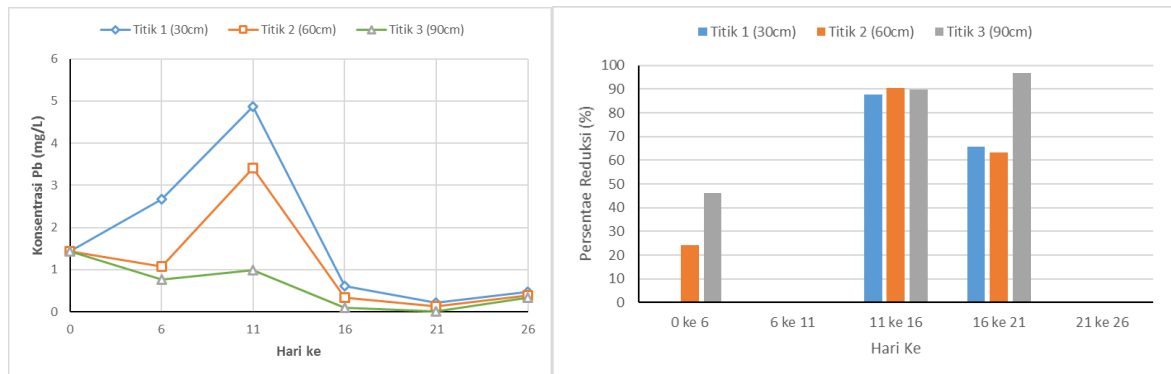
*Keterangan = Titik 1 (*Floating Wetland*) jarak dari influen 30 cm, titik 2 (*Constructed Wetland*) jarak dari influen 60 cm, titik 3 (*Constructed Wetland*) jarak dari influen 90 cm

Berdasarkan gambar 3.1 ditunjukkan hasil pengujian konsentrasi awal sampel air limbah murni sebesar 56,282 mg/L. Setelah melewati proses pengolahan pada reaktor selama 30 hari, kadar Besi (Fe) di hari ke 26 pada titik 3 diperoleh nilai sebesar 3,460 mg/L. Secara keseluruhan terjadi penurunan konsentrasi kadar Besi (Fe) pada semua titik. Hal tersebut terjadi karena kompartemen pertama reaktor menggunakan metode *floating wetlands* yang terdiri atas tanaman rumput vetiver yang diapungkan, sehingga tanaman tersebut dapat mengakumulasi unsur logam berat dengan konsentrasi tinggi pada batangnya dan dapat menurunkan konsentrasi polutan. Kompartemen kedua dan ketiga reaktor menggunakan metode *constructed wetland* yang terdiri atas susunan kerikil, batu, pasir, dan tanah. Susunan material tersebut digunakan sebagai media tempat tumbuhnya rumput vetiver yang digunakan untuk mereduksi kandungan logam berat dan media pertumbuhan bakteri yang diperkirakan *Pseudomonas sp.*

Pada proses fitoremediasi ini logam berat diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke batang untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen. Menurut Roongtanakiat et al. (2001) dan Darajah et al. (2014), hal ini dikarenakan pertumbuhan tanaman vetiver (*Vetiveria zizanioides*) memerlukan serapan Besi (Fe) yang tinggi dan makronutrien lainnya seperti nitrogen, fosfor, dan kalium oleh akar dan juga reaksi fotosintesis. Nilai persentase efisiensi *removal* Besi (Fe) tertinggi diperoleh pada titik 3 di hari 6 dengan nilai persentase reduksi sebesar 67,06%. Namun pada pengujian hari ke 6 hingga 16 efisiensi *removal* mengalami penurunan karena terdapat peningkatan konsentrasi polutan yang disebabkan oleh adanya penambahan volume air limbah yang dilakukan pada hari ke-6 yang menyebabkan peningkatan beban pengolahan oleh tanaman

rumpun vetiver. Kondisi lingkungan, seperti temperatur, pH, dan oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) merupakan faktor pendukung keberadaan logam di air dan dapat mempengaruhi proses pengolahan pada reaktor.

3.2 Timbal (Pb)

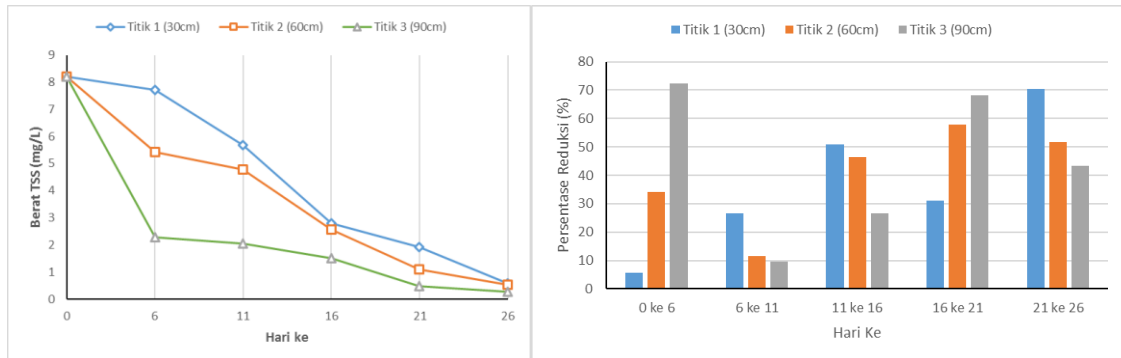


Gambar 3.2 (a) Grafik Hasil Pengujian Kadar Timbal (Pb) pada Reaktor *Continuous Wetland* menggunakan Tanaman Vetiver dan Bakteri *Pseudomonas sp.* Selama 30 Hari; (b) Grafik Efisiensi Reduksi Kadar Timbal (Pb) pada Reaktor *Continuous Wetland* menggunakan Tanaman Vetiver dan Bakteri *Pseudomonas sp.* Selama 30 Hari

*Keterangan = Titik 1 (*Floating Wetland*) jarak dari influen 30 cm, titik 2 (*Constructed Wetland*) jarak dari influen 60 cm, titik 3 (*Constructed Wetland*) jarak dari influen 90 cm

Berdasarkan gambar 3.2 ditunjukkan hasil pengujian konsentrasi awal sampel air limbah murni sebesar 1,426 mg/L. Setelah melewati proses pengolahan pada reaktor selama 30 hari, kadar Timbal (Pb) menunjukkan nilai konsentrasi yang fluktuatif. Kenaikan kadar Timbal (Pb) dapat disebabkan beberapa hal seperti pendapat Sutrisno (2006), bahwa temperatur yang tinggi menyebabkan menurunnya kadar oksigen (O_2) dalam air, kenaikan temperatur air juga dapat menguraikan derajat kelarutan mineral sehingga kelarutan logam dalam air tinggi. Menurut Roongtanakiat et al. (2007), akar rumput vetiver dapat menyerap kandungan timbal lebih tinggi dibandingkan dengan batangnya karena struktur akar dapat membentuk area permukaan yang luas seperti biofilter yang dapat menyerap polutan di dalam air (Raskin et al. 1997). Kemudian laju pemindahan dan akumulasi logam tergantung pada panjang akar dan kepadatannya serta konsentrasi logam berat itu sendiri. Persentase *removal* pengolahan air limbah menggunakan rumput vetiver kadar Timbal (Pb) dapat dikatakan cukup baik pada beberapa titik di hari pengujian tertentu misalnya pada titik 3 hari ke 21 yang menunjukkan nilai 96,88%. Setelah proses pengolahan kadar Timbal (Pb) selama 30 hari diperoleh konsentrasi yang paling rendah pada titik 3 di hari ke 21 yaitu sebesar 0,003 mg/L.

3.3 Total Suspended Solid (TSS)



Gambar 3.3 (a) Grafik Hasil Pengujian Konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) pada Reaktor *Continuous Wetland* menggunakan Tanaman Vetiver dan Bakteri *Pseudomonas sp.* Selama 30 Hari; (b) Grafik Efisiensi Reduksi Konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) pada Reaktor *Continuous Wetland* menggunakan Tanaman Vetiver dan Bakteri *Pseudomonas sp.* Selama 30 Hari

*Keterangan = Titik 1 (*Floating Wetland*) jarak dari influen 30 cm, titik 2 (*Constructed Wetland*) jarak dari influen 60 cm, titik 3 (*Constructed Wetland*) jarak dari influen 90 cm

Berdasarkan gambar 3.3 ditunjukkan hasil pengujian konsentrasi awal sampel air limbah murni sebesar 8,204 mg/L. Setelah melewati proses pengolahan pada reaktor selama 30 hari, kadar *Total Suspended Solid* (TSS) di hari ke 26 pada titik 3 diperoleh nilai sebesar 0,273 mg/L. Menurut Supradata (2005), mengemukakan bahwa proses perbedaan pada laju penurunan kadar *Total Suspended Solid* (TSS) pada tiap-tiap kompartemen reaktor disebabkan oleh perbedaan porositas media yang dibentuk oleh sistem perakaran tanaman yang ada di dalam reaktor. Sistem perakaran tanaman yang terbentuk dalam reaktor akan tumbuh secara tidak merata yang menyebabkan pola aliran limbah tidak membentuk aliran sumbat yang sama. Penurunan kadar *Total Suspended Solid* (TSS) pada *wetland* terjadi melalui proses fisik secara alamiah seperti sedimentasi dan filtrasi (Zurita, 2008). Proses sedimentasi yang terjadi disebabkan karena air limbah harus melewati jaringan akar tanaman sehingga partikel-partikel yang melewati media dan zona akar dapat mengendap (Widyastuti, 2005). Nilai persentase *removal* konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) terbesar diperoleh pada titik 3 di hari ke 6 dengan nilai persentase reduksi sebesar 72,29%.

3.4 Kinerja Reaktor *Continuous Wetland*

Proses pengolahan air limbah dari Industri X di Yogyakarta pada reaktor *Continuous Wetland* ini menggunakan reaktor dengan dimensi 105 cm x 30 cm x 30 cm dimana panjang tiap kompartemen adalah 35 cm (dapat di lihat pada gambar 3.2) Pada titik 1 (*Floating Wetland*) dengan menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* dan bakteri mampu mendegradasi polutan anorganik seperti Fe hingga 36%, Pb hingga 87%, dan TSS hingga 70%. Sedangkan untuk polutan organik seperti BOD dapat terdegradasi hingga 60%, COD hingga 40% dan ammonia sebesar 95%. Namun

untuk pencemar minyak seperti TPH terdegradasi hingga 61%, *oil grease* sebesar 49% dan *oil content* sebesar 37%.

Pada titik 2 yang merupakan *Constructed Wetland* dengan menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* dan bakteri mampu mendegradasi polutan anorganik seperti Fe hingga 66%, Pb hingga 90%, dan TSS hingga 57%. Sedangkan untuk polutan organik seperti BOD dapat terdegradasi hingga 75%, COD hingga 50% dan ammonia sebesar 89%. Namun untuk pencemar minyak seperti TPH terdegradasi hingga 71%, *oil grease* sebesar 71% dan *oil content* sebesar 70%.

Sedangkan Pada titik 3 yang juga merupakan *Constructed Wetland* dengan menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* dan bakteri mampu mendegradasi polutan anorganik seperti Fe hingga 67%, Pb hingga 96%, dan TSS hingga 72%. Sedangkan untuk polutan organik seperti BOD dapat terdegradasi hingga 50%, COD hingga 65% dan amonia sebesar 83%. Namun untuk pencemar minyak seperti TPH terdegradasi hingga 99%, *oil grease* sebesar 98% dan *oil content* sebesar 94%.

Pada saat proses pengujian dilakukan, bertepatan dengan musim kemarau yang selama 30 hari penelitian kondisi cuaca relatif panas dan tidak turun hujan. Hal tersebut mengakibatkan logam berat pada perairan akan mengalami pengendapan dan kemudian diserap oleh organisme yang ada pada perairan (Sarjono, 2009). Reaktor juga ditempatkan di lokasi yang terbuka dengan tujuan untuk memaksimalkan proses pertumbuhan tanaman dan akar. Akar pada tanaman berfungsi untuk menyerap polutan yang ada pada air limbah, sehingga dapat menurunkan konsentrasi pencemar anorganik, organik dan minyak pada air limbah. Sinar matahari yang terpapar secara langsung akan menaikkan suhu reaktor dan mengakibatkan penguapan terjadi. Penguapan dapat mengurangi konsentrasi minyak.

Penelitian yang dilakukan oleh Rehman et al. (2018) menunjukkan bahwa potensi remediasi dapat meningkat seiring dengan lamanya waktu kontak air limbah dengan tanaman di reaktor dan tercapainya reduksi maksimal dari polutan setelah 42 hari. Semakin lama waktu yang digunakan, maka nilai reduksi dari setiap konsentrasi akan semakin tinggi. Berdasarkan jurnal penelitian Effendi et al. (2017) merekomendasikan bahwa durasi pengolahan air limbah menggunakan tanaman *Vetiveria zizanioides* dilakukan selama 3 minggu agar dapat menurunkan kadar *oil and grease* dan *oil content* secara signifikan. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Kadlec (2003), menjelaskan bahwa jumlah tanaman, waktu kontak dan panjang reaktor sangat menentukan untuk mendegradasi pencemar pada air limbah. Semakin banyak jumlah tanaman maka semakin besar kemungkinan degradasi polutan. Begitu pula dengan waktu kontak, semakin lama waktu kontak tanaman dengan limbah, maka semakin besar juga terjadi pendegradasian.

3.5 Pengaruh *Vetiveria zizanioides* terhadap Konsentrasi Polutan

Tanaman yang ideal untuk proses fitoremediasi harus mempunyai produktivitas biomassa yang tinggi, harapan hidup pendek, serta toleransi yang tinggi dan kapasitas akumulasi konsentrasi tinggi dari kontaminan (Raskin et al., 1997; Tlustos et al., 1998). Rumput vetiver memiliki kemampuan adaptasi ekologis yang sangat kuat dan produktivitas biomassa yang besar, sehingga mudah untuk mengelola dan dapat tumbuh pada berbagai kondisi tanah yang berbeda. Rumput vetiver telah digunakan untuk konservasi tanah dan air.

Hasil penelitian oleh Singh et al. (2015) menunjukkan bahwa Fe memiliki efisiensi reduksi tertinggi pada panjang akar 10 cm untuk konsentrasi rendah (95%) dan konsentrasi tinggi (97%) setelah 10 hari diikuti oleh Pb (70%), Cu dan Mn, sementara Zn memiliki efisiensi *reduksi* terendah. Dalam hal persentase reduksi, antar logam berat menunjukkan perbedaan panjang akar yang bervariasi. Namun, hal ini dibatasi oleh konsentrasi Pb awal yang rendah. Vetiver telah menunjukkan kondisi reduksi yang baik untuk Pb pada konsentrasi antara 5 dan 20 mg/L. Secara umum, efisiensi antar logam berat dalam air terlepas dari panjang akar dapat diurutkan Fe>Pb>Cu>Mn>Zn untuk kedua perlakuan dalam konsentrasi rendah dan tinggi. Untuk konsentrasi akhir berada dibawah nilai baku mutu yang ditetapkan. Ini menunjukkan bahwa laju reduksi logam berat akan meningkat karena panjang akar meningkat karena luas permukaan lebih tinggi daripada akar yang lebih panjang untuk penyerapan logam oleh akar ke dalam tanaman (Darajeh et al., 2014). Konsentrasi untuk pengujian Fe dan Pb dalam penelitian yang dilakukan oleh Nurtana (2018) dengan sistem *floating* wetland menggunakan bakteri mengalami kenaikan efisiensi reduksi yang signifikan, nilai reduksi yang diperoleh selama proses pengujian selama 30 hari yaitu 82% hingga 95%. Hasil tersebut apabila dibandingkan dengan pengolahan tanpa penambahan bakteri memiliki jarak yang cukup jauh.

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Roongtanakiat (2007) menyebutkan bahwa vetiver mampu menyerap lebih banyak logam berat dari air limbah yang tercemar pada sampel W2-W4. Konsentrasi Pb tertinggi ditemui di dalam akar dan batang ditemukan pada vetiver yang tumbuh di sampel W2, sedangkan akar dan batang vetiver yang tumbuh di W4 memiliki konsentrasi Mn, Fe dan Cu tertinggi. Untuk Zn, konsentrasinya paling tinggi dalam batang akar wangi yang tumbuh di W4 dan di akar vetiver yang tumbuh di W2. Secara umum, ketiga jenis vetiver mampu menyerap Fe > Mn > Zn > Cu > Pb. Efisiensi *reduksi* untuk Fe sebesar 27,63% dan Pb sebesar 8,94%.

3.6 Pengaruh Bakteri terhadap Konsentrasi Polutan

Proses pengolahan air limbah yang dilakukan pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nurtana (2018) menyatakan bahwa penggunaan bakteri pada boks kontrol yang berisi air

limbah cukup bisa mereduksi kadar logam berat yang diuji seperti Fe dan Pb yang mencapai 100%. Hal ini disebabkan karena logam berat pada perairan akan mengalami pengendapan dan kemudian diserap oleh organisme yang ada pada perairan (Sarjono, 2009). Adanya penambahan bakteri dapat membantu proses penguraian bahan organik yang ada di dalam air limbah. Bahan organik akan melekat pada akar tanaman dan kemudian akan diuraikan oleh bakteri yang ada. Bakteri pada umumnya dapat berkembang biak, sehingga semakin lama bakteri dalam air limbah maka akan semakin besar pula proses penguraian bahan pencemar. Pada boks kontrol yang ditambahkan bakteri mengalami peningkatan reduksi yang cukup besar setiap harinya apabila dibandingkan dengan boks kontrol tanpa penambahan bakteri.

Penelitian sejenis yang dilakukan oleh Nurullah (2018) diperoleh hasil pada boks kontrol yang berisi air limbah 50% dan bakteri memiliki efisiensi reduksi sebesar 78-100%. Sedangkan pada boks kontrol yang berisi air limbah 100% dan bakteri memiliki efisiensi reduksi 80-100%. Faktor yang mempengaruhi penurunan konsentrasi adalah bakteri, bakteri mampu mendegradasi kandungan logam dengan cara mengakumulasi logam berat di dalam dinding selnya. Tetapi faktor lain pun turut mempengaruhi kinerja bakteri dalam mengurai logam, seperti kondisi pH didalam air. Semakin netral kondisi pH maka bakteri akan mengurai lebih optimal (Khoiroh, 2014). Hal ini yang menjadi salah satu faktor boks yang terisi bakteri tidak memiliki nilai reduksi logam tidak jauh berbeda dengan boks tanpa bakteri.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Hardiani et al. (2011) menunjukkan hasil perhitungan koefisien distribusi dari fraksi residual logam Pb pada perlakuan penambahan inokulum 10% pada waktu inkubasi 40 hari menunjukkan kecenderungan yang baik dibandingkan dengan penambahan inokulum 5% dan 15%. Tanah terkontaminasi logam Pb dapat dipulihkan dengan proses bioremediasi. Hal ini ditunjukkan dari kemampuan mikroba untuk mengubah logam, terlihat dari kandungan logam Pb dalam fase tertukarkan semula sebesar 19,36 mg/kg berkurang menjadi 15,91 mg/kg (21%), hal ini berarti adanya proses bioremediasi mengubah sifat logam yang semula aktif menjadi tidak aktif. Mikroba yang digunakan adalah mikroba konsorsium, campuran dari beberapa jenis bakteri pengakumulasi logam Pb yaitu PG 65-06 (A), PG 97-02 (B), MR 1.12-05 (C) dan A1 (D) dengan perbandingan 1:1:1:1 (v/v). Keempat bakteri tersebut digunakan dalam penelitian karena diketahui mampu mengakumulasi logam Pb dalam tubuhnya (Erny et al., 2003).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa reaktor *Continuous Wetlands* dengan kombinasi *Floating Wetlands* dan *Constructed Wetlands* menggunakan rumput vetiver (*Vetiveria zizanioides*) dan bakteri mampu mengurangi kadar logam Besi (Fe) sebesar 69,01% pada kompartemen I (*floating wetland*), pada kompartemen II (*constructed wetland*) sebesar 86,36%, dan

pada kompartemen III (*constructed wetland*) sebesar 93,85%. Pengurangan kadar Timbal (Pb) sebesar 67,37% pada kompartemen I, pada kompartemen II sebesar 73,26%, dan pada kompartemen III sebesar 76,54%. Penurunan konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) sebesar 93,07% pada kompartemen I, pada kompartemen II sebesar 93,62%, dan pada kompartemen III sebesar 96,67% pada sampel air limbah industri X di Yogyakarta.

Berdasarkan baku mutu yang digunakan sebagai acuan yaitu Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Pelayanan Kesehatan, dan Jasa Pariwisata untuk kadar besi (Fe) sebesar 5 mg/L, timbal (Pb) sebesar 0,1 mg/L, dan *Total Suspended Solid* (TSS) sebesar 75 mg/L apabila dilihat pada efluen titik akhir pengamatan yaitu pada titik 3 dapat disimpulkan sudah memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Darajeh, N., Idris, A., Truong, P., Aziz, A.A., Bakar, R.A., and Man, H.C. 2014. *Phytoremediation Potential of Vetiver System Technology for Improving The Quality of Palm Oil Mill Effluent*. *Adv. Mater. Sc. Eng.* 4
- Effendi, Hefni. 2017. *Crude Oil Spilled Water Treatment with Vetiveria zizanioides in Floating Wetland*. Bogor: Center for Environmental Research, IPB
- Erny, Y., Dwi, N.S., Rasti, S. 2003. *Koleksi, Karakterisasi dan Preservasi Mikroba Remediasi*. Prosiding Seminar Hasil Penelitian Rintisan dan Bioteknologi Tanaman
- Hardiani, H., Kardiansyah, T., Sugesty, S. 2011. *Jurnal Bioremediasi Logam Timbal (Pb) dalam Tanah Terkontaminasi Limbah Sludge Industri Kertas Proses Deinking*
- Kadlec, R.H. 2003. *Effects of Pollutant Speciation in Treatment Wetland Design*. *Ecological Engineering*. Vol. 20. Iss. 1. p. 1–16
- Khoiroh, Z. 2014. *Bioremediasi Logam Berat Pb dalam Lumpur Lapindo menggunakan Campuran Bakteri (Pseudomonas pseudomallei dan Pseudomonas aeruginosa)*. *Jurnal Biologi UIN Malang*, 1(50):1-10
- Nurtana, Rizqon. 2018. *Analisis Reduksi Logam pada Air Limbah Balai Yasa Yogyakarta PT. Kereta Api Indonesia menggunakan Tanaman Vetiver (Vetiveria Zizanioides) dan Bakteri dengan Metode Floating Treatment Wetland*. Yogyakarta
- Nurullah, L. 2018. *Analisis Removal Logam Berat dengan Metode Floating Wetland menggunakan Tanaman Kolonjono (Brachiaria mutica) dan Bakteri pada Air Limbah Balai Yasa Yogyakarta*. PT. KAI : Yogyakarta

- Raskin, I., Smith, R. D., & Salt, D. E. 1997. *Phytoremediation of Metals: Using Plants to Remove Pollutants from the Environment*. *Current Opinion in Biotechnology*, 8, 221–226
- Rehman, Khadeeja et al. 2018. *Inoculation With Bacteria in Floating Treatment Wetland Positively Modulates The Phytoremediation of Oil Field Wastewater*. *Journal of Hazardous Materials*: 349, 242-251
- Roongtanakiat, N., and Chairroj, P. 2001. *Uptake potential of some heavy metals by vetiver grass*. *Kasetsart Journal - Natural Science*. 35, 46–50
- Roongtanakiat, N., Tangruangkiat, S., & Meesat, R. 2007. *Utilization of Vetiver Grass (Vetiveria zizanioides) for Reduksi of Heavy Metals from Industrial Wastewaters*. *Science Asia*, 33, 397–403
- Sarjono, A. 2009. *Analisis Kandungan Logam Berat Cd, Pb dan Hg pada Air dan Sedimen di Perairan Kamal Muara*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor
- Singh, V., Thakur, L., & Mondal, P. 2015. *Removal of Lead and Chromium from Synthetic Wastewater Using Vetiveria Zizanioides*. *Clean-Soil, Air, Water*, 43(4), 538–543
- Supradata. 2005. *Pengolahan Limbah Domestik menggunakan Tanaman Hias Cyperus alternifolius dalam Ssstem Lahan Basah Aliran Permukaan (SSF Wetland)*. Tesis Magister Lingkungan
- Sutrisno, T. 2006. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Jakarta: Rineka Cipta
- Tlustos, P., Pavlikova, D., Balik, J., Szakova, J., Hanc, A., Balikova, M. 1998. *The Accumulation of Arsenic and Cadmium in The Plants Their Distribution*. *Rotilina Vyroba* 44, 465-469
- Widyastuti, N. W. 2005. *Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Pemanfaatn Tanaman Cyprus Papyprus pada Sistem Subsurface Constructed Wetland*. Surabaya : Jurusan Teknik Lingkungan ITS
- Zurita. 2008. *Treatment of Domestic and Production of Commercial Flowers in Vertical and Horizontal Subsurface-Flow System Constructed Wetland*. Mexico : Centro auniversity de la Cienaga