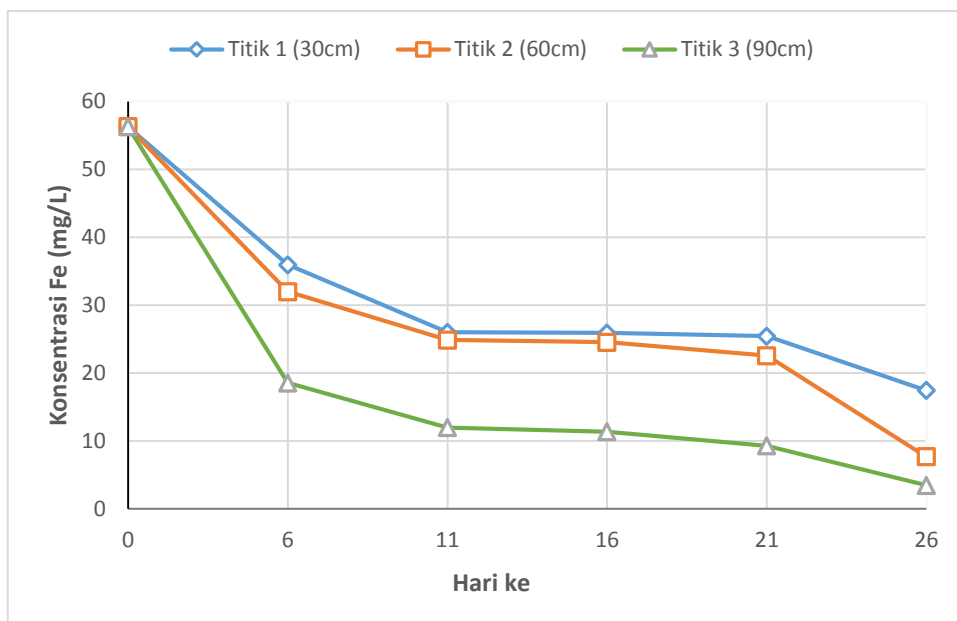


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Parameter Uji

4.1.1 Besi (Fe)



Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian Kadar Besi (Fe) pada Reaktor *Continuous Wetland* menggunakan Tanaman Vetiver dan Bakteri *Pseudomonas sp.* Selama 30 Hari

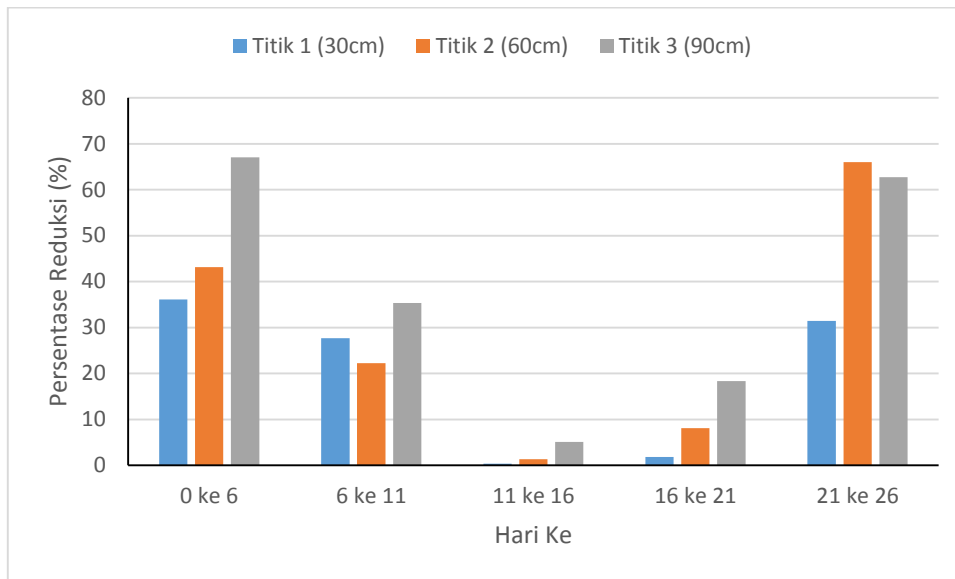
*Keterangan = Titik 1 (*Floating Wetland*) jarak dari influen 30 cm, titik 2 (*Constructed Wetland*) jarak dari influen 60 cm, titik 3 (*Constructed Wetland*) jarak dari influen 90 cm

Pada Gambar 4.1 dapat ditunjukkan grafik hasil pengujian kadar besi (Fe) pada sampel air limbah industri X di Yogyakarta. Pengujian konsentrasi awal sampel air limbah murni yang dilakukan menunjukkan nilai konsentrasi sebesar 56,282 mg/L. Pada hari ke 6 terjadi penurunan konsentrasi besi (Fe) yang cukup signifikan yaitu sebesar 20,327 mg/L dari 56,282 mg/L menjadi 35,955 mg/L pada titik 1, untuk titik 2 terjadi penurunan sebesar 24,291 mg/L sehingga konsentrasi menjadi 31,991 mg/L, dan untuk titik 3 terjadi penurunan sebesar 37,741 mg/L sehingga konsentrasinya menjadi 18,541 mg/L.

Kompartemen pertama reaktor menggunakan metode *floating wetlands* yang terdiri atas tanaman vetiver yang diapungkan, sehingga tanaman tersebut dapat mengakumulasi unsur logam berat dengan konsentrasi tinggi pada batangnya dan dapat menurunkan konsentrasi polutan. Dalam 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 Darajeh 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. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa Fe memiliki efisiensi *reduksi* tertinggi pada 10 cm panjang akar untuk konsentrasi rendah dan konsentrasi tinggi setelah 10 hari diikuti oleh Pb, Cu dan Mn, sementara Zn memiliki efisiensi *reduksi* terendah. Dari pernyataan tersebut dapat dibuktikan bahwa pada hari ke 6 terdapat penurunan konsentrasi polutan yang sangat signifikan dikarenakan air limbah kontak secara langsung dengan akar tanaman rumput vetiver dan adanya peran dari bakteri yang diperkirakan *Pseudomonas sp.*

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 akar tanaman vetiver yang digunakan untuk mereduksi kandungan logam berat dan media pertumbuhan bakteri yang diperkirakan *Pseudomonas sp.* Penurunan konsentrasi besi (Fe) secara terus menerus juga terjadi pada hari 6 hingga 26 juga disebabkan oleh adanya aktivitas bakteri pada akar tanaman vetiver.

Untuk lebih jelasnya, persentase efisiensi reduksi kadar Besi (Fe) dapat dilihat pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 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

Persentase reduksi pengolahan air limbah menggunakan tanaman vetiver dengan penambahan bakteri dapat dikatakan mengalami fluktuasi pada beberapa titik di hari pengujian. Nilai persentase efisiensi reduksi Besi (Fe) tertinggi diperoleh pada titik 3 di hari 6 dengan nilai persentase reduksi sebesar 67,06%. Sementara itu pada pengujian hari ke 6 hingga 16 efisiensi reduksi 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 rumput vetiver. Namun, pada hari 16 hingga 26 persentase reduksi cenderung meningkat. Peningkatan yang sangat signifikan terjadi pada hari ke 26, misalnya pada titik 2 persentase reduksinya sebesar 65,99%.

Nilai efisiensi reduksi kadar Besi (Fe) terkecil dapat dilihat pada pengujian hari ke 16 di titik 1 yaitu sebesar 0,35%. Hal tersebut menunjukkan bahwa kemampuan mereduksi kontaminan dalam sampel air limbah oleh tanaman rumput vetiver kurang baik. Penelitian ini dilakukan pada saat cahaya matahari sangat terik setiap harinya dan reaktor yang terbuat dari kaca menyebabkan sinar matahari

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

Berdasarkan data diatas, terdapat penurunan kadar Besi (Fe) secara terus-menerus pada sampel air limbah setelah mengalami proses pengolahan pada reaktor dengan metode kombinasi *Floating Wetland* dan *Constructed Wetland* menggunakan tanaman vetiver (*Vetiveria zizanioides*) dan bakteri selama 30 hari. Kadar Besi (Fe) di hari ke 26 pada titik 3 sebesar 3,460 mg/L sudah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Pelayanan Kesehatan, dan Jasa Pariwisata (Untuk Kegiatan Industri Lainnya) sebesar 5 mg/L.

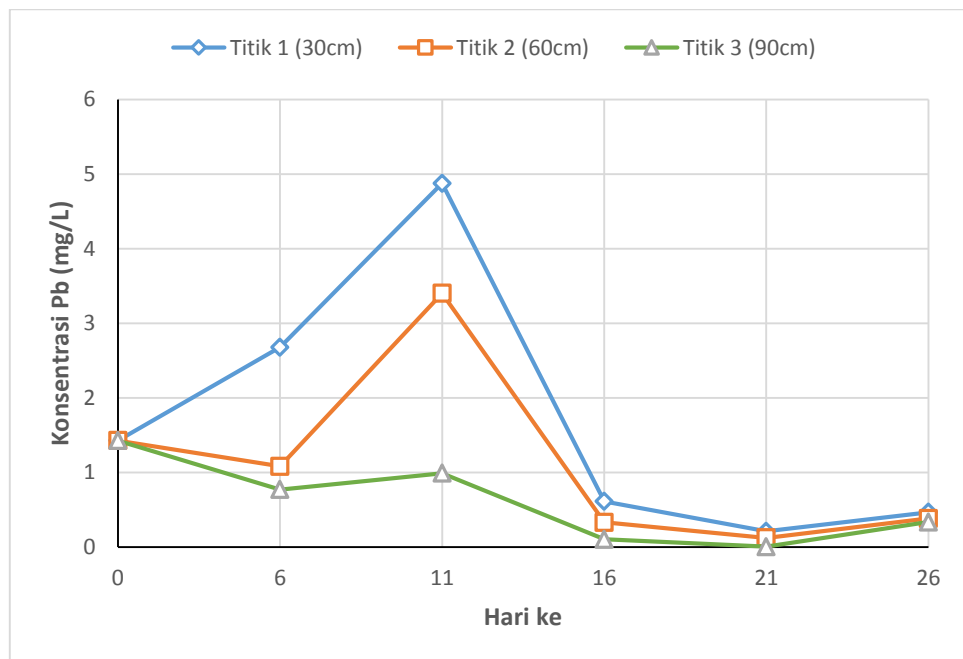
Menurut Priyanto dan Prayitno (2007), dikatakan bahwa logam berat yang masuk ke dalam tanaman kemudian akan berikatan dengan unsur hara lainnya dan mengalami imobilisasi ke bagian tanaman lainnya, sehingga tidak dapat diedarkan ke seluruh bagian tanaman karena telah mengalami proses penimbunan pada organ tanaman tertentu sehingga tanaman masih dapat tumbuh dan unsur hara yang diperlukan masih mampu untuk menyuplai proses pertumbuhan tanaman meskipun sudah tercemar kandungan logam berat.

Penelitian sejenis yang dilakukan oleh Yulisa et al. (2016), persentase reduksi besi (Fe) menunjukkan hasil 16,6 ppm dari 60 ppm (reduksi 69%) pada hari keenam pengujian dengan sistem yang mengandung air limbah, substrat, dan rumput vetiver. Hasil menunjukkan bahwa sistem tersebut efektif dalam menurunkan konsentrasi Fe untuk mencapai konsentrasi maksimum yang diizinkan sebesar 20 ppm. Selama proses reduksi logam berat dapat berbeda-beda dikarenakan kemampuan toleransi tanaman terhadap konsentrasi logam berat yang tinggi serta variasi penggunaan tambahan tanaman lain.

Dari data yang diperoleh, terlihat bahwa penggunaan tanaman vetiver dan bakteri cukup berhasil dalam mereduksi besi (Fe) terbukti dengan seluruh titik pengujian pada tiap kompartemen mengalami penurunan konsentrasi. Hasil

penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan penelitian terdahulu karena memiliki efisiensi reduksi yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa potensi tanaman vetiver (*Vetiveria zizanioides*) cukup baik dalam mereduksi konsentrasi besi (Fe) dalam air limbah.

4.1.2 Timbal (Pb)



Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian 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

Pada Gambar 4.3 dapat ditunjukkan grafik hasil pengujian kadar timbal (Pb) pada sampel air limbah industri X di Yogyakarta. Konsentrasi awal sampel air limbah murni yang diuji menunjukkan nilai konsentrasi sebesar 1,426 mg/L. Pada hari ke 6 terjadi kenaikan yang sangat signifikan pada titik 1 yaitu sebesar 2,677 mg/L. Kenaikan kadar Timbal (Pb) dapat disebabkan beberapa hal seperti pendapat Sutrisno (2006), bahwa temperatur yang tinggi menyebabkan menurunnya kadar oksigen (O₂) dalam air, kenaikan temperatur air juga dapat menguraikan derajat kelarutan mineral sehingga kelarutan logam dalam air tinggi. Namun, konsentrasi pada titik 2 menurun sebesar 0,345 mg/L menjadi 1,082 mg/L dan konsentrasi pada

titik 3 menurun sebesar 0,657 mg/L menjadi 0,769 mg/L. Pada titik 3 terdapat konsentrasi timbal (Pb) yang paling rendah dikarenakan oleh proses reduksi yang telah berlangsung dari titik sebelumnya. Alloway (1995) mengungkapkan bahwa timbal diserap oleh tanaman pada saat kandungan bahan organik dan kondisi kesuburan tanah rendah, selain itu komposisi dan pH tanah juga mempengaruhi perpindahan Pb dari tanah ke tanaman. Logam berat Pb terserap oleh akar tanaman apabila logam lain tidak mampu menghambat keberadaannya.

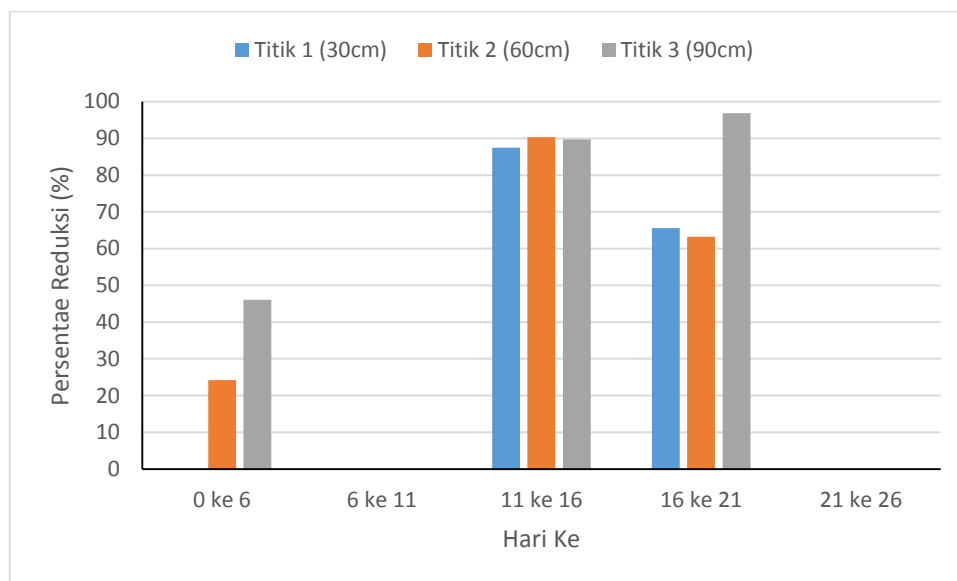
Kadar Timbal (Pb) pada pengujian hari ke 11 relatif meningkat di semua titik. Pada titik 1 terjadi peningkatan sebesar 2,198 mg/L yang menyebabkan konsentrasi timbal (Pb) menjadi 4,875 mg/L, pada titik 2 meningkat sebesar 2,320 mg/L sehingga konsentrasi menjadi 3,401 mg/L, sedangkan pada titik 3 meningkat sebesar 0,219 mg/L menjadi 0,989 mg/L. Penambahan volume air limbah pada influen menyebabkan meningkatkan beban pengolahan pada akar rumput vetiver. Kemudian peningkatan konsentrasi juga dipengaruhi oleh jumlah bakteri yang menurun sehingga proses penyerapan polutan tidak berjalan secara efektif.

Pada pengujian hari ke 16 hingga 21 konsentrasi timbal (Pb) mengalami penurunan kembali. Penurunan dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti kadar logam berat yang berfluktuasi dikarenakan faktor internal seperti kondisi tanaman itu sendiri, maupun faktor eksternal yang mencakup kondisi lingkungan yang tidak mendukung proses metabolisme tanaman (Aryani, 2015). Menurut Roongtanakiat et al. (2007), akar rumput vetiver dapat menyerap kandungan timbal lebih tinggi dibandingkan dengan batangnya. Hal tersebut dapat terjadi 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.

Namun, pada pengujian hari ke-26 konsentrasi timbal (Pb) meningkat kembali meski tidak terlalu tinggi. Hal tersebut dapat disebabkan karena semakin lama waktu kontak air limbah dengan tanaman, maka penyerapannya akan lebih sedikit karena kandungan logam dalam tanaman atau dapat dikatakan toksisitas dari

tanaman semakin meningkat. Penyerapan logam dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti konsentrasi, muatan ion dan ada tidaknya transporter yang ada di dalam sel (Manara 2012; Szöllôsi et al. 2011).

Untuk lebih jelasnya, persentase efisiensi reduksi Timbal (Pb) dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 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

Persentase reduksi 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%. Akan tetapi justru ditemui data yang kurang baik dalam persentase reduksi terhadap kadar Timbal (Pb) yang diuji pada beberapa titik misalnya pada hari ke 26 atau dapat dikatakan tidak terjadi penurunan kadar timbal (Pb) secara baik. Menurut Silaban et al. (2013), dikatakan bahwa kandungan logam berat timbal yang sangat tinggi akan menyebabkan konsentrasi unsur hara di dalam tanah akan tidak seimbang. Kadar timbal yang tinggi akan menyebabkan proses penyerapan unsur hara oleh tanaman akan mengalami beberapa perbedaan karena jumlah Pb dalam tanah lebih banyak dibandingkan unsur hara yang diperlukan oleh tanaman.

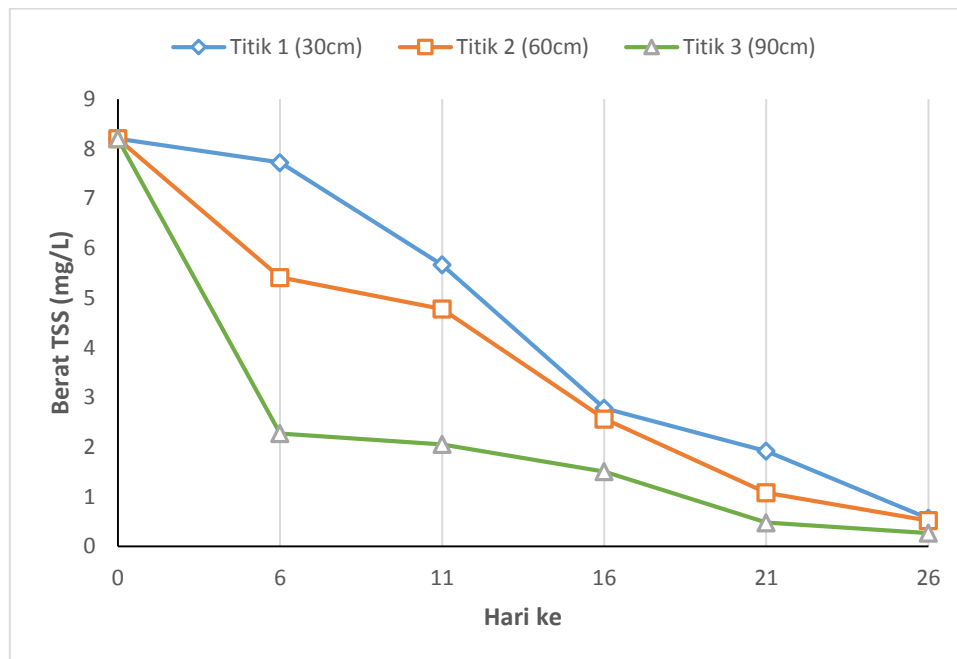
Berdasarkan data efisiensi reduksi kadar Timbal (Pb) dikatakan bahwa adanya penurunan persentase reduksi yang terjadi dapat disebabkan oleh semakin lama waktu kontak dengan tanaman penyerapannya lebih sedikit karena kandungan logam dalam tanaman atau dapat dikatakan toksisitas dari tanaman semakin meningkat dan berkurangnya jumlah bakteri yang terdapat dalam reaktor.

Secara umum, konsentrasi timbal (Pb) pada beberapa titik sudah memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Pelayanan Kesehatan, dan Jasa Pariwisata (Untuk Kegiatan Industri Lainnya) sebesar 0,1 mg/L dan 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.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Singh (2014), persentase reduksi Timbal (Pb) menunjukkan hasil sebesar 80-94% dalam pengolahan air limbah menggunakan rumput vetiver dengan pertumbuhan optimal rumput vetiver pada pH 6-9 dan kondisi pengurangan kadar timbal yang efektif untuk 5-20 mg/L.

Dari data yang telah ditampilkan, terlihat bahwa penggunaan tanaman vetiver dan bakteri cukup efisien dalam mereduksi Timbal (Pb) terbukti dengan beberapa titik pada tiap kompartemen mengalami penurunan konsentrasi meskipun terdapat beberapa titik mengalami kenaikan pada hari tertentu. Namun, hasil dari penelitian yang telah dilakukan masih dapat dikatakan sejalan dengan penelitian terdahulu karena memiliki efisiensi reduksi yang tidak terlalu jauh. Hal ini menunjukkan potensi tanaman vetiver (*Vetiveria zizanioides*) cukup efektif dalam mereduksi konsentrasi Timbal (Pb) dalam air limbah.

4.1.3 Total Suspended Solid (TSS)



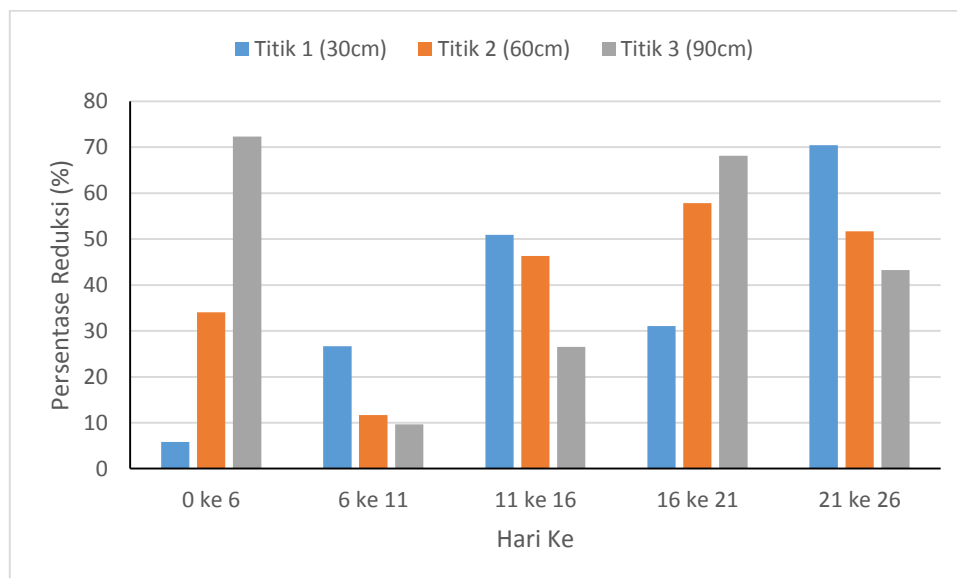
Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian Konsentrasi *Total Suspended Solid (TSS)* pada Reaktor *Continuous Wetland* menggunakan Tanaman *Vetiver* dan Bakteri *Pseudomonas sp.* Selama 30 Hari

*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

Pada Gambar 4.5 dapat ditunjukkan grafik hasil pengujian kadar Total Suspended Solid (*TSS*) pada sampel air limbah industri X di Yogyakarta. Konsentrasi awal *Total Suspended Solid (TSS)* yang terdapat pada sampel air limbah menunjukkan nilai sebesar 8,204 mg/L. Dapat dilihat pada Gambar 4.5 pada hari ke 6 mengalami penurunan konsentrasi sebesar 0,478 mg/L sehingga konsentrasi menjadi 7,726 mg/ pada titik 1, pada titik 2 turun sebesar 2,792 mg/L menjadi 5,412 mg/L, dan pada titik 3 turun sebesar 5,931 mg/L sehingga konsentrasinya sebesar 2,273 mg/L. Pada titik 3 konsentrasi *Total Suspended Solid (TSS)* terjadi penurunan yang signifikan disebabkan oleh akumulasi proses reduksi dari titik sebelumnya yang merupakan efluen dari kompartemen yang tersusun atas *constructed wetland* yang dapat mendukung penurunan konsentrasi karena terdapat susunan material kerikil, batu, pasir, dan tanah.

Pengujian hari 6 hingga 26 konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) stabil mengalami penurunan pada semua titik. 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).

Untuk lebih jelasnya, persentase efisiensi reduksi *Total Suspended Solid* (TSS) dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut.



Gambar 4.6 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

Nilai persentase efisiensi reduksi konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) terkecil dijumpai pada titik 1 di hari ke 6 yaitu sebesar 5,83%. Nilai persentase reduksi konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) terbesar diperoleh pada titik 3 di hari ke 6 dengan nilai persentase reduksi sebesar 72,29%. Proses penurunan terhadap TSS ini terjadi karena adanya proses pengendapan dan resirkulasi sehingga dapat membantu menurunkan konsentrasi TSS dan juga dipengaruhi oleh waktu tinggal air limbah dikarenakan semakin lama air limbah tinggal di dalam reaktor semakin banyak padatan tersuspensi yang terserap oleh susunan material dalam reaktor sehingga efisiensi penurunan TSS semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan pendapat Said (2002), bahwa semakin lama waktu kontak antara air limbah dengan media, maka efluen yang dihasilkan akan lebih kecil dan efisiensi penurunan menjadi tinggi.

Dari data tersebut dapat dikatakan nilai pengurangan konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) pada masing-masing titik pada beberapa hari pengujian relatif menurun sehingga konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) dapat berada dibawah baku mutu yang sudah ditetapkan. Sehingga dapat dikatakan bahwa penggunaan rumput vetiver pada reaktor *continuous wetlands* dengan kombinasi *floating wetlands* dan *constructed wetlands* serta peran bakteri dalam mereduksi kandungan *Total Suspended Solid* (TSS) cukup baik dan efisien.

Mengacu pada baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2010 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Pelayanan Kesehatan, dan Jasa Pariwisata (Untuk Kegiatan Terminal/Stasiun/Bandara) yaitu sebesar 75 mg/L, maka setelah proses pengolahan konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) pada semua titik mengalami penurunan dan memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Konsentrasi yang paling rendah dapat ditemui pada titik 3 di hari ke 26 yaitu sebesar 0,273 mg/L.

Menurut penelitian terdahulu mengenai pemurnian air limbah industri dengan tanaman vetiver (*Vetiveria zizanioides*) yang dikembangkan dengan air limbah industri secara hidroponik oleh Yeboah et al. (2015), tercatat penurunan konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) pada sampel air limbah yang berasal dari

Pinora Limited dengan label W1 dari 380 mg/L menjadi 70 mg/L. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Badejo et al. (2018), menunjukkan hasil persentase reduksi *Total Suspended Solid* (TSS) yang diamati berkurang dari 84,4 menjadi 8,8 mg/L (reduksi 89,57%) dalam pengolahan air limbah menggunakan rumput vetiver dengan sistem *vertical flow constructed wetland*.

Dari data yang telah ditampilkan, terlihat bahwa penggunaan tanaman vetiver dan bakteri cukup efisien dalam mereduksi konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) terbukti dengan hampir seluruh titik pada tiap kompartemen mengalami penurunan konsentrasi. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan sejalan dengan penelitian terdahulu karena memiliki efisiensi reduksi yang tidak terlalu jauh. Hal ini menunjukkan potensi tanaman vetiver (*Vetiveria zizanioides*) cukup efektif dalam mereduksi konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) dalam air limbah.

4.2 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.

4.3 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 antara 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 (Darajah 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%.

4.4 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 dan mengadsorpsi logam berat di dalam dinding selnya. Ion-ion logam dapat dipindahkan melalui biomassa bakteri hidup atau mati. Banyak spesies mempunyai kandungan kitin yang tinggi pada dinding sel dan polimer ini dari N-asetilglukosamine merupakan biosorbent efektif. Hughes dan Poole (1989)

menyatakan bahwa mikroorganisme dapat menghilangkan logam berat melalui proses adsorpsi, produksi senyawa ekstraseluler atau sintesis enzimatik. Bakteri mendegradasi hidrokarbon karena bakteri mampu menghasilkan enzim pendegradasi hidrokarbon. Enzim tersebut berfungsi sebagai biokatalisator pada proses biodegradasi (Atlas dan Bartha (1987) dalam Pagoray (2009)). Mekanisme biosorpsi oleh mikroba yang mampu hidup pada lingkungan yang tercemar logam berat adalah *active uptake*. Mekanisme ini terjadi secara simultan sejalan dengan konsumsi ion logam untuk proses pertumbuhan mikroorganisme (akumulasi intraseluler ion logam) (Suhendrayatna (2001) dalam Fakhudin (2008)). Tetapi faktor lain pun turut mempengaruhi kinerja bakteri dalam mengurai logam, seperti kondisi pH di dalam air. Semakin netral kondisi pH maka bakteri akan mengurai lebih optimal (Khoiroh, 2014). Hal ini yang menjadi salah satu faktor boks yang terisi bakteri 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).