

AKUMULASI KROMIUM PADA *PISTIA STRATIOTES* DALAM CONSTRUCTED WETLAND TIPE FREE WATER SURFACE UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH TEKSTIL

CHROMIUM ACCUMULATION IN *PISTIA STRATIOTES* OF USING FREE WATER SURFACE CONSTRUCTED WETLAND FOR TEXTILE WASTEWATER TREATMENT

Putri Brilian¹ dan Barti Setiani Muntalif²

Program Studi Teknik Lingkungan, FTSL, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha No. 10 Bandung 40132

Email: ¹putribrilianoctavia@gmail.com dan ²barti@ftsl.itb.ac.id

Abstrak: Laju produksi yang tinggi dalam kegiatan perindustrian mengakibatkan peningkatan dalam jumlah limbah yang dihasilkan sehingga berpotensi untuk mengakibatkan pencemaran terhadap lingkungan dan berdampak pada kesehatan manusia. Limbah yang dihasilkan oleh kegiatan industri dapat mengandung bahan yang bersifat Berbahaya dan Beracun atau dikenal sebagai Bahan B3, seperti logam berat kromium. Kromium banyak digunakan dalam proses produksi oleh berbagai macam jenis industri, salah satunya adalah industri tekstil. Limbah cair industri tekstil mengandung kromium dengan konsentrasi tinggi. Kandungan kromium dalam bentuk heksavalen sangat berbahaya karena bersifat toksik. Teknologi pengolahan yang memiliki efisiensi dari segi biaya, hasil, dan ramah lingkungan untuk meremediasi limbah yang mengandung kromium adalah dengan *Constructed Wetland* (CW). Namun demikian masih diperlukan berbagai penelitian untuk meningkatkan efektifitas dari sistem CW, sehingga dapat memberikan masukan terhadap penentuan alternatif pengolahan limbah. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja sistem CW tipe *Free Water Surface* dan mengetahui efisiensi penyisihan bahan pencemar dalam limbah dengan berbagai variasi konsentrasi kromium dan beban organik, juga mengkaji faktor bioakumulasi pada tumbuhan yang digunakan dalam sistem. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap dua sistem CW yang diberi perlakuan limbah, yaitu Sistem *Free Water Surface* (FWS) dengan *Pistia stratiotes* (FWS+Ps), dan Sistem *Free Water Surface* (FWS) tanpa *Pistia stratiotes* (FWS–Ps). *Pistia stratiotes* merupakan makrofita tipe *free floating*. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan limbah artifisial dengan variasi konsentrasi COD 50, 100, dan 150 ppm, dan variasi konsentrasi kromium 1,2 dan 3 ppm selama 10 hari. Parameter yang dianalisis berupa DO, pH, kekeruhan, TSS, nitrat, posfat, COD, kromium, dan kualitas lingkungan. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi optimum penyisihan Kromium berturut-turut mencapai 60%, 66%, 76%, 73%, 78%, dan 77%, sedangkan efisiensi optimum penyisihan COD berturut-turut mencapai 79%, 72%, 75%, 66%, 88%, dan 94% pada variasi 1,2/50, 3/50, 1,2/100, 3/100, 1,2/150, dan 3/150. Nilai akumulasi kromium lebih besar pada bagian akar dibandingkan dengan taruk. Model yang dapat digunakan dalam menentukan hubungan antara penyisihan senyawa pencemar dan penurunan konsentrasi nutrisi yang direpresentasikan sebagai nitrat dan posfat dalam sistem *Constructed Wetland* tipe *Free Water Surface* menggunakan *Pistia stratiotes* adalah : $COD = -0,066 x + 0,107 y + 61,419$ dan $Krom = -0,030 x + 0,099 y + 47,255$.

Kata kunci : *Constructed wetland*, *Free Water Surface*, Kromium, Limbah Cair Tekstil, *Pistia stratiotes*.

Abstract: High production of an industry activity causes rising waste that is produced. It potentially made the pollution on environment and impacted for human health. Waste is produced by industry activity which can be contained poison and risky pollution substance (B3), such as chromium metal. Many chromium is used in a process of variety industry kinds, one of them is a textile industry. Waste water of textile industry contains a chromium with high concentration. Chromium on hexavalent is very risky because it contains a toxic. Technology processing has an efficiency of cost, result and friendly environment for chromium waste that is contained by Constructed Wetland (CW). However, some observation are still needed for increasing the effectivity CW system. It can be separated chromium substance of a waste, for example observing model of CW by seeing various type of water flow and plant-life. Also, bio-accumulation factor in the plants, it gives an input on deciding alternative waste processed. In this study, four systems of CW are observed by waste-treating. They are Free Water Surface Pistia stratiotes (FWS+Ps), and Free Water Surface without Pistia stratiotes (FWS-Ps). Pistia stratiotes is a macrophyte type of free floating. This study uses artificial waste with variety concentrate of COD 50, 100, and 150 ppm, also variety concentrate of chromium 1,2, and 3 during ten days. The parameters analyzed were DO, pH, turbidity, TSS, nitrate, phosphate, COD, chromium, and environmental quality. The results showed that the optimum efficiency of Chromium removal reached 60%, 66%, 76%, 73%, 78%, and 77%, while the optimum efficiency of COD allowance reached 79%, 72%, 75%, 66% respectively. , 88%, and 94% in variations 1,2 / 50, 3/50, 1,2 / 100, 3/100, 1,2 / 150, and 3/150. The accumulated value of chromium is greater in the root part compared to taruk. The model that can be used in determining the relationship between polluting compounds and decreasing the concentration of nutrients represented as nitrate and phosphate in the Constructed Wetland type of Free Water Surface using Pistia stratiotes are: $COD = -0,066 x + 0,107 y + 61,419$ and $Chrome = -0,030 x + 0.099 y + 47,255$

Keywords: Constructed Wetland, Free Water Surface, Chromium, Textile Wastewater, Pistia stratiotes.

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya alam yang dibutuhkan oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan hidup. Pada saat ini pertumbuhan penduduk yang semakin pesat mengakibatkan meningkatnya kebutuhan dasar manusia. Dalam rangka memenuhi kebutuhan tersebut, maka kegiatan perindustrian dikondisikan untuk memiliki laju produksi yang tinggi, sehingga mengakibatkan jumlah limbah yang dihasilkan menjadi semakin meningkat. Limbah adalah suatu zat dan/atau bahan buangan yang dihasilkan dari proses kegiatan manusia (Suharto, 2011). Limbah yang dihasilkan oleh kegiatan industri dapat mengandung bahan pencemar yang bersifat racun dan berbahaya. Limbah ini dikenal sebagai limbah B3 (bahan beracun dan berbahaya).

Salah satu bahan yang termasuk ke dalam golongan B3 adalah logam berat kromium. Kromium banyak digunakan dalam proses produksi oleh berbagai macam jenis industri, salah satunya adalah industri tekstil. Oleh karena itu, kromium dapat ditemukan dalam effluen limbah cair industri tekstil dengan konsentrasi yang tinggi. Limbah yang mengandung kromium akan bersifat toksik karena mengandung kromium heksavalen, sehingga dapat membahayakan lingkungan (Wahyuadi, 2004). Tanpa melalui proses pengolahan limbah cair, mayoritas industri tekstil yang terdapat di Kabupaten Bandung akan melepaskan secara langsung limbah cairnya ke badan air penerima, sehingga berpotensi mencemari badan air penerima dan menurunkan kualitas air badan air penerima. Salah satu industri tekstil yang menerapkan pengolahan limbah cair dengan sistem tersebut adalah industri tekstil di wilayah Majalaya, Kabupaten Majalaya, Jawa Barat. Industri tersebut melepaskan effluen limbah cairnya, yang merupakan sisa hasil produksinya, ke anak sungai yang bermuara di Sungai Citarum. Dari 174 industri tekstil yang terdapat di Kecamatan Majalaya, 139 diantaranya akan menghasilkan effluen limbah cair yang bersifat B3. Limbah tekstil khususnya limbah cair yang dibuang tanpa melalui proses pengolahan yang optimal, tentu akan mencemari badan air penerima sehingga kualitas air dari badan air penerima menjadi tidak layak untuk dikonsumsi dan dimanfaatkan bagi perikanan maupun pertanian (Putri, A.S., 2010).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Febrita (2015), konsentrasi kromium pada dua titik pengukuran di sepanjang Sungai Citarum Hulu telah melebihi standar berdasarkan Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat No.39 Tahun 2000, yaitu mencapai angka 0,77 mg/L dan 0,157 mg/L. Sampel ikan sapu-sapu juga mengandung kromium mencapai 103,925 mg/L pada salah satu titik pengukuran. Pemaparan Cr dalam kadar diatas ambang batas ke lingkungan dapat menimbulkan efek yang negatif bagi makhluk hidup.

Salah satu teknologi yang solutif dengan biaya yang cukup terjangkau, dan efektif untuk menghilangkan senyawa pencemar juga ramah lingkungan adalah dengan menggunakan teknologi ekologis yang memanfaatkan proses alami yaitu dengan sistem lahan basah buatan (*constructed wetland*). *Constructed wetland* merupakan alternatif pengolahan lanjutan yang memiliki karakteristik performa yang baik, biaya pengoperasian dan investasi yang minimum, serta sesuai untuk diterapkan di negara berkembang, seperti Indonesia (Sembiring, E.T.J., 2011). Penyisihan pencemar pada limbah cair industri dengan beban COD yang lebih tinggi menghasilkan efisiensi yang cukup tinggi karena kondisi *wetland* yang sudah lebih stabil saat beban organik tinggi (Rahmani, A. F., 2014). *Constructed*

wetland dibuat dengan desain khusus untuk menurunkan zat pencemar yang terkandung di dalam air dengan saling mengintegrasikan antara proses fisik-kimia, dan proses biologi. *Constructed wetland* telah digunakan selama beberapa dekade untuk mengatasi limbah berbahaya, seperti limbah tekstil (Halverson, 2004). Pemanfaatan *constructed wetland* dalam menurunkan kandungan zat pencemar seperti logam berat telah banyak dilakukan melalui berbagai penelitian (Lesage, 2007).

Pembuatan model fisik dari *constructed wetland* yang sederhana dan efektif diperlukan dalam pengolahan limbah. Pada penelitian ini dibuat model fisik dari sistem *constructed wetland* untuk dapat menyisihkan kandungan kromium dan beban organik pada limbah tekstil artifisial dan mengkaji faktor bioakumulasi tumbuhan, sehingga dapat memberikan masukan terhadap penentuan pengolahan limbah tekstil sebagai alternatif pengolahan limbah lanjutan.

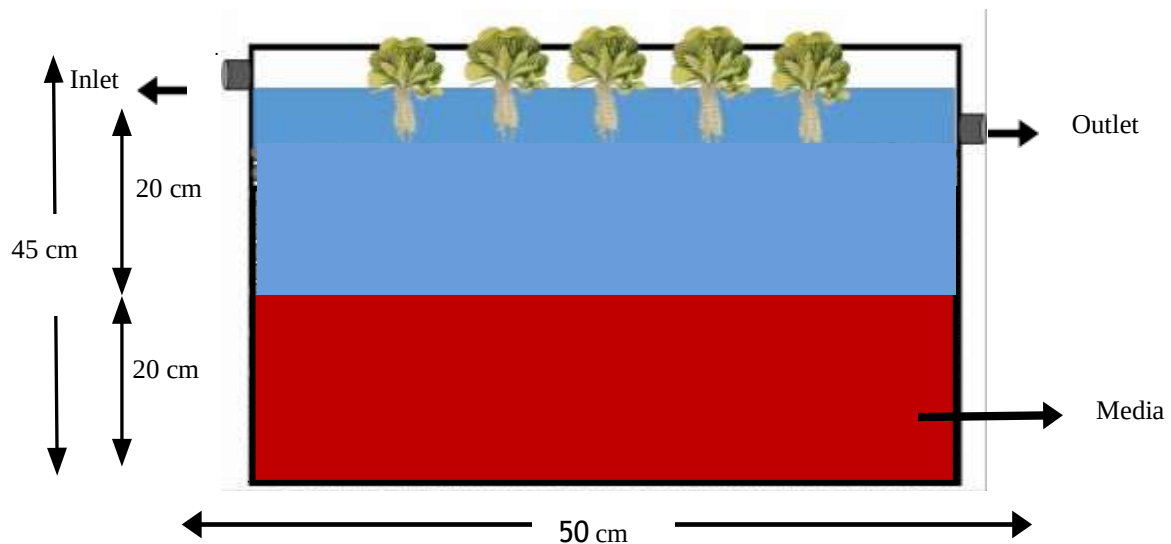
METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini model fisik konstruksi *constructed wetland* yang digunakan adalah tipe *Free Water Surface* (FWS) dengan jenis tumbuhan yang digunakan yaitu *Pistia stratiotes* merupakan tumbuhan air terapung (*floating plant*). Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan membuat model fisik *constructed wetland* sebagai unit pengolahan lanjutan untuk mengolah limbah cair tekstil. Limbah cair yang digunakan dalam penelitian dibuat secara artifisial dengan berbagai variasi konsentrasi kromium dan COD. Pada penelitian ini, pengukuran kualitas air dilakukan pada parameter, seperti DO, pH, Kekeruhan, TSS, Nitrat, Posfat, COD, Kromium, dan parameter lingkungan (suhu, kelembaban udara, UV index, dll).

Reaktor *Constructed Wetland*

Reaktor didesain dengan skala laboratorium berukuran Panjang 50 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 45 cm yang terdiri dari tiga zona inlet, pengolahan, dan outlet. Dalam zona pengolahan ditumbuhi tumbuhan *Pistia stratiotes* dengan kerapatan 30 mg/cm².

Reaktor diisi dengan media tanah dengan kedalaman 20 cm. Media yang digunakan adalah tanah lempung dengan porositas 34%. Reaktor *constructed wetland* pada penelitian ini disajikan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Reaktor *Constructed Wetland*

Pemilihan Tanaman

Dalam penelitian ini, tumbuhan yang digunakan merupakan tanaman *Pistia stratiotes* yang berusia ± 1 bulan dengan diameter ± 10 cm, setiap reaktor ditanami dengan 12 individu *Pistia stratiotes*. Tumbuhan didapatkan dari kolam di daerah Parongpong, Kabupaten Bandung, Jawa Barat.

Karakteristik Awal dan Pembuatan Limbah

Pada penelitian ini, limbah cair yang digunakan merupakan limbah artifisial yang mengacu terhadap karakteristik limbah cair tekstil. Karakteristik tersebut didapatkan dari output air limbah yang didapat dari pabrik tekstil di daerah Cibaligo, Cijerah, Kabupaten Bandung. Limbah artifisial dibuat dengan menambahkan Pupuk cair Wonder Gro, Glukosa dan $K_2Cr_2O_7$ kedalam air kran yang selanjutnya dihomogenisasikan. Wonder Gro merupakan sumber nitrat dan posfat sekaligus menjadi sumber nutrisi bagi tumbuhan uji karena didalamnya terdapat makro dan mikro nutrient yang dibutuhkan untuk perkembangan tumbuhan. Glukosa dan $K_2Cr_2O_7$ merupakan sumber karbon dan kromium yang merupakan sumber bahan pencemar pada limbah artifisial. Variasi konsentrasi COD dan kromium yang dibuat dalam limbah artifisial berturut- turut adalah 50, 100, dan 150 ppm untuk COD dan 1,2, dan 3 ppm untuk kromium.

Aklimatisasi Tanaman

Aklimatisasi merupakan suatu upaya penyesuaian fisiologis atau adaptasi dari suatu

organisme terhadap suatu lingkungan baru yang akan dimasukinya (Rittner dan Bailey, 2005).

Selama proses aklimatisasi, dilakukan pemberian nutrisi pada tumbuhan guna memenuhi kandungan dan komposisi ideal unsur hara organik yang dibutuhkan oleh tumbuhan. Dalam proses pemberian nutrisi dilakukan percobaan untuk menentukan jenis pupuk yang akan diaplikasikan terhadap tanaman dan konsentrasi yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman dengan pengamatan pada morfologi tumbuhan, warna daun, panjang daun, jumlah daun, dan jumlah tunas (Gambar 2).



Gambar 2. Dokumentasi Variasi Perlakuan Pupuk

Penjenuhan

Penjenuhan reaktor dilakukan dengan mengalirkan air secara terus menerus pada reaktor hingga air pada reaktor tidak mengalami penurunan. Air yang digunakan pada saat penjenuhan adalah air kran yang digunakan sebagai bahan pembuatan limbah artifisial.

Pengoperasian Reaktor/Pengolahan limbah

Proses pengolahan limbah dilakukan dengan mengalirkan limbah artifisial kedalam *constructed wetland* dengan variasi beban limbah organik 50, 100, dan 150 ppm dan variasi bahan pencemar logam berat kromium 1,2 dan 3 ppm dengan waktu detensi 1 hari untuk seluruh perlakuan.

Pengambilan dan Pengukuran Data

Pengambilan sampel dilakukan dengan metode grab sampel. Pengambilan sampel

dilakukan pada titik inlet dan pada titik outlet dengan masing-masing pengambilan dilakukan secara duplo di titik yang sama dan pada waktu yang sama. Pengambilan sampel dilakukan satu kali sehari yaitu pada pukul 08.00 untuk pengukuran keseluruhan parameter, yaitu DO, pH, Kekeruhan, TSS, Nitrat, Posfat, COD, dan Kromium. Pengambilan data parameter lingkungan dilakukan juga setiap harinya sebagai data pendukung. Data yang diperoleh dianalisis secara statistik antara sistem dengan perlakuan terhadap air limbah artifisial yang berupa Sistem *Free Water Surface* dengan *Pistia stratiotes* (FWS+PS), dan Sistem *Free Water Surface* tanpa *Pistia stratiotes* (FWS-PS). Efisiensi penyisihan untuk parameter COD dan krom. dihitung dengan Persamaan (1): $\eta = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$. Pada akhir perlakuan dilakukan juga perhitungan

C_o

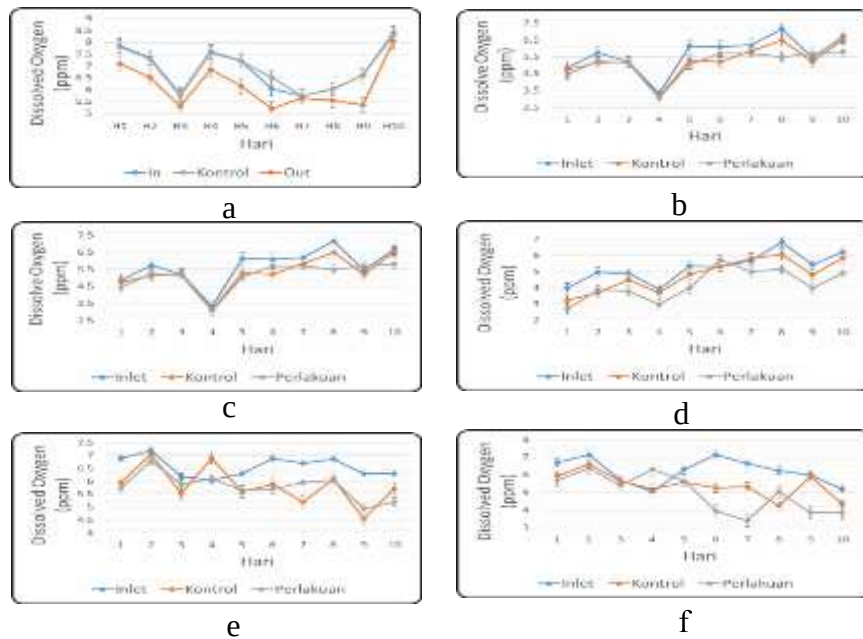
bioakumulasi kromium pada tumbuhan di daerah akar dan taruk. Analisis statistik yang digunakan adalah ANOVA One-Way dengan Uji Lanjutan Duncan. Selanjutnya, dalam menentukan hubungan antara penyerapan nutrisi yang direpresentasikan dalam nitrat dan posfat dengan reduksi senyawa pencemar, yaitu COD dilakukan dengan Analisis Regresi Linier Berganda (*Multiple Regression*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis dari seluruh parameter dilakukan untuk mengetahui kinerja *constructed wetland* dalam menyisihkan bahan pencemar logam berat kromium dan COD didalam limbah artifisial. Pengukuran keseluruhan parameter dilakukan setiap hari pada masing-masing reaktor dengan waktu detensi 1 hari dalam keseluruhan waktu pengamatan yaitu 10 hari. Berikut ini merupakan hasil analisis dan pengukuran yang disajikan dalam bentuk grafik dari keseluruhan parameter, yaitu DO, pH, Kekeruhan, TSS, Kromium, COD, nitrat, dan posfat. Selanjutnya akan dilakukan pembahasan mengenai bioakumulasi tumbuhan dan persamaan yang menunjukkan hubungan antara penyerapan nutrisi dan reduksi dari senyawa pencemar.

Dissolved Oxygen

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai DO yang dihasilkan dari inlet, kontrol, dan perlakuan menunjukkan pola yang serupa (Gambar 3). Nilai yang dihasilkan oleh reaktor kontrol dan perlakuan pada seluruh variasi memiliki kecenderungan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan inlet [DO Inlet (In) > Kontrol (K) > Perlakuan (P)].

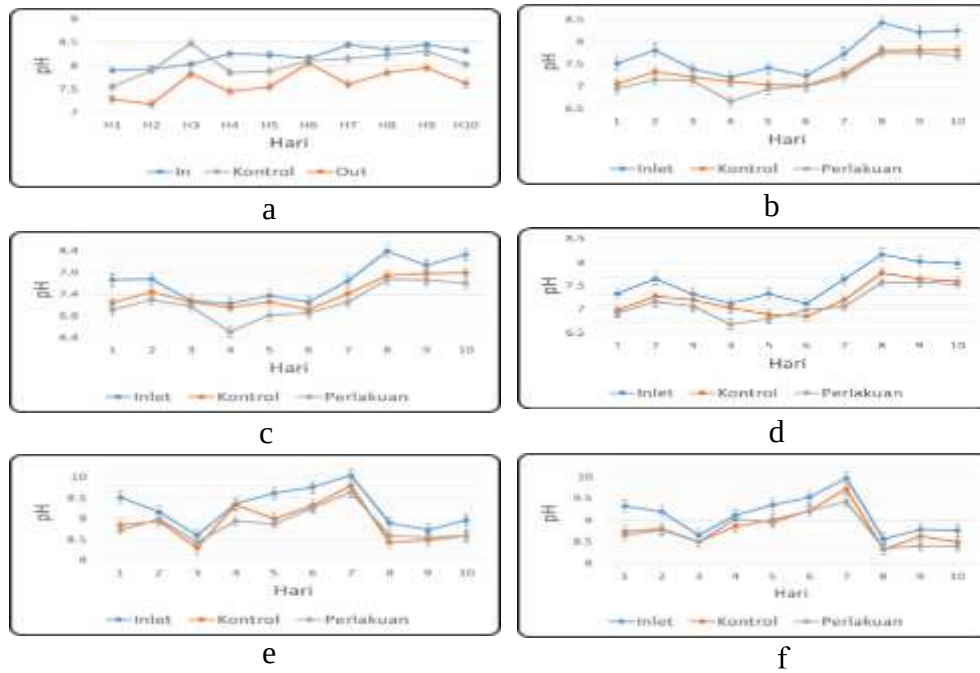


Gambar 3. Nilai DO [Variasi FWS (a) 1,2/50 (b) 1,2/50 (c) 1,2/100 (d) 3/100 (e) 1,2/150, dan (f) 3/150].

Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada reaktor perlakuan dalam seluruh variasi reaktor FWS, lebih banyak organisme yang menggunakan oksigen untuk proses dekomposisi bahan organik. Pada badan perairan terbuka, keberadaan gas oksigen terlarut di dalam air, selain berperan dalam keberlangsungan hidup organisme akuatis, juga berperan proses kimiawi yang terjadi di badan air. Proses dekomposisi bahan organik di dalam air berlangsung secara gradual, dan lama berlangsungnya cukup lama. Fluktuasi kandungan oksigen di dalam kolom air juga berlangsung secara gradual dan fluktuasi kandungan oksigen menandakan respon dari adanya reaksi oksidasi dalam badan air dan respon dari organisme akuatik terhadap suplai makanan (Asdak, 2010).

pH

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai pH yang dihasilkan dari inlet, kontrol, dan perlakuan menunjukkan pola yang serupa (Gambar 4). Nilai pH yang dihasilkan oleh reaktor kontrol dan perlakuan pada seluruh variasi memiliki kecenderungan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan inlet [$\text{pH Inlet (In)} > \text{Kontrol (K)} > \text{Perlakuan (P)}$]. Nilai pH pada inlet adalah basa, sedangkan nilai pH pada reaktor kontrol dan perlakuan cenderung mendekati netral ($\text{pH } 7$). Hal ini menunjukkan bahwa kualitas air pada reaktor kontrol dan perlakuan meningkat.

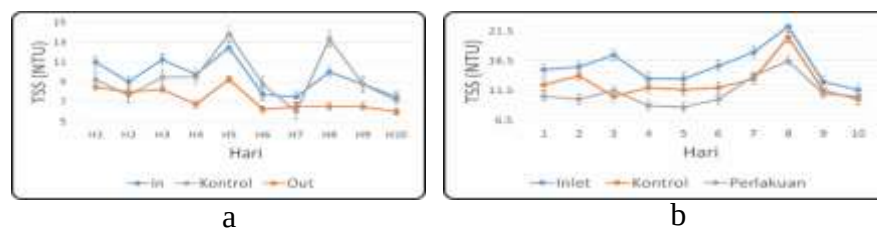


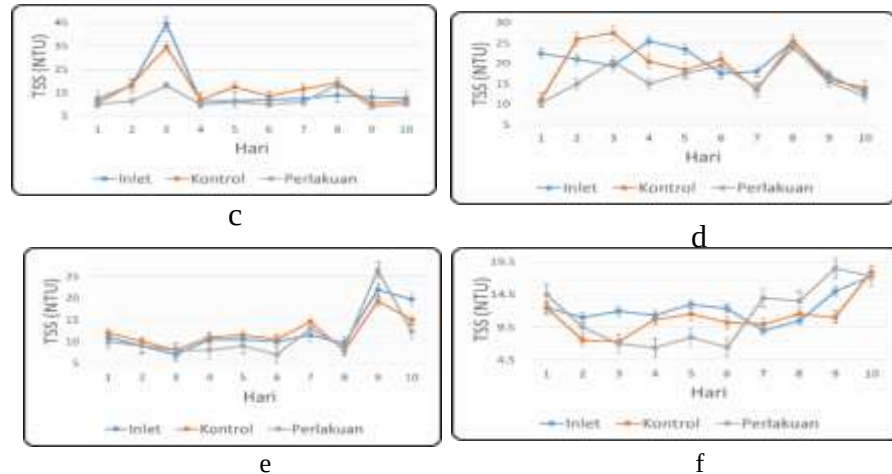
Gambar 4. Nilai pH [Variasi FWS (a) 1,2/50 (b) 1,2/50 (c) 1,2/100 (d) 3/100 (e) 1,2/150, dan (f) 3/150].

Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada reaktor perlakuan dalam seluruh variasi reaktor FWS memiliki kualitas air yang lebih baik dibandingkan dengan inlet dan kontrol. Pergerakan nilai pH dari basa pada inlet menuju netral pada reaktor perlakuan CW tipe FWS mengindikasikan bahwa terdapat penurunan nilai konsentrasi limbah dari inlet menuju outlet reaktor CW tipe FWS.

TSS

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai TSS yang dihasilkan dari inlet, kontrol, dan perlakuan menunjukan pola yang hampir serupa (Gambar 5), yaitu nilai TSS Inlet (In) > TSS Kontrol (K) > TSS Perlakuan (P).





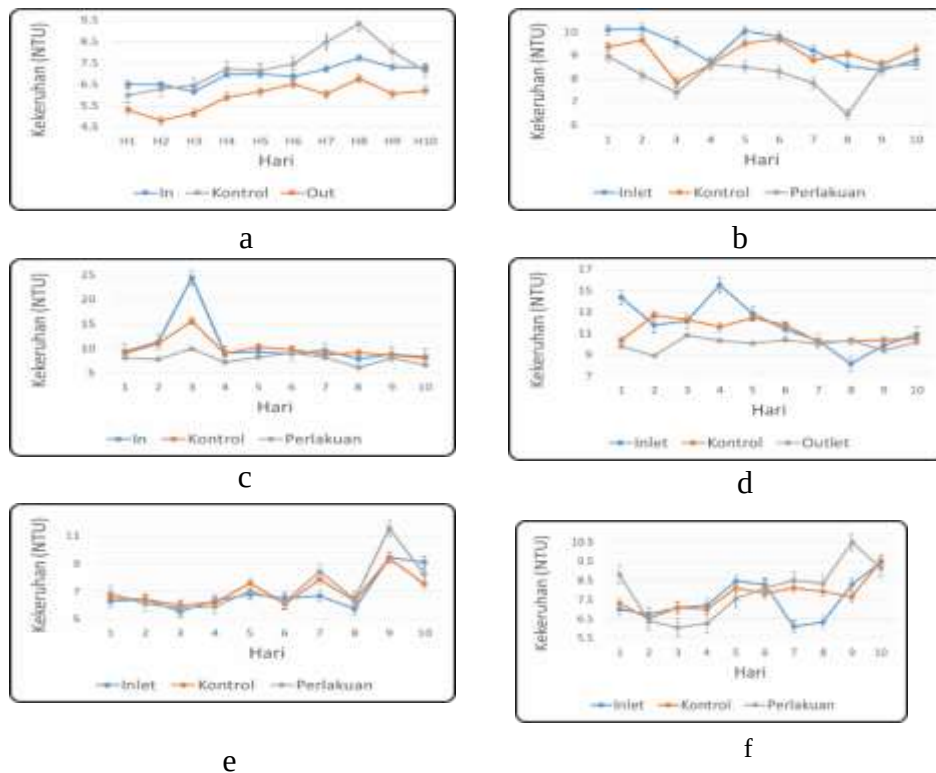
Gambar 5. Nilai TSS [Variasi FWS (a) 1,2/50 (b) 1,2/50 (c) 1,2/100 (d) 3/100 (e) 1,2/150, dan (f) 3/150].

Nilai TSS pada reaktor FWS tersebut sempat mengalami kenaikan pada beberapa hari terakhir perlakuan. Hal ini kemungkinan dikarenakan kondisi tanaman yang menurun akibat dari cekaman konsentrasi tertinggi limbah artifisial. Menurut Soemarwoto (1984), kandungan organik, seperti serat tumbuhan dan padatan biologi (Sel alga, bakteri, dll) dapat menambahkan sumbangan bagi nilai TSS.

Kekeruhan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Kekeruhan yang dihasilkan dari inlet, kontrol, dan perlakuan menunjukan pola yang hampir serupa yaitu nilai Kekeruhan Inlet (In) > Kekeruhan kontrol (K) > Kekeruhan Perlakuan (P). Nilai Kekeruhan yang dihasilkan pada reaktor kontrol dan perlakuan memiliki kecenderungan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan inlet, kecuali pada reaktor reaktor FWS dengan variasi konsentrasi limbah 1,2/150 dan reaktor FWS 3/150 yang merupakan variasi konsentrasi limbah tertinggi. Terdapat peningkatan nilai kekeruhan pada reaktor kontrol dan perlakuan pada reaktor yang di berikan umpan limbah artifisial dengan variasi konsentrasi 1,2/150 dan 3/150.

Hal tersebut dikarenakan reaktor kontrol dari perlakuan tersebut sempat mengalami peningkatan nilai kekeruhan pada beberapa hari terakhir jika dibandingkan dengan inlet. Hal ini dikarenakan terjadinya kenaikan nilai pada beberapa hari terakhir perlakuan. Peningkatan konsentrasi kekeruhan sebanding dengan Peningkatan konsentrasi padatan tersuspensi. Peningkatan turbiditas di dalam kolom air disebabkan oleh keberadaan partikel-partikel tersuspensi, seperti tanah liat dan/atau lempung, lumpur, kandungan bahan organik, serta kandungan organisme mikroskopis (NN, 1988).



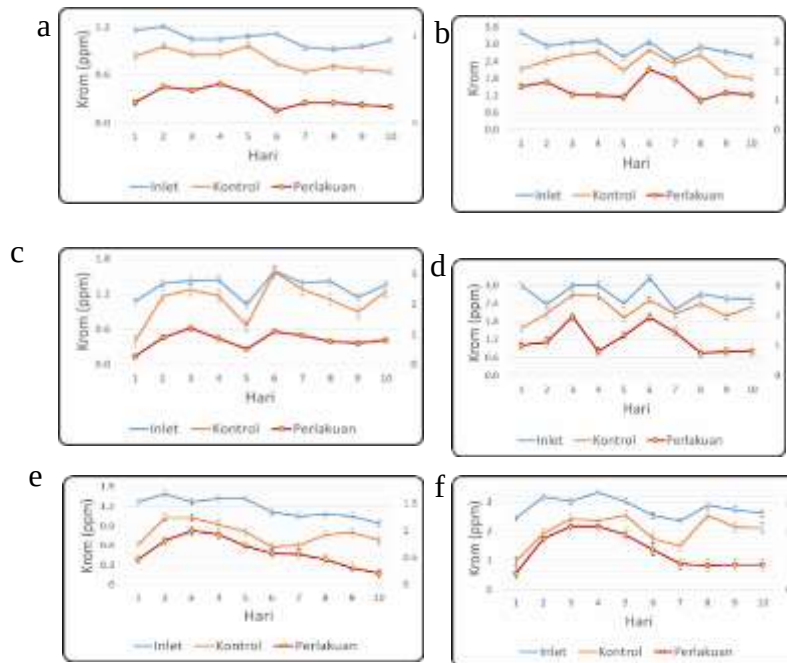
Gambar 6. Nilai Kekeruhan [Variasi FWS (a) 1,2/50 (b) 1,2/50 (c) 1,2/100 (d) 3/100 (e) 1,2/150, dan (f) 3/150].

Penyisihan Kromium (Cr)

Hasil pengolahan limbah yang mengandung kromium pada *constructed wetland* tipe FWS yang dialiri dengan berbagai variasi konsentrasi limbah ditunjukkan pada Gambar 7. Nilai Krom yang dihasilkan dari inlet, kontrol, dan perlakuan menunjukkan pola yang serupa, yaitu nilai Krom Inlet (In) > Krom kontrol (K) > Krom Perlakuan (P). Nilai Krom yang dihasilkan pada reaktor perlakuan memiliki kecenderungan relatif kecil dari nilai krom pada kontrol dan inlet. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penyisihan konsentrasi krom yang terjadi akibat pengolahan menggunakan *constructed wetland* tipe FWS menggunakan *Pistia stratiotes*.

Gambar 7.a dan 7.b menunjukkan hasil pengolahan dari CW FWS dengan variasi konsentrasi kromium sebesar 1,2 ppm dan 3 ppm dengan nilai variasi COD 100 ppm. Gambar 7.c dan 7.d menunjukkan hasil pengolahan dari CW FWS dengan variasi konsentrasi kromium sebesar 1,2 ppm dan 3 ppm dengan nilai variasi COD 150 ppm. Hasil efisiensi pengolahan reaktor CW FWS dengan variasi konsentrasi 1,2/50, 3/50, 1,2/100, 3/100, 1,2/150, dan 3/150 berturut-turut adalah mencapai 60%, 66%, 76%, 73%, 78%, dan 77%.

Mekanisme pengurangan logam berat dalam sistem *constructed wetland* secara umum meliputi mekanisme abiotik (secara fisika dan kimia) dan biotik (dengan adanya bakteri dan tumbuhan).



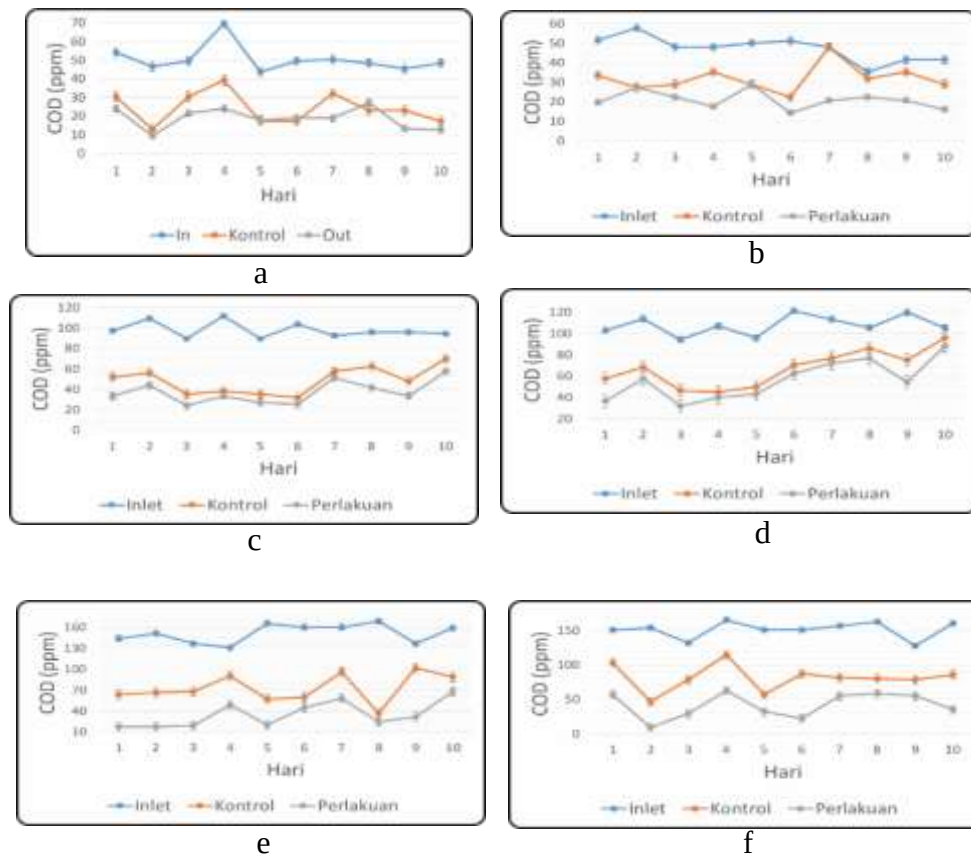
Gambar 7. Nilai Krom [Variasi FWS (a) 1,2/50 (b) 1,2/50 (c) 1,2/100 (d) 3/100 (e) 1,2/150, dan (f) 3/150].

Mekanisme penghilangan logam berat secara abiotik meliputi sedimentasi, reaksi oksidasi- reduksi dan penguapan. Penurunan logam berat dapat terjadi dikarenakan pengendapan akibat reduksi dari bilangan oksidasi kromium sehingga logam dapat berikatan dengan materi organik di dalam tanah (Vymazal, 2006). Pada proses ini, ion logam berikatan dengan besi oksida atau mangan oksida dalam tanah (Halverson, 2004).

Penyisihan COD

Hasil pengolahan beban organik pada *constructed wetland* tipe FWS yang dialiri dengan berbagai variasi konsentrasi limbah ditunjukkan pada Gambar 8. Nilai COD yang dihasilkan dari inlet, kontrol, dan perlakuan menunjukkan pola yang serupa, yaitu nilai COD Inlet (In) > COD kontrol (K) > COD Perlakuan (P). Nilai COD yang dihasilkan pada reaktor perlakuan memiliki kecenderungan nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan kontrol dan inlet. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penyisihan konsentrasi COD yang terjadi

akibat pengolahan menggunakan *constructed wetland* tipe FWS menggunakan Tumbuhan *Pistia stratiotes*.



Gambar 8. Nilai COD [Variasi FWS (a) 1,2/50 (b) 1,2/50 (c) 1,2/100 (d) 3/100 (e) 1,2/150, dan (f) 3/150].

Gambar 8.a dan 8.b menunjukkan hasil pengolahan dari CW FWS dengan variasi konsentrasi kromium sebesar 1,2 ppm dan 3 ppm dengan nilai variasi COD 100 ppm. Gambar 8.c dan 8.d menunjukkan hasil pengolahan dari CW FWS dengan variasi konsentrasi kromium sebesar 1,2 ppm dan 3 ppm dengan nilai variasi COD 150 ppm. Hasil efisiensi pengolahan reaktor CW FWS dengan variasi konsentrasi 1,2/50, 3/50 1,2/100, 3/100, 1,2/150, dan 3/150 berturut-turut adalah mencapai 79%, 72%, 75%, 66%, 88%, dan 94%. Kinerja dari *constructed wetland* tipe FWS adalah dengan memanfaatkan akar tanaman air dalam penyisihan kandungan zat pencemar dan oksigen yang dihasilkan. Mekanisme yang terjadi didalam *wetland* dalam memperbaiki kualitas air terdiri dari serangkaian proses yang saling berhubungan. Kandungan bahan organik di dalam air limbah dapat disisihkan dengan efisien dengan proses pengendapan, deposisi dan filtrasi. Penyisihan kandungan organik terlarut juga diakibatkan oleh pertumbuhan mikroba dengan cara menempel atau tersuspensi.

Constructed wetland tipe FWS sangat efektif dalam menyisihkan padatan tersuspensi melalui filtrasi dan sedimentasi (Kadlec dan Knight, 1996)

Model Penyisihan dan Bioakumulasi Krom

Dalam penelitian ini dilakukan juga pengkajian terhadap senyawa nitrat dan posfat yang diserap oleh tumbuhan *Pistia Stratiotes* di dalam *constructed wetland* selama masa pengolahan limbah. Juga faktor bioakumulasi logam berat kromium pada tumbuhan. Tumbuhan *Pistia Stratiotes* menggunakan air limbah sebagai sumber unsur hara bagi kehidupannya. Maka dari itu selama masa pengolahan limbah dilakukan pengkajian terhadap jumlah unsur hara yang diserap oleh tumbuhan yang direpresentasikan sebagai nitrat dan posfat lalu dilakukan pengkajian terhadap hubungannya dengan presentase reduksi senyawa pencemar dalam limbah, dalam hal ini yaitu senyawa krom dan COD. Dibuat dua model yang ditunjukkan dalam persamaan 2 dan persamaan 3. Kedua persamaan tersebut menunjukkan hubungan antara

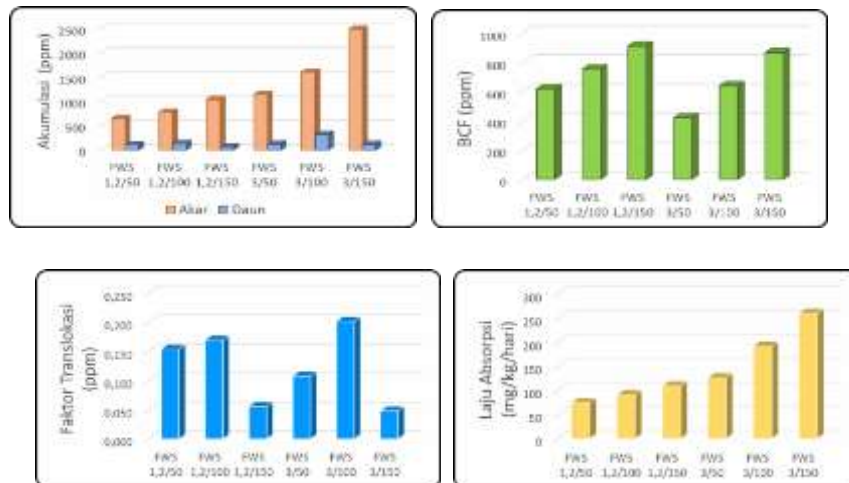
presentase penyerapan nutrisi (nitrat dan fosfat) terhadap presentase reduksi COD dan krom. Berikut ini merupakan model persamaan yang merepresentasikan hubungan tersebut :

$$\text{COD} = -0,066 x + 0,056 y + 61,419$$

$$\text{Krom} = -0,030 x + 0,056 y + 47,255$$

Dengan proses transpirasi daun, *pistia stratiotes* berpotensi dalam penyisihan konsentrasi logam berat yang terkandung di dalam air limbah dengan kandungan bahan organik yang tinggi. Senyawa pencemar dapat terakumulasi pada tumbuhan bersamaan dengan penyerapan air. Pada proses penyerapan air, kandungan bahan organik dan anorganik yang terkandung di dalam air tersebut juga akan turut terserap. Adapun kelebihan dari *pistia stratiotes* adalah membutuhkan waktu yang singkat dalam proses pertumbuhan, memiliki tingkat absorpsi yang relatif besar, tidak sulit untuk dijangkau, dan mudah beradaptasi terhadap iklim (Fachrurrozi, 2010). Selain itu, *pistia stratiotes* merupakan tanaman yang dapat menyisihkan kandungan logam berat pada badan air dengan proses adaptasi terhadap lingkungan. Dengan kandungan logam berat yang terdapat di lingkungan, tanaman tersebut akan mengeksperikan gen dan membentuk struktur pengikat yaitu senyawa fitokhelatin. Pembentukan senyawa pengikat ini berperan dalam meningkatkan persentase efisiensi penyisihan logam berat dengan tanaman (Sastimahardja dan Siregar, 1996). Secara kimiawi, penyisihan logam berat berlangsung dengan proses absorpsi,

dimana logam berat yang berbentuk ion-ion terlarut dalam air akan diserap oleh tanaman. Pada Gambar 9 dapat terlihat bahwa akumulasi logam berat lebih banyak terdapat di bagian akar dibandingkan daun, Hal ini disebabkan karena mekanisme fitoremediasi tanaman Kiapu merupakan rhizofiltrasi.



Gambar 9. Grafik Bioakumulasi (a) Total Akumulasi, (b) BCF, (c) TF, dan (d) Laju Absorpsi.

Secara radial, ion-ion krom akan terserap melalui akar tanaman. Ion krom dalam bentuk terlarut dalam air akan menembus epidermis akar. Selanjutnya, ion krom yang terlarut dalam air akan memasuki jaringan korteks dan menuju ke jaringan xylem dengan melalui lintasan apoplas. Pengangkutan ion krom dari epidermis tidak secara langsung ke pembuluh xylem, melainkan akan melalui lintasan apoplas dikarenakan terdapat pita kaspari pada sel endodermis yang memiliki sifat *impermeable*. Keadaan tersebut menunjukkan bahwa pengangkutan ion krom akan dikendalikan oleh membrane plasma sel endodermis yang berperan dalam proses pengangkutan, seperti pengendalian laju dan jenis-jenis ion yang diangkut (Lakitan, 2009). Proses absorpsi dan akumulasi logam berat oleh tanaman terdiri dari 3, yaitu proses absorpsi kandungan logam berat dengan akar, proses translokasi kandungan logam berat dari akar ke bagian sel tanaman tertentu, dan proses lokalisasi kandungan logam berat dari sel tanaman tertentu agar tidak menghambat proses metabolisme tanaman. Konsentrasi logam berat yang mengalami penyerapan oleh tanaman akan berbanding terbalik dengan konsentrasi logam berat pada air limbah karena tanaman memiliki kemampuan dalam melakukan bioabsorpsi, sehingga semakin tinggi konsentrasi logam berat kromium yang diserap oleh tanaman, maka konsentrasi logam berat dalam air limbah akan mengalami penurunan.

Selain dari proses bioabsorpsi yang telah diuraikan di atas, terdapat juga proses bioakumulasi dalam penyisihan konsentrasi logam berat. Secara simultan, proses bioakumulasi ini sejalan dengan proses bioabsorpsi. Pada proses bioakumulasi, logam berat akan terendapkan pada proses metabolisme dan sekresi sel pada tingkat kedua. Proses bioakumulasi ini sangat berpengaruh terhadap energy dan sensitivitasnya terhadap beberapa parameter berbeda seperti pH, suhu, kekuatan ionic, cahaya, dan lain-lain. Penghambatan proses biakumulasi dapat terjadi apabila suhu dalam keadaan rendah serta sumber energy dan penghambat metabolisme tidak tersedia. Selain itu, terdapat keterbatasan pada proses penyerapan logam berat oleh tanaman karena proses akumulasi ion dapat menimbulkan sifat racun terhadap mikroorganisme dan tumbuhan air, sehingga dapat menjadi penghambat pada proses pertumbuhan mikroorganisme dan tanaman air. Sedangkan mikroorganisme dan tanaman air yang persisten terhadap efek racun dari ion logam berat akan dihasilkan dengan proses selektif mikroorganisme ion logam berat secara teliti (Gadd, 1990).

Logam berat yang berikatan dengan fitokhelatin akan memasuki sel akar melalui proses transport aktif dan akan dilanjutkan dengan proses pengangkutan dari jaringan floem dan xylem menuju ke bagian tanaman tertentu, dan logam berat krom terdapat di bagian tanaman tertentu akan diekskresikan melalui proses pengguguran dedaunan yang sudah tua. Secara tidak langsung, proses pengguguran dedaunan dapat menurunkan konsentrasi logam berat krom pada tanaman. Dalam proses penyerapan logam berat, tanaman air dipengaruhi oleh faktor fisik-kimia lingkungan, seperti intensitas cahaya, suhu, pH, kandungan logam krom di dalam air, serta faktor pengkhelat yang mampu untuk mengurangi sifat toksik logam krom sehingga tanaman dapat tumbuh melalui proses yang baik.

KESIMPULAN

Model konstruksi *constructed wetland* tipe FWS dengan menggunakan *Pistia stratiotes* mampu mereduksi bahan pencemar logam berat dan organik dalam limbah dalam waktu detensi yang relatif singkat, yaitu 1 Hari. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan Kromium berturut-turut mencapai 60%, 66%, 76%, 73%, 78%, dan 77%, sedangkan untuk efisiensi

penyisihan COD berturut-turut mencapai 79%, 72%, 75%, 66%, 88%, dan 94% pada variasi 1,2/50, 3/50, 1,2/100, 3/100, 1,2/150, dan 3/150. Dengan demikian model konstruksi FWS yang diterapkan pada penelitian dapat menjadi alternatif pengolahan limbah lanjutan pada industri tekstil. Nilai akumulasi kromium lebih besar pada bagian akar dibandingkan dengan taruk, yaitu mencapai 2598,750 ppm. Model yang dapat digunakan dalam menentukan

88 *Jurnal Teknik Lingkungan Vol. 25 No. 1 – Putri Brilian dan Barti Setiani Muntalif*

hubungan antara penyisihan senyawa pencemar dan penurunan konsentrasi nutrisi yang direpresentasikan sebagai nitrat dan posfat dalam sistem *Constructed Wetland* tipe *Free Water Surface* menggunakan *Pistia stratiotes* adalah : $COD = -0,066 x + 0,107 y + 61,419$ dan Krom = $-0,030 x + 0,099 y + 47,255$.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C (2010): *Hidrologi dan pengelolaan Daerah Aliran Sungai: Edisi Revisi Kelima*, Yogyakarta, Gadjah Mada University Press.
- Fachrurrozi, M. B. U, Listiatie, dan Suryani, D. (2010). *Pengaruh Variasi Biomassa Pistia stratiotes L. Terhadap Penurunan Kadar Bod, Cod, Dan TSS Limbah Cair Tahu di Dusun Klero Sleman Yogyakarta*, Jurnal Kesehatan Masyarakat, **4** (1), 0575.
- Gadd, G. M. (1990). *Heavy Metal Accumulation By Bacteria And Other Microorganisms*, Experientia, **46**, 834-840.
- Halverson, N. V. (2004): *Review of Constructed Subsurface Flow vs Surface Flow Wetlands*. USA: Westinghouse Savannah River Company.
- Kadlec R. H., dan Knight R. L. (1996): *Treatment Wetlands*, First Edition, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Khopkar, S. M. (1990): *Konsep Dasar Analitik*, Jakarta, Universitas Indonesia Press.
- Lakitan, B. (2009). *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*, Jakarta, Raja Grafindo Persada.
- Lesage, E. (2007): *Behaviour of Heavy Metals in Constructed Treatment Wetlands*, PhD Thesis. Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Ghent, Belgium, 247 pp.
- Metcalf dan Eddy (1993): *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, London, New York, McGraw-Hill Comp.
- NN. (1988): *Guidelines for Drinking Water Quality (vol 2)*, Belgium, World Health Organization.
- Rittner, D., dan Bailey, R. A. (2005): *Encyclopedia of Chemistry*, Facts on File, United States of America.
- Sastimahardja, D dan Siregar, A. 1996. *Fisiologi Tumbuhan*, Bandung, ITB press.
- Putri, A. S., & Soewondo, P. (2010). OPTIMASI PENURUNAN WARNA PADA LIMBAH TEKSTIL MELALUI PENGOLAHAN KOAGULASI DUA TAHAP. Jurnal Teknik Lingkungan, 16(1), 10-20.
- Rahmani, A. F., & Handajani, M. (2014). EFISIENSI PENYISIHAN ORGANIK LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU DENGAN ALIRAN HORIZONTAL SUBSURFACE PADA CONSTRUCTED WETLAND MENGGUNAKAN *Typha angustifolia*. Jurnal Teknik Lingkungan, 20(1), 78-87.
- Shanker, A. K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H., dan Ayudainayagam, S. (2005): Chromium Toxicity in Plants, *Environment International*, **31**, 739-753.
- Sembiring, E. T. J., & Muntalif, B. S. (2011). Optimasi Efisiensi Pengolahan Lindi dengan Menggunakan Constructed Wetland. Jurnal Teknik Lingkungan, 17(2), 1-10.
- Soemarwoto, I. (1984): *Biologi Umum*, Jakarta, Gramedia

- Suharto, I. (2011): *Limbah Kimia dalam Pencemaran Air dan Udara*, Yogyakarta, Andi Offset.
- Vymazal, J. (2006): *Removal of Nutrients in Various Types of Constructed Wetlands*. *Science of the Total Environment*, **50**, 115-124.
- Wahyuadi, S. J. (2004): *Pengolahan dan Pemanfaatan Limbah industri Penyamakan Kulit*. http://www.KimPraswil.go.id/balitbaung/Puskim/protek_Kim/ttg_Kim_Limbah_kulit.html. Diakses tanggal 28 Desember 2018.
- Widowati, W., Sastiono, A., dan Jusuf, R. R. (2008): *Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*, Yogyakarta, ANDI.
- Zou, J. H., Wang, M., Jiang, W.S dan Liu, D. H. (2006): *Effects of Hexavalent Chromium (VI) on Root Growth and Cell Division in Root Tip Cells of Amaranthus viridis L*, *Pak.J.Bot.*, **38**(3), 673-681.