

PENYISIHAN LOGAM PADA LINDI DENGAN SISTEM *SUB-SURFACE CONSTRUCTED WETLAND*

Puja Dayanto Wibowo¹, Rizki Purnaini¹, Yulisa Fitriani¹

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Tanjungpura, Pontianak
Email: mahameru_dewa@msn.com

ABSTRAK

Salah satu hasil dari proses pengolahan sampah yang dilakukan di TPA adalah air lindi. Sebagian besar sampah yang diolah di TPA Batu Layang berasal dari limbah domestik, walaupun demikian, di dalam air lindi tersebut juga memiliki kandungan logam. Keberadaannya di lingkungan harus dihindari karena apabila logam berat masuk ke dalam rantai makanan dalam kadar tertentu dapat mengganggu kesehatan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui seberapa besar efisiensi penyisihan logam Cu, Zn, dan Fe pada lindi dengan menggunakan sistem *Sub-surface Constructed Wetland* menggunakan tanaman *Cyperus papyrus* dan *Echinodorus palaefolius*, membandingkan besar efisiensi antara tanaman *Cyperus papyrus* dan *Echinodorus palaefolius* dalam penyisihan logam pada lindi dan menentukan waktu detensi yang efektif untuk menurunkan kadar logam pada lindi. Setelah dilakukan penelitian, efisiensi penyisihan logam Cu, Fe dan Zn pada lindi dalam bak I dengan tanaman *echinodorus paleofolius* berdasarkan hasil analisis sampel awal lindi masing-masing sebesar 34.5%, 85.5% dan 94.2% dan pada bak II dengan tanaman *cyperus papyrus* masing-masing sebesar -3.4%, 76.4% dan 91.4%. Apabila berdasarkan hasil analisis effluent hari ke-0, maka efisiensi penyisihan logam pada bak I masing-masing sebesar 87.7%, 99.3% dan 95.5% sedangkan pada bak II masing-masing sebesar 75.9%, 98.8% dan 93.4%. Tanaman *echinodorus paleofolius* mampu menyerap logam Cu, Fe dan Zn dengan efisiensi penyerapan masing-masing sebesar 82.9%, 92.3% dan 90.5%, lebih banyak dibandingkan dengan tanaman *cyperus papyrus* yang memiliki efisiensi penyerapan masing-masing 71.5%, 90.8% dan 87.6%. Waktu detensi yang efektif dalam penurunan logam Cu, Fe dan Zn pada bak I dengan tanaman *echinodorus paleofolius* adalah 6 hari, sedangkan pada bak II dengan tanaman *cyperus papyrus*, waktu detensi untuk ketiga logam adalah 9 hari.

Kata kunci: Lindi, Logam, *Constructed Wetland*

ABSTRACT

*One of the results from the sewage treatment process that carried out in landfill is leachate. Most of the waste that processed in TPA Batu Layang derived from domestic waste, however, in the leachate also has a metal content. It's presence in the environment should be avoided because if the heavy metals come into the food chain in certain levels, it can be detrimental to health. The purpose of this study was to determine how big the removal efficiency of Cu, Zn, and Fe in the leachate by using system Sub-surface Constructed Wetland using plant *Cyperus papyrus* and *Echinodorus palaefolius*, comparing large efficiency between plant *Cyperus papyrus* and *Echinodorus palaefolius* in the allowance metals in leachate and determine the detention time effective to reduce levels of metals in the leachate. After doing research, the removal efficiency of Cu, Fe and Zn in leachate in the tub I with plants *Echinodorus paleofolius* based on the results of the initial analysis of the leachate samples respectively 34.5%, 85.5% and 94.2% and in the tub II with *Cyperus papyrus* plants respectively amounted to -3.4%, 76.4% and 91.4%. If the results of the analysis based of the effluent days 0, then the metal removal efficiency in the tub I respectively 87.7%, 99.3% and 95.5% while in the tub II respectively 75.9%, 98.8% and 93.4%. *Echinodorus paleofolius* plants can absorb metals Cu, Fe and Zn absorption efficiency respectively 82.9%, 92.3% and 90.5%, more than the *Cyperus papyrus* plant which has an efficiency of absorption, respectively 71.5%, 90.8% and 87.6%. The effective detention time in the reduction of Cu, Fe and Zn in the tub I with plants *Echinodorus paleofolius* was 6 days, while the tub II with the plant *Cyperus papyrus*, detention time for all three metals was 9 days.*

Keywords: *Leachate, Metal, Constructed Wetland*

1. PENDAHULUAN

Pontianak merupakan salah satu kota dengan jumlah pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi. Volume sampah yang dihasilkan dari aktivitas kehidupan penduduk yang tinggal di wilayah Pontianak juga cukup tinggi. Untuk mengolah sampah yang dihasilkan tiap harinya, Pemerintah Kota Pontianak menggunakan sebuah lokasi yang terletak kawasan Batu Layang untuk digunakan sebagai Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah-sampah tersebut.

Selain residu, salah satu "produk" dari proses pengolahan sampah yang dilakukan di TPA adalah air lindi. Air lindi berasal dari endapan sampah yang bercampur dengan air hujan. Lindi bersifat toksik karena adanya zat pengotor dalam timbunan yang mungkin berasal dari buangan limbah industri, debu, lumpur hasil pengolahan limbah, limbah rumah tangga yang berbahaya, atau dari dekomposisi yang normal terjadi pada sampah. Apabila tidak segera diatasi, *landfill* yang dipenuhi air lindi dapat mencemari lingkungan, terutama air tanah dan air permukaan.

Walaupun sebagian besar sampah yang diolah di TPA berasal dari limbah rumah tangga, namun di dalam air lindi tersebut juga memiliki kandungan logam. Kandungan logam ini memerlukan *treatment* khusus untuk mereduksinya sebelum air lindi tersebut dibuang ke lingkungan. Pengolahan air lindi yang ada saat ini belum cukup untuk mengolah dan mengurangi kandungan logam yang terkandung dalam air lindi tersebut. Air lindi yang mengandung logam ini apabila dibuang langsung ke lingkungan akan memberikan dampak negatif terutama bagi kesehatan masyarakat, khususnya masyarakat yang tinggal di sekitar TPA Batu Layang.

Untuk mengolah dan mengurangi kandungan logam yang terkandung di dalam air lindi maka diperlukan suatu pengolahan khusus. Salah satu metode pengolahan yang efektif, tidak memerlukan biaya yang tinggi serta memiliki nilai estetika yang dapat digunakan adalah dengan sistem lahan basah buatan atau *constructed wetland*. Sistem Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetland*) merupakan proses pengolahan limbah yang meniru/aplikasi dari proses penjernihan air yang terjadi di lahan basah/rawa (*Wetlands*), dimana tumbuhan air yang tumbuh di daerah tersebut memegang peranan penting dalam proses pemulihan kualitas air limbah secara alamiah (*self purification*). Tanaman yang digunakan dalam *constructed wetland* ini akan mereduksi kandungan logam di dalam air lindi secara biologis.

Tujuan penelitian ini adalah untuk Mengetahui seberapa besar efisiensi penyisihan logam Cu, Zn, dan Fe pada lindi dengan menggunakan sistem *Sub-surface Constructed Wetland* menggunakan tanaman *Cyperus papyrus* dan *Echinodorus palaefolius*, membandingkan besar efisiensi antara tanaman *Cyperus papyrus* dan *Echinodorus palaefolius* dalam penyisihan logam pada lindi serta menentukan waktu detensi yang efektif untuk menurunkan kadar logam pada lindi dengan sistem *Sub-surface Constructed Wetland*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Lindi memiliki karakteristik tertentu, hal ini disebabkan limbah yang dibuang pada lokasi pembuangan sampah berasal dari berbagai sumber yang berbeda dengan tipe limbah yang berbeda pula. Menurut Fadel *et al*, (1997), komposisi lindi tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik sampah (organik, anorganik), tetapi juga mudah tidaknya penguraian (larut / tidak larut), kondisi tumpukan sampah (suhu, pH, kelembaban, umur), karakteristik sumber air (kuantitas dan kualitas air yang dipengaruhi iklim dan hidrogeologi), komposisi tanah penutup, ketersediaan nutrien dan mikroba, serta kehadiran inhibitor.

Lindi mengandung bahan organik, bahan anorganik dan bakteri patogen (Garnasih, 2009). Bahan organik yang terdapat pada lindi diindikasikan dengan nilai BOD dan COD (Qasim, 1994). Beberapa hara tanaman, baik berupa hara makro seperti: nitrat (NO_3^-), amonium (diindikasikan oleh NH_3), fosfat (PO_4^{3-}), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan Sulfat (SO_4^{2-}); hara mikro seperti : besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu) dan seng (Zn) ditemukan di dalam lindi. Sedangkan bakteri patogen yang umumnya diindikasikan oleh nilai *E. coli* juga terdapat pada lindi.

Sistem Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetlands*) merupakan proses pengolahan limbah yang meniru/aplikasi dari proses penjernihan air yang terjadi di lahan basah/rawa (*Wetlands*), dimana tumbuhan air (*Hydrophita*) yang tumbuh di daerah tersebut memegang peranan penting dalam proses pemulihan kualitas air limbah secara alamiah (*self purification*).

Secara umum sistem pengolahan limbah dengan Lahan Basah Buatan (*Constructed Wetland*) ada 2 (dua) tipe, yaitu sistem aliran permukaan (*Surface Flow Constructed Wetland*) atau FWS (*Free Water System*) dan sistem aliran bawah permukaan (*Sub-Surface Flow Constructed Wetland*) atau sering dikenal dengan sistem *SSF-Wetlands* (Leady, 1997). Sistem Aliran Permukaan (*Surface Flow – Wetland*) atau bisa juga disebut *Free Water System (FWS)* disebut juga rawa buatan dengan aliran di atas permukaan tanah. Sistem ini berupa kolam atau saluran-saluran yang dilapisi dengan lapisan *impermeable* di bawah saluran atau kolam yang berfungsi untuk mencegah merembesnya air keluar kolam atau saluran. FWS tersebut berisi tanah sebagai tempat hidup tanaman yang hidup pada air tergenang (*emerge plant*) dengan kedalaman 0,1-0,6 m (Metcalf dan Eddy, 1993). Pada sistem ini limbah cair melewati permukaan tanah. Pengolahan limbah terjadi ketika air limbah melewati akar tanaman, kemudian air limbah akan diserap oleh akar tanaman dengan bantuan bakteri (Crites dan Tchobanoglous, 1998 dalam Wijayanti, 2004).

Penyisihan logam berat dalam lahan basah buatan, secara garis besar merupakan gabungan dari proses fisika-kimia lingkungan dan proses biologis. Menurut Obarska-Pemkowiak (2000), penyisihan logam berat dalam lahan basah disebabkan oleh:

1. Adsorpsi pasif ion-ion logam oleh tanaman.
2. Pengikatan oleh mikroorganisme.
3. Pengendapan logam berat sebagai senyawa karbonat dan sulfida sebagai hasil dari reaksi redoks.

Konsentrasi logam berat yang terakumulasi pada tanaman paling besar terdapat pada akar dan rizoma, kemudian diikuti oleh batang, dan terakhir pada daun (Hanf, *et al*, 2000). Kemampuan logam berat untuk diserap oleh organisme (*bioavailabilitas*) tergantung pada konsentrasi logam dalam bentuk ion terlarutnya. Ada dua cara pengikatan logam oleh mikroorganisme, yaitu melalui pembentukan senyawa kompleks-ekstraselular dan biosorpsi ion logam pada permukaan sel (Obarska-Pemkowiak, 2000).

3. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Sampel lindi diambil di TPA Batu Layang kemudian dianalisis kadar logam Cu, Fe dan Zn awal dan setelah penelitian. Analisis dilakukan di Laboratorium Kesehatan Provinsi Kalimantan Barat. Sampel tanah awal dan setelah penelitian pada bak *constructed wetland* juga dianalisis kadar logam Cu, Fe dan Zn yang dilakukan di Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura. Penelitian ini sendiri dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura.

B. Bahan dan Alat Penelitian

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir, tanah, dan kerikil sebagai media tumbuh tanaman, lindi serta tanaman *Cyperus papyrus* dan *Echinodorus palaefolius*. Pasir dan tanah dicampur dengan perbandingan 1:1. Pencampuran kedua media tersebut dimaksudkan agar memiliki kelebihan tertentu, contohnya media pasir memberikan keuntungan dalam memperlancar aliran lindi sedangkan tanah memungkinkan untuk pertumbuhan mikroorganisme dekomposisi. Kerikil digunakan pada kiri dan kanan reaktor, atau lebih tepatnya terletak di bagian inlet dan outlet. Fungsi kerikil adalah sebagai filter dan rongga yang tersusun antar kerikil memungkinkan oksigen masuk sampai ke dasar.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah tiga unit reaktor *Sub-surface Constructed Wetland*, dimana dua reaktor masing-masing digunakan untuk tanaman *Cyperus papyrus* dan *Echinodorus palaefolius*, satu reaktor digunakan sebagai kontrol. Dimensi reaktor berukuran 120 x 30 x 50

cm. Bak influent menggunakan ember plastik yang masing-masing berfungsi untuk menampung lindi yang akan masuk ke dalam reaktor.



Gambar 1. Reaktor *Sub-surface Constructed Wetland*

C. Prosedur Penelitian

Penelitian ini merupakan eksperimen penyisihan logam pada air lindi dan dilaksanakan dalam skala laboratorium dalam batasan waktu tertentu. Pelaksanaan penelitian ini terdiri dari tiga tahapan yaitu persiapan media, persiapan alat dan analisis sampel. Adapun prosedur penelitiannya sebagai berikut:

- a. Setelah proses pemindahan tanaman dari lingkungan ke reaktor telah selesai, tahap berikutnya adalah aklimatisasi agar sistem menjadi stabil terutama tanaman *cyperus papyrus* dan *echinodorus palaefolius* sebagai penyerap utama logam-logam pencemar. Aklimatisasi dimaksudkan untuk mengadaptasikan unit penelitian untuk proses penyisihan logam pada lindi.
- b. Sebelum penelitian dilakukan, terlebih dulu dilakukan pengujian awal terhadap kadar kandungan logam Cu, Fe dan Zn pada lindi yang diambil dari TPA Batu Layang serta kandungan logam Cu, Fe dan Zn pada media pasir dan tanah.
- c. Sebelum mengalirkan lindi ke dalam reaktor, terlebih dahulu dilakukan penjenuhan reaktor. Reaktor yang telah siap digunakan diisi dengan air sumur, untuk melarutkan tanah. Tahap ini selesai jika muka tanah pada reaktor tidak lagi mengalami penurunan meskipun ditambahkan air lagi. Waktu yang dibutuhkan pada tahap penjenuhan ini adalah sekitar 1-2 hari. Setelah itu dilakukan pentahapan dalam pengisian lindi.
- d. Sampel lindi dimasukkan ke dalam bak influent dan dialirkan ke masing-masing bak reaktor yang telah mengalami penjenuhan secara gravitasi. Hal ini dilakukan untuk ketiga bak yang telah dibuat. Sesaat setelah dialirkan, sampel lindi diambil dengan menggunakan botol air mineral plastik pada effluent untuk kemudian dianalisis untuk mengetahui kandungan logam Cu, Fe dan Zn hari ke-0. Waktu detensi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu selama 3 hari, 6 hari dan 9 hari.
- e. Metode sampling yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel sesaat yaitu sampel diambil langsung dari satu titik pada waktu tertentu. Sampel lindi diambil pada awal pengaliran di tangki influent, sesaat setelah lindi dialirkan ke dalam reaktor dan pada akhir pengaliran pada masing-masing reaktor/bak sesuai dengan waktu detensi yang telah ditentukan, selain itu diukur pula kandungan logam pada media tanah pada awal dan akhir penelitian. Parameter yang diukur yaitu Cu, Fe dan Zn. Diawali dengan pengambilan sampel pada hari ke-0, setelah itu dilakukan pengambilan sampel dari masing-masing reaktor dilakukan setelah waktu detensi berakhir yaitu setiap 3 hari, 6 hari dan 9 hari.

D. Analisis Data

Untuk mengetahui efisiensi penyisihan logam pada lindi, dalam penelitian ini digunakan formula sebagai berikut :

$$E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana :

E = Efisiensi

C0 = Konsentrasi awal (mg/l)

C1 = Konsentrasi akhir (mg/l)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil analisis lindi awal dan hasil analisis lindi di setiap bak reaktor berdasarkan waktu detensi yaitu selama 3 hari, 6 hari dan 9 hari.

Tabel 1. Hasil Analisis Lindi di setiap Bak Reaktor

	Parameter	Sampel Awal (mg/l)	Hari ke-3 (mg/l)	Hari ke-6 (mg/l)	Hari ke-9 (mg/l)
Bak I	Cu	1.48	4.61	1.82	0.97
	Fe	22	32.75	10.23	3.2
	Zn	25	20.38	5.06	1.46
Bak II	Cu	1.48	5.03	2.97	1.53
	Fe	22	43.8	15.27	5.2
	Zn	25	24.65	7.83	2.15
Bak III	Cu	1.48	6.01	5.89	5.61
	Fe	22	442.7	441.6	440.7
	Zn	25	31.98	31.07	30.51

Untuk mengetahui efisiensi penyisihan logam pada lindi, dalam penelitian ini digunakan formula (1), maka didapatkan hasil efisiensi penyisihan logam pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Efisiensi Penyisihan Logam berdasarkan Sampel Awal Lindi

Logam	Sampel awal (mg/l)		Sampel Akhir (mg/l)		Efisiensi	
	Bak I	Bak II	Bak I	Bak II	Bak I	Bak II
Cu	1.48	1.48	0.97	1.53	34.5%	Tidak Efisien
Fe	22	22	3.2	5.2	85.5%	76.4%
Zn	25	25	1.46	2.15	94.2%	91.4%

Hasil yang tidak efisien dalam penyisihan logam Cu pada bak II dengan tanaman *cyperus papyrus* menunjukkan bahwa setelah dilakukan penelitian, kandungan logam pada effluent lindinya malah mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena pada bak reaktor juga terdapat kandungan logam Cu yang terkandung pada media tanah yaitu sebesar 10.67 mg/l, begitu juga dengan logam Fe dan Zn

dengan kandungannya di dalam tanah masing-masing sebesar 4604.49 mg/l dan 40.27 mg/l. Oleh karena itu, pengukuran kandungan logam Cu, Fe dan Zn pada effluent sesaat (hari ke-0) sangat diperlukan, agar dapat menghitung besarnya efisiensi penyisihan logam pada masing-masing bak dengan jelas.

Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu dilakukan pengambilan sampel effluent sesaat (hari ke-0) setelah lindi dialiri ke dalam reaktor. Hal ini dilakukan agar dapat diketahui sampel effluent awal dari logam Cu, Fe dan Zn sebelum dilakukan pengujian sesuai dengan waktu detensi yang telah ditentukan dalam penelitian ini karena kandungan Cu, Fe dan Zn tidak hanya terkandung di dalam lindi tetapi juga terdapat di dalam media tanah jadi bisa dikatakan sampel effluent yang diuji adalah sampel effluent total antara logam Cu, Fe dan Zn pada lindi serta pada media tanah.

Berdasarkan hasil analisis sampel awal effluent (lindi + media tanah) sebelum dilakukan pengujian serta hasil analisis sampel setelah pengujian yang telah disajikan pada tabel 1, maka dapat diketahui efisiensi dari penyisihan logam Cu, Fe dan Zn di setiap bak reaktor berdasarkan hari ke-0.

Tabel 3. Efisiensi Penyisihan Logam Cu, Fe dan Zn berdasarkan Effluent Hari ke-0

Logam	Effluent Hari ke-0 (mg/l)			Sampel Akhir (mg/l)			Efisiensi		
	Bak I	Bak II	Bak III	Bak I	Bak II	Bak III	Bak I	Bak II	Bak III
Cu	6.35	6.35	6.35	0.97	1.53	5.61	84.7%	75.9%	11.7%
Fe	447.3	447.3	447.3	3.2	5.2	440.7	99.3%	98.8%	1.5%
Zn	32.48	32.48	32.48	1.46	2.15	30.51	95.5%	93.4%	6.1%

Waktu detensi yang efektif dapat dilihat dari persentase kandungan logam yang berhasil diturunkan dalam waktu tertentu.

Tabel 4. Persentase Penurunan Logam pada Hari ke-0 sampai Hari ke-9 berdasarkan Analisis Sampel Awal Lindi

	Parameter	Awal	H-3	Persentase	H-3	H-6	Persentase	H-6	H-9	Persentase
Bak I	Cu	1.48	4.61	-211.5%	4.61	1.82	60.5%	1.82	0.97	46.7%
	Fe	22	32.75	-48.9%	32.75	10.23	68.8%	10.23	3.2	68.7%
	Zn	25	20.38	18.5%	20.38	5.06	75.2%	5.06	1.46	71.1%
Bak II	Cu	1.48	5.03	-239.9%	5.03	2.97	41.0%	2.97	1.53	48.5%
	Fe	22	43.8	-99.1%	43.8	15.27	65.1%	15.27	5.2	65.9%
	Zn	25	24.65	1.4%	24.65	7.83	68.2%	7.83	2.15	72.5%
Bak III	Cu	1.48	6.01	-306.1%	6.01	5.89	2.0%	5.89	5.61	4.8%
	Fe	22	442.7	-1912.3%	442.7	441.6	0.2%	441.6	440.7	0.2%
	Zn	25	31.98	-27.9%	31.98	31.07	2.8%	31.07	30.51	1.8%

Waktu detensi efektif dari logam Cu pada bak I berdasarkan hasil dari persentase penurunan logam berdasarkan sampel awal lindi yaitu pada hari ke-6 sedangkan pada bak II waktu detensi efektifnya adalah pada hari ke-9. Logam Fe pada bak I dan bak II berdasarkan hasil dari persentase penurunan logam yang didapat, waktu detensi efektifnya masing-masing yaitu pada hari ke-6 dan hari ke-9. Logam Zn pada bak I, waktu detensi efektifnya adalah pada hari ke-6 sedangkan pada bak II waktu detensi efektifnya adalah pada hari ke-9.

Sama seperti pada hasil analisis efisiensi penyisihan logam pada sampel awal dan akhir yang terlihat pada tabel 2, persentase efisiensi penyisihan logam, terutama pada logam Cu dan Fe pada bak I dan bak II dari sampel awal ke hari ke-3 memiliki hasil yang minus (-). Hasil efisiensi yang minus (-) pada

penyisihan logam Cu dan Fe pada bak I dan bak II menunjukkan bahwa setelah 3 hari, kandungan logam pada effluent lindiya malah mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena pada reaktor juga terdapat kandungan logam Cu, Fe dan Zn yang terkandung pada media tanah, namun pada persentase penyisihan lindi ini, hanya logam Zn yang tidak minus dalam hasil persentase penyisihannya, kecuali pada bak III (bak kontrol).

Pada tabel 5 berikut ini, hampir sama dengan tabel 4 di atas. Jika pada tabel 4, persentase penurunan logam menggunakan hasil analisis sampel awal lindi, maka pada tabel 5 berikut ini menggunakan hasil analisis effluent awal atau pada hari ke-0 penelitian.

Tabel 5. Persentase Penurunan Logam pada Hari ke-0 sampai Hari ke-9 berdasarkan Analisis Effluent Hari ke-0

	Parameter	H-0	H-3	Persentase	H-3	H-6	Persentase	H-6	H-9	Persentase
Bak I	Cu	6.35	4.61	27%	4.61	1.82	61%	1.82	0.97	47%
	Fe	447.3	32.75	93%	32.75	10.23	69%	10.23	3.2	69%
	Zn	32.48	20.38	37%	20.38	5.06	75%	5.06	1.46	71%
Bak II	Cu	6.35	5.03	21%	5.03	2.97	41%	2.97	1.53	48%
	Fe	447.3	43.8	90%	43.8	15.27	65%	15.27	5.2	66%
	Zn	32.48	24.65	24%	24.65	7.83	68%	7.83	2.15	73%
Bak III	Cu	6.35	6.01	5%	6.01	5.89	2%	5.89	5.61	5%
	Fe	447.3	442.7	1%	442.7	441.6	0.2%	441.6	440.7	0.2%
	Zn	32.48	31.98	2%	31.98	31.07	3%	31.07	30.51	2%

Waktu detensi efektif dari logam Cu pada bak I berdasarkan hasil dari persentase penurunannya yaitu pada hari ke-6 sedangkan pada bak II waktu detensi efektifnya adalah pada hari ke-9. Logam Fe pada bak I dan bak II berdasarkan hasil dari persentase penurunan logam yang didapat, waktu detensi efektifnya sama yaitu pada hari ke-3. Logam Zn pada bak I, waktu detensi efektifnya adalah pada hari ke-6 sedangkan pada bak II waktu detensi efektifnya adalah pada hari ke-9.

Berdasarkan hasil analisis pada tabel 5, dapat dilihat bahwa penurunan logam Cu dan Zn pada bak I dengan tanaman *echinodorus paleofolius* memiliki waktu detensi efektif pada hari ke-6 sedangkan pada bak II dengan tanaman *cyperus papyrus*, waktu detensi efektif dari penurunan logam Cu dan Zn adalah pada hari ke-9. Pada logam Fe, dalam bak I maupun bak II, keduanya memiliki waktu detensi efektif yang sama dan lebih singkat dari logam Cu dan logam Zn dalam penurunan kandungan logamnya yaitu pada hari ke-3. Logam Cu dan Zn memiliki waktu detensi efektif yang lebih lama dari logam Fe, hal ini karena logam Cu dan Zn memiliki daya adsorpsi yang lebih kecil dibandingkan logam Fe (Risnawati dan Damanhuri, 2009). Terkait hubungan antara konsentrasi logam dalam tanah dan tanaman, untuk Cu dan Zn pun berlaku hubungan sebanding, namun Cu akan lebih banyak terdapat dalam tanah dibandingkan dalam tanaman. Sementara untuk Zn, berlaku kebalikannya, Zn akan lebih banyak terdapat dalam tanaman dibandingkan dalam tanah. Hal ini terkait dengan kemampuan transfer logam dari tanah ke tanaman Zn lebih tinggi dibandingkan Cu. Tingkat penyerapan yang masih rendah terutama untuk Cu dan Zn disebabkan oleh umur tanaman yang masih muda, karena laju dan luas pergerakan logam dalam tanaman tergantung pada logam yang bersangkutan, organ tanaman, dan umur tanaman (Alloway, 1995).

Setelah melakukan pengujian sesuai dengan waktu detensi yaitu 3 hari, 6 hari dan 9 hari, maka dilakukan pengambilan sampel tanah pada salah satu bak yang berisi tanaman untuk kemudian diukur kandungan logam Cu, Fe dan Zn. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kandungan logam yang terserap oleh masing-masing tanaman dengan melakukan perhitungan antara total jumlah kandungan logam pada lindi serta kandungan logam pada tanah setelah dilakukan pengujian, dalam hal ini waktu detensi yang paling akhir yaitu 9 hari.

Berikut adalah tabel total kandungan logam awal pada reaktor:

Tabel 6. Total Kandungan Logam Awal pada Reaktor

Logam	Kandungan Logam Awal pada Lindi	Kandungan Logam Awal pada Media Tanah	Total
Cu	1.48 mg/l	10.67 mg/l	12.15 mg/l
Fe	22.00 mg/l	4606.49 mg/l	4628.49 mg/l
Zn	25.00 mg/l	40.27 mg/l	65.27 mg/l

Setelah dilakukan pengujian selama 9 hari, sampel pada media tanah diambil untuk di analisis kandungan logam Cu, Fe dan Zn. Sampel dari media tanah diambil dari bak I dengan tanaman *echinodorus paleofolius* dan dari bak II dengan tanaman *cyperus papyrus*. Sampel tanah setelah pengujian diambil untuk mengetahui berapa besar kandungan logam yang terserap oleh tanaman dengan cara menghitung sampel kandungan logam awal media tanah dikurangi sampel akhir kandungan logam media tanah setelah dilakukan pengujian. Berikut adalah tabel analisis kandungan logam pada tanah setelah penelitian pada bak I dan bak II serta efisiensi penyisihan logamnya pada tanaman.

Tabel 7. Efisiensi Penyisihan Logam Cu, Fe dan Zn pada Tanaman

	Logam	Konsentrasi Logam Total (Tanah + Lindi)	Konsentrasi Logam Akhir pada Media Tanah	Perkiraan Konsentrasi Logam pada Tanaman	Efisiensi
Bak I (<i>Echinodorus paleofolius</i>)	Cu	12.15 mg/l	2.08 mg/l	10.67 mg/l	82.90%
	Fe	4628.49 mg/l	357.56 mg/l	4270.93 mg/l	92.30%
	Zn	65.27 mg/l	6.21 mg/l	59.06 mg/l	90.50%
Bak II (<i>Cyperus papyrus</i>)	Cu	12.15 mg/l	3.46 mg/l	8.69 mg/l	71.50%
	Fe	4628.49 mg/l	423.79 mg/l	4204.70 mg/l	90.80%
	Zn	65.27 mg/l	8.06 mg/l	57.21 mg/l	87.60%

Kandungan logam Fe pada tanaman *echinodorus paleofolius* pada bak I dan dalam tanaman *cyperus papyrus* pada bak II cukup tinggi. Hal ini sesuai dengan Alloway (1995) yang menemukan hubungan antara konsentrasi Fe dalam tanah dan dalam tanaman adalah sebanding, semakin besar konsentrasi Fe dalam tanah maka konsentrasi logam dalam tanaman akan semakin tinggi sedangkan untuk Cu dan Zn pun berlaku hubungan sebanding, namun Cu akan lebih banyak terdapat dalam tanah dibandingkan dalam tanaman. Sementara untuk Zn, berlaku kebalikannya, Zn akan lebih banyak terdapat dalam tanaman dibandingkan dalam tanah. Hal ini terkait dengan kemampuan transfer logam dari tanah ke tanaman Zn lebih tinggi dibandingkan Cu. Pada penelitian ini, logam Cu yang terserap oleh tanaman, baik tanaman *echinodorus paleofolius* atau *cyperus papyrus* cukup tinggi, yaitu masing-masing sebesar

82.9% dan 71.5% namun jika dibandingkan dengan logam Zn yang mampu diserap kedua tanaman, masing-masing sebesar 90.5% dan 87.6% maka tingkat penyerapan logam Cu oleh tanaman lebih rendah dibandingkan logam Zn.

Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tanaman dapat dibagi menjadi tiga proses yang berkesinambungan, yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut (Priyanto dan Priyatno, 2007).

Hasil analisis kandungan logam pada masing-masing tanaman serta hasil pengamatan pertumbuhan tanaman dan morfologinya setelah dilakukan penelitian, maka dapat diambil kesimpulan bahwa tanaman *echinodorus paleofolius* pada bak I memiliki efisiensi yang lebih besar dalam penyerapan logam Cu, Fe dan Zn dibandingkan dengan tanaman *cyperus papyrus* pada bak II.

5. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Efisiensi penyisihan logam Cu, Fe dan Zn pada lindi dalam bak I *Sub-surface Constructed Wetland* dengan tanaman *echinodorus paleofolius* berdasarkan hasil analisis sampel awal lindi masing-masing sebesar 34.5%, 85.5% dan 94.2% dan pada bak II dengan tanaman *cyperus papyrus* masing-masing sebesar -3.4%, 76.4% dan 91.4%. Apabila berdasarkan hasil analisis effluent hari ke-0, maka efisiensi penyisihan logam pada bak I masing-masing sebesar 87.7%, 99.3% dan 95.5% sedangkan pada bak II masing-masing sebesar 75.9%, 98.8% dan 93.4%.
2. Tanaman *echinodorus paleofolius* mampu menyerap logam Cu, Fe dan Zn dengan efisiensi penyerapan masing-masing sebesar 82.9%, 92.3% dan 90.5%, lebih banyak dibandingkan dengan tanaman *cyperus papyrus* yang memiliki efisiensi penyerapan masing-masing 71.5%, 90.8% dan 87.6%.
3. Waktu detensi yang efektif dalam penurunan logam Cu, Fe dan Zn pada reaktor *Sub-surface Constructed Wetland* dengan tanaman *echinodorus paleofolius* adalah 6 hari, sedangkan pada reaktor *Sub-surface Constructed Wetland* dengan tanaman *cyperus papyrus* waktu detensi untuk ketiga logam adalah 9 hari.

B. Saran

1. Perlu penelitian lebih lanjut terhadap kandungan logam yang berhasil diserap oleh tanaman, terutama kandungan logam pada akar, batang dan daun tanaman.
2. Interval pengambilan data effluent lindi pada masing-masing bak seharusnya dilakukan setiap hari agar dapat ditentukan waktu detensi yang optimal.

Ucapan Terima Kasih

Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih yang setulus tulusnya kepada: Ibu Rizki Purnaini, ST.,MT., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ibu Yulisa Fitriingsih, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Pendamping serta kepada Dosen Penguji Ibu Isnara Apriani, ST., MSi., sebagai Penguji Utama dan Ibu Ir. Rita Hayati, Msi sebagai Penguji Pendamping.

Referensi

Alloway, B.J. 1995. *Heavy Metals in Soils*. Blackie Academic and Professional. Glasgow.

Crites, R dan Tchobanoglous, G. 1998. *Small and Decentralized Wastewater Management Systems : Wetlands and Aquatic Treatment*. McGraw-Gill Book. Co-Singapore

- Fadel, E. M., A. N. Findikakis, and O. J. Leckie. 1997. *Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling*. Journal Environments Mgmt. 50:1-25.
- Garnasih, I. 2009. *Tesis Program Studi Biologi*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Hanf, D., N. Chan, D. Halcrow and T. Debusk. 2000. *Removal of lead, copper, and nickel by three macrophytes cultured in a hydroponic thin film rhizosphere system*. 7th International Conference on Wetland System for Water Pollution Control Vol. 3 p. 1389.
- Leady, B. 1997. *Constructed Subsurface Flow Wetlands For Wastewater Treatment*. Purdue University.
- Metcalf and Eddy. 2003. *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse*. 4th Edition. Mc Graw Hill International, New York.
- Obarska-Pempkowiak, H. 2000. *Retention of selected heavy metals Ci Cu, Pb in a hybrid wetland system*. 7th International Conference on Wetland System for Water Pollution Control. Vol. 3 pp. 285-1294.
- Priyanto, B. dan Priyatno, J. 2007. *Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khusus Logam Berat*. BPPT.
- Qasim, S. R. 1994. *Sanitary Landfill Leachate*. Generation control and treatment. Tecnominc. Lancaster – Basel.
- Risnawati dan Damanhuri. 2009. *Metal Removal From Leachate in Constructed Wetland*. Institut Teknologi Bandung.