

PENURUNAN KANDUNGAN LOGAM PB DAN CR *LEACHATE* MELALUI FITOREMEDIASI BAMBUS AIR (*EQUISETUM HYEMALE*) DAN ZEOLIT

Bambang Suharto⁽¹⁾, Liliya Dewi Susanawati⁽¹⁾, dan Betha Ika Wilistien⁽²⁾
 Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya Malang
 Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoya Bangkalan Madura
 Korespondensi : bambangs@ub.ac.id

ABSTRACT

The very large numbers of trash in the TPA (end disposal place) will cause the natural decomposition process goes on massively as well. The decomposition process will change trash into organic fertilizer that if there any water input from the outside, it will dissolve metals that later become the byproduct that is leachate. The introduction of chemical contained in the leachate into the waters ecosystem may also affect the existing biota. Therefore, it is need the waste treatment before released into the environment. Leachate waste treatment by using the phytoremediation principle by means of Bambu air plant (Equisetum hyemale), with zeolite planting media was to be the choice in the effort of liquid waste treatment the Phytoremediation system was taken with a various considerations that very potential to develop into new innovation in the process of leachate waste treatment. This research had the purpose to know the effectiveness of phytoremediation system using water bamboo plant (Equisetum hyemale) and zeolite planting media by batch system and continue system in reducing Pb and Cr heavy metals contents of leachate. Research method used was the experimental method. Observations carried out involved environmental temperature and humidity, solution pH and treatment temperature, Reduction of Pb and Cr Metals Contents on leachate. Batch system and continue system as a whole, mean of leachate pH tested during this treatment was about 7,466. Leachate pH tested did not less than 7,200 and not more that 7,810. Mean of leachate temperature from the first week through third week was of 22,283°C. The best treatment was on the K₂S₁ (60 batch system plants) treatment with reduction of Pb metal content of 82,2% in the last week of observation. While the reduction of Cr metal of 61,2% was on the K₂S₂ (60 continue system plants) treatment.

Key Words: *Leachate, Bambu air (Equisetum hyemale), Zeolite, phytoremediation.*

PENDAHULUAN

Sampah perkotaan yang ditampung pada Lokasi Pembuangan Akhir (LPA) akan mengalami proses dekomposisi. Proses dekomposisi tersebut menyebabkan terjadinya perubahan fisik, kimia dan biologis secara simultan. Salah satu hasil dari dekomposisi sampah tersebut adalah *leachate*. Masuknya zat-zat kimia yang terkandung dalam air lindi ke dalam ekosistem perairan juga dapat mempengaruhi biota yang ada. Apabila di dalam ekosistem perairan terjadi pencemaran, dapat menyebabkan kematian biota atau mempengaruhi kegiatan fisiologis, proses makan, pembentukan sel dan fungsi jaringan sel suatu organ (Connel dan Miller,1983).

Produksi air lindi akan berlangsung dari sejak TPA dibangun sampai sekitar 5-8 tahun setelah TPA dinyatakan ditutup.

Perlu adanya pengolahan air lindi yang bertujuan untuk mengurangi dan mencegah dampak negatifnya pada lingkungan. Sampai saat ini, upaya yang dilakukan untuk mengontrol polutan air lindi mulai dari pengolahan air limbah (*waste water treatment*) secara fisika, kimia, maupun biologi. Sejauh ini upaya pengolahan air lindi di TPA masih bersifat konvensional, yaitu hanya berupa bak-bak pengendapan, sehingga kerjanya belum optimal. Hasilnya pun beragam dan kadang tak sepenuhnya efektif seratus persen.

Pengolahan limbah *leachate* dengan menggunakan prinsip fitoremediasi melalui tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*), dengan media tanam zeolit menjadi pilihan dalam upaya pengolahan limbah cair dan fokus penelitian ini. Sistem fitoremediasi diambil dengan berbagai pertimbangan yang sangat potensial untuk dikembangkan menjadi inovasi baru dalam proses pengolahan *leachate*.

Pengolahan air lindi di TPA Supit Urang masih sederhana, yaitu hanya berupa bak-bak pengendapan sehingga hasilnya belum optimal. Hal ini ditandai dengan kualitas fisik buangan pada *outlet* berwarna kehitaman dengan nilai pH 8,7 (Pemkot Malang, 2011). Menurut Davis dan Cornwell (1991), air lindi dari TPA dengan sistem *sanitary landfill* mengandung TSS 200-1000 mg/l; BOD₅ 2000- 30.000 mg/l; COD 3000-45.000 mg/l; dan pH 5,3 - 8,3.

Penelitian ini difokuskan pada proses penurunan kandungan polutan dan logam berat Cr dan Pb yang terkandung *leachate*. Sampel air limbah yang digunakan berasal dari TPAS Supit Urang kota Malang. Prosesnya melalui fitoremediasi tanaman Bambu air (*Equisetum hyemale*) dan media tanam zeolit dengan tipe *batch* dan tipe kontinyu.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui keefektifan sistem fitoremediasi menggunakan tanaman bambu air (*Equisetum hyemale*) dan media tanam zeolit dengan sistem *batch* dalam menurunkan kandungan Timbal (Pb) dan Cromium (Cr) dalam *leachate*.
2. Mengetahui penurunan kandungan Pb dan Cr *leachate*.
3. Mengetahui perubahan yang terjadi pada tanaman Bambu air dan media tanam Zeolit pada perlakuan *Batch* dan kontinyu setelah diairi oleh limbah *leachate*.

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Memberikan gambaran tentang pengolahan limbah cair industri secara fitoremediasi

dengan menggunakan tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*).

2. Memperluas cakrawala melalui teknologi baru yang berwawasan ekologis bagi pengolahan air limbah di Indonesia.
3. Memberikan informasi alternatif zeolit sebagai pengolah limbah.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Mei 2011 sampai bulan juli 2011. Lokasi penelitian dilaksanakan di *Greenhouse* Laboratorium Teknik Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Laboratorium Daya dan Mesin Pertanian Jurusan Keteknikan Pertanian Universitas Brawijaya Malang. Laboratorium Kimia Universitas Negeri Malang, Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta Kota Malang.

Alat dan Bahan

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah: pH Meter digital untuk mengukur pH air limbah, gelas Ukur untuk mengukur volume air limbah yang digunakan, termometer untuk mengukur suhu *leachate* dan di lingkungan perlakuan / *Greenhouse*, kontainer dengan volume 5000 ml sebagai tempat air limbah yang sudah siap diujikan, ember untuk mencuci zeolit, pot tanam sebagai tempat tanam bambu air, selang air untuk mengalirkan air limbah dari kontainer ke pot, penggaris untuk mengukur tinggi tanaman uji, jerigen sebagai tempat HCl dan Aquades, oven untuk mengaktivasi media tanam zeolit, ayakan 2-3 Mesh untuk memisahkan partikel yang lebih kecil, nampan untuk tampungan Sortasi zeolit.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: *Leachate*/ air lindi sebagai limbah yang diujikan, zeolit 2-3 mesh sebagai media tanam, lakban untuk menutup lubang keluaran pot, bambu air (*Equisetum hyemale*) sebagai tanaman uji, aquades (H₂O) sebagai pencuci awal zeolit, HCl 1 M. sebagai pencuci zeolit.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode metode eksperimental, yaitu mengadakan percobaan untuk melihat pengaruh variabel yang diteliti. Percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) yang disusun dalam 3 ulangan. 2 faktor yaitu Kombinasi Tanaman Bambu air dan sistem pengaliran *leachate*. Faktor I dan II masing-masing terdiri dari 3 dan 2 taraf. Kombinasi dari kedua faktor tersebut ditampilkan pada Tabel 1.

1. Faktor I: Tanaman Bambu air (K) terdiri dari 3 taraf yaitu :
 - K1 = Tanaman 30 batang
 - K2 = Tanaman 60 batang
 - K3 = Tanpa Tanaman
2. Faktor II: Sistem pengaliran (S) terdiri dari 2 taraf yaitu :
 - S1 = Sistem *Batch* (genang)
 - S2 = Sistem Kontinyu (mengalir)

Tabel 1. Kombinasi perlakuan

Sistem pengaliran	Sistem <i>Batch</i> S1	Sistem Kontinyu S2
Tanaman	I	I
K1	K1S1	K1S2
K2	K2S1	K2S2
K3	K3S1	K3S2

Dari proporsi diatas diperoleh kombinasi perlakuan sebagai berikut:

- K1S1: 30 Tanaman dengan sistem *batch*
- K1S2: 30 Tanaman dengan sistem kontinyu
- K2S1: 60 Tanaman dengan sistem *batch*
- K2S2: 60 Tanaman dengan sistem kontinyu
- K3S1: Tanpa Tanaman dengan sistem *batch*
- K3S2: Tanpa Tanaman dengan sistem kontinyu

Setiap kombinasi perlakuan dengan ulangan 3 kali, sehingga terdapat 18 macam kombinasi.

Tahapan Kegiatan

Penelitian dikerjakan dalam beberapa tahapan, yaitu :

1. Pencucian zeolit
Zeolit yang digunakan adalah zeolit alam dengan ukuran 2-3 mesh sebanyak 54 Kg.

Zeolit dicuci dengan air. Langkah ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang ada pada zeolit. Pencucian awal dengan air biasa. Setelah terlihat bersih, zeolit kemudian di rendam ke dalam aquades selama 5 menit untuk menetralsir zeolit.

2. Aktivasi Zeolit
Zeolit diaktivasi dengan dua proses. Proses pertama dengan mengoven zeolit tersebut selama 2 jam dengan suhu 150⁰ C. pemanasan ini bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap di dalam pori-pori kristal zeolit, sehingga luas permukaannya bertambah (Khairinal, 2000). Setelah proses pertama selesai, dilanjutkan proses kedua. Proses kedua ini, zeolit direndam ke dalam HCl 1 M 1500 mL selama lima menit yang bertujuan untuk mengatur kembali letak atom yang dipertukarkan. Aktivasi zeolit dengan HCl pada konsentrasi 0,1M hingga 11 M menyebabkan zeolit mengalami dealuminasi dan dekationisasi yaitu keluarnya Al dan kation-kation dalam kerangka zeolit. Besar suhu dan lama waktunya sama seperti proses pertama.
3. Pengambilan sampel air limbah *leachate* / air lindi
Air limbah *leachate* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari TPAS Supit Urang Kota Malang. *Leachate* diambil sebanyak 300 liter. Pengambilan air limbah dipusatkan pada *effluent* yang langsung masuk dalam bak pengendapan yang juga sebagai penampung awal *leachate*. Selanjutnya *leachate* dimasukan kedalam Jerigen.
4. Proses Aklimitasi
Proses ini bertujuan agar tumbuhan dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan baru atau kondisi yang tak biasa. Pada proses ini, tanaman diiri dengan limbah pada tempat asalnya sebelum di pindahkan pada lingkungan perlakuan. Waktu toleransi yang diberikan selama 3 hari.
5. Penempatan Media Tanam
Media tanam Zeolit telah diaktivasi. Zeolit dimasukkan ke dalam pot tanam yang berdiameter 20 cm. pot yang digunakan tidak menggunakan bahan logam. Hal ini bertujuan agar tidak ada reaksi antara logam dengan air limbah.
6. Langkah Penanaman

Bambu air yang akan ditanam dipisahkan berdasarkan dimensinya. Jumlah rata-rata terbanyak yang nantinya digunakan dan ditanam. Dalam perlakuan ini digunakan dua langkah penanaman. Pertama, ditanam dengan jumlah massa 30 batang tanaman atau 1/4 luas pot, dan yang kedua dengan jumlah massa 60 batang tanaman atau luas 2/4 luas pot.

Tanaman Bambu air dipilih dengan memperhatikan kualitas fisik tanaman. Kondisi fisik tanaman yang sehat ditandai dengan kondisi batang yang tegak, segar kuat dan tidak kering. Satu rumpun tanaman Bambu air memiliki variasi massa batang yang beragam oleh karenanya, keseragaman massa tanaman yang kecil diakumulasikan dengan rerata massa Tanaman 5.1 gram.

7. Pelakuan Sistem *batch*

Semua penelitian dilakukan di dalam *greenhouse*. Sistem *batch* pada kelompok tanaman 30, 60, dan tanpa tanaman dibuat tergenang dengan tinggi genangan 1 cm dari permukaan media tanam. Hal ini untuk menyesuaikan volume *batch* dengan volume kontinyu, yakni 2.700 ml. *Refill* diberikan pada semua perlakuan setiap tiga hari sekali.

8. Perlakuan Sistem Kontinyu

Volume *leachate* yang diberikan pada sistem ini sama seperti sistem *batch* yaitu 2.700 ml pada pot tanamnya, namun untuk sistem ini penambahannya melalui kontainer dengan volume 5000 ml. limbah di pot berdiameter 6 mm dibuat waktu pengamatan 24 jam. Pot dibuka untuk mengalirkan *leachate*, Setelah itu, lubang pot ditutup dan *leachate* dikembalikan kembali ke kontainer. Kran kontainer dibuka dengan debit 15 ml / detik. *Leachate* dialirkan kedalam sistem melalui selang yang ditanam sampai $\frac{3}{4}$ bagian.

9. Pengamatan Parameter

Penelitian ini dilaksanakan di *greenhouse* selama 21 hari. *Leachate* dibuat waktu pengamatan 24 jam dengan bukaan kran dimulai tiap pukul 09.00 WIB. Suhu dan pH sistem diamati sebagai data pelengkap. Suhu dan Kelembaban lingkungan *greenhouse* diamati tiap hari.

Uji parameter penurunan kandungan kadar Pb dan Cr tiap 7 hari sekali.

10. Analisa data hasil penelitian

Setelah semua data terekam dan tercatat. Maka dilakukan analisa data berupa analisis statistik dengan Anova. Untuk melakukan perbandingan dan mengetahui perlakuan manakah yang memberikan pengaruh yang berbeda nyata pada kadar logam Pb dan Cr dengan Uji BNT dan untuk interaksi dilakukan Uji BNJ pada selang kepercayaan 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik *Leachate* sebelum perlakuan

Hasil uji laboratorium limbah *leachate* terdeteksi dan teridentifikasi adanya kandungan logam Pb dan Cr yang berada di atas standar baku mutu limbah cair sebagaimana SK. Gubernur Jatim no.45 Tahun 2002. Tentang baku mutu limbah cair bagi industri dan kegiatan usaha lainnya. Keberadaan logam berat Pb dan Cr pada *leachate* dapat dilanjutkan sebagai penelitian karena sudah melebihi ambang batas aman yang telah ditentukan.

Hasil analisa kimia pada penelitian pendahuluan didapatkan nilai untuk kandungan Pb dan Cr pada limbah *leachate* adalah 2.2923 ppm dan 0.3892 ppm. Sedangkan kadar Timbal (Pb) ambang batas yang ditentukan oleh WHO dan FAO 2 ppm (Nursal, 2005). Dengan demikian limbah *leachate* tersebut belum aman apabila di buang langsung ke lingkungan tanpa adanya *treatment* terlebih dahulu. Baku mutu yang ditetapkan berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001 maupun berdasarkan Keputusan Gubernur Jawa Timur No.45 Tahun 2002 yaitu kandungan logam untuk Timbal (Pb) dan kromium (Cr) tidak boleh melebihi 0,1 ppm dan 0,05 ppm.

Limbah *leachate* yang digunakan pada penelitian ini berusia sekitar ± 2 tahun. Hal ini diketahui berdasarkan tahun pembangunan area penampungan limbah yakni tahun 2009. Sedangkan untuk kolam penampungan yang lama (1994-2009) sudah tidak dioperasikan lagi. Sehingga *leachate* (air lindi) yang terdapat di dalamnya

bisa dikategorikan masih baru. Limbah *leachate* dalam penelitian ini memiliki ciri antara lain berwarna hitam pekat. Bau yang menyengat dan sedikit mengandung minyak. Memiliki TDS yang besar, dapat terlihat dari banyaknya partikel asing yang terkumpul dalam limbah tersebut.

Karakteristik Tanaman

Tanaman Bambu air (*Equisetum hyemale*) yang diperlakukan sebagai tanaman uji memiliki bentuk fisik dengan tinggi rerata 70 cm. Diameter batang berkisar antara 0,4 – 0,6 cm. Rerata massa tanaman 5,1 gram. Pemilihan spesifikasi tanaman berdasarkan jumlah dominan yang ada pada rumpun bambu air dengan karakter fisik yang segar, kuat, dan tidak mudah patah buku-bukunya. Untuk batang tanaman yang tidak termasuk dalam spesifikasi tersebut, maka hitungannya diakumulasikan sehingga mendekati dan atau sampai pada ketentuan.

Pemilihan batang tanaman yang baik merujuk pada pernyataan Tjitrosoepomo (1989), Tanaman akan mampu meremediasi polutan jika tanaman tersebut sudah mencapai usia dewasa. Tanaman bambu air memiliki batang dengan kandungan silikat yang tinggi, yang berguna mengikat partikel logam yang terserap oleh akar tanaman.

Lingkungan Penelitian

Lingkungan penelitian yang diamati adalah suhu dan kelembaban lingkungan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sistem perlakuan.

Suhu dan Kelembaban Lingkungan

Penelitian utama dilaksanakan selama 3 minggu atau 21 hari di *greenhouse*. *Greenhouse* berbahan cover terang. Selama waktu tersebut dilakukan pengukuran yang berhubungan langsung dengan perlakuan yakni suhu lingkungan dan kelembaban lingkungan *greenhouse*.

Penutup terang atau berwarna putih memiliki *Radiation Photosynthesis Active / RPA* cukup besar $\pm 35-75\%$ dan refleksi konstan 10-20%. Sedangkan untuk penutup gelap atau selain warna putih memiliki RPA $\pm 35-75\%$.

Temperatur udara dalam suatu *Greenhouse* akan meningkat sekitar 37°C -

48°C pada waktu penyinaran matahari sedang berlangsung. Penutup pelastik mempengaruhi kenaikan suhu dan akan menurun mengikuti suhu tanaman. Pukul 06.00 suhu akan meningkat, pukul 14.00 suhu menurun dan pukul 20.00 suhu semakin konstan disebabkan energi matahari yang diterima akan semakin besar sesuai dengan sudut jatuh radiasi matahari (Fidaus, 2009).

Kelembaban dalam lingkungan penelitian dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan suhu pada hari pengamatannya, Lamanya penyinaran tiap harinya tidak tetap. Oleh karenanya kenaikan ataupun penurunan kelembaban udara juga mengikuti perubahan suhu. Suhu dan kelembaban pada lingkungan secara langsung mempengaruhi suhu dan proses evapotranspirasi tanaman perlakuan.

Karakteristik *Leachate* Hasil Penelitian

Karakteristik *leachate* yang diamati meliputi pH, dan suhu pada semua perlakuan.

pH

Salah satu pengukuran yang sangat penting dalam berbagai cairan proses (industri, farmasi, manufaktur, produksi makanan dan sebagainya) adalah pH, yaitu pengukuran ion hidrogen dalam suatu larutan. Larutan dengan harga pH rendah dinamakan "asam" sedangkan yang harga pH-nya tinggi dinamakan "basa". Skala pH terentang dari 0 (asam kuat) sampai 14 (basa kuat) dengan 7 (netral) adalah harga tengah mewakili air murni (Rahayu, 2009).

pH untuk air terkontamasi adalah 8. Nilai ini menyatakan bahwa pH air bersifat alkalis, pH alkalis sangat mendukung untuk terjadinya laju dekomposisi pada suatu perairan (Effendi, 2003). Namun pada limbah *leachate* dalam penelitian ini tidak menunjukkan pH yang mencapai nilai 8. Sehingga laju dekomposisi tidak cepat terjadi. Pada pengukuran awal, pH *leachate* adalah 7,8.

Penelitian ini pH *leachate* diamati setiap hari. Tiap perlakuan diambil sampelnya kemudian diukur besar keasaman limbah. Tiap perlakuan yang memiliki ulangan, pH limbahnya hampir selalu tetap. Selisih pH tiap harinya hanya berkisar 0,1 – 0,2. Namun beberapa ulangan perlakuan ada yang memiliki selisih sampai 0,3. hal ini dipengaruhi oleh penambahan limbah baru telah

di tentukan. Gambar 4.6 menunjukkan grafik total pH perlakuan Sistem Batch dan system Kontinyu selama penelitian pada minggu ke I, minggu II, dan Minggu III.

Hasil penelitian (Suryadharma, 2008) menunjukkan bahwa pH *leachate* berada pada rentang netral (6-8). Konsentrasi zat organik dan sulfat cenderung turun pada ketebalan media yang semakin besar dan tinggi genangan yang lebih kecil. Pola penyebaran jarak dan waktu digambarkan dalam grafik kontur sebaran persen zat organik dan sulfat yang terlarut.

Suhu

Pengukuran suhu sistem (perlakuan) dilakukan pada waktu yang hampir bersamaan dengan pengukuran suhu lingkungan (*greenhouse*). Hal ini dimaksudkan untuk menyesuaikan kesamaan perubahan suhu pada sistem dengan suhu lingkungan. Pengukuran suhu dilakukan pada pukul 09.00 wib. Waktu ini dipilih berdasarkan waktu tanam perlakuan. Sehingga perlakuan untuk sistem kontinyu dengan waktu tinggal 24 jam bisa tepat waktu untuk hari berikutnya.

Pada penelitian pendahuluan sebelumnya, suhu *leachate* diukur di laboratorium setelah 24 jam adalah 19,568 °C. Hasil penelitian pendahuluan tersebut dijadikan data pembanding dengan data perlakuan yang dilakukan di *greenhouse*. Suhu *leachate* yang ditempatkan di *greenhouse* memiliki suhu yang lebih tinggi daripada Suhu *leachate* yang ditempatkan di laboratorium. Suhu *leachate* yang ditempatkan di laboratorium memiliki suhu sebesar 19,568 °C, sedangkan Suhu *leachate* yang di tempatkan di *greenhouse* memiliki suhu sebesar 22,283 °C dengan perlakuan dan waktu yang sama.

Schnoor *et al.* (1995) dalam Rosiana (2007) mengatakan, Tanaman meremediasi polutan organik melalui tiga cara, yaitu menyerap secara langsung bahan kontaminan, mengakumulasi metabolisme non fitotoksik ke sel-sel tanaman, dan melepaskan eksudat dan enzim yang dapat menstimulasi aktivitas mikroba, serta menyerap mineral pada daerah rizosfer. Tanaman juga dapat menguapkan sejumlah uap air. Penguapan ini dapat mengakibatkan migrasi bahan kimia.

Volume Leachate

Volume *leachate* pada sistem berkurang tiap hari. Berkurangnya volume *leachate* karena evapotranspirasi yang terjadi pada sistem. Pengurangan pada masing-masing sistem tidak sama.

Leachate Pada Sistem Batch

Volume air limbah *leachate* yang diujikan, ternyata mengalami perubahan. Baik perlakuan pada sistem *batch* maupun sistem kontinyu. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, disimpulkan bahwa penurunan dan volume *leachate* yang ada pada sistem dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan sistem itu sendiri.

Masing-masing pot pengamatan, volume *leachate* yang diberikan perlakuan dibuat berbeda. untuk sistem *batch*, volume awal *leachate* yang diperlakukan pada pot adalah 2700 ml. dengan asumsi volume tersebut sama seperti penelitian pendahuluan. Kedua, volume tersebut diperhitungkan aman agar sistem tidak sampai terendam telalu banyak air. Rerata tinggi genangan pada sistem 0.8 cm sampai 1 cm. diatas media tanam.

Sistem *batch* pada dasarnya memiliki pola kerja yang sederhana. Pada sistem ini *leachate* dibuat tergenang pada perlakuan. Dengan asumsi selama waktu genang tersebut, *leachate* akan berproses dengan tanaman dan media secara fitoremediasi. Pada sistem ini, diperhitungkan besarnya penambahan *leachate* baru ke dalam sistem. Penambahan ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan perlakuan (*greenhouse*) selama penelitian. Suhu dan kelembaban lingkungan, membuat sistem bereaksi dengan *leachate* yang kemudian dievapotranspirasikan ke lingkungan.

Leachate Pada Sistem Kontinyu

Volume *leachate* pada perlakuan sistem kontinyu sebanyak 7700 ml. sebab, perlakuan ini menggunakan kontainer untuk mengalirkan *leachate* ke system. Jadi volume tersebut merupakan total keseluruhan *leachate* awal yang dengan rincian, volume kontainer sebanyak 5000 ml. sedangkan untuk untuk pot pengamatanya, volumenya sama yakni 2700 ml. Kedua sistem pada dasarnya memiliki pola kerja yang sama. Baik dalam meremoval limbah, maupun dalam proses

evapotranspirasi. Namun karena sistem kontinyu dibuat waktu pengamatan *leachate* 24 jam, maka perlakuan untuk sistem ini lebih intensif dilakukan. Yakni dengan membuka dan menutup kran setiap hari.

Perlakuan pada sistem kontinyu juga mengamati perubahan volume *leachate* nya. namun untuk sistem ini pengamatannya dilihat dari banyaknya *leachate* yang berkurang pada kontainer. Besar penurunan volume kontainer sistem kontinyu dapat diartikan juga sebagai banyaknya penambahan *leachate* yang dibutuhkan kontainer untuk mencapai volume awal. Jika digambarkan dalam bentuk grafik, maka besarnya penambahan yang harus ditambahkan ke kontainer agar tetap pada volume awal.

Pengamatan terhadap perubahan volume pada kedua sistem tersebut bertujuan untuk mengetahui banyaknya *leachate* yang digunakan oleh tanaman untuk metabolisme dan yang dievapotranspirasikan ke lingkungan penelitian. Penambahan *leachate* juga dimaksudkan agar volume sistem tetap dalam kontrol awal. Pengaruh dari penambahan *leachate* baru kedalam kedua sistem perlakuan ini mempengaruhi pH harian.

Tabel 2. Pengaruh Tanaman Bambu Air dengan Sistem Pengaliran *Leachate* Terhadap Kadar Logam Pb Setelah 1 Minggu Pengamatan

Perlakuan	Kadar Logam Pb (ppm)	Notasi*)	BNJ _{0.05}
K ₂ S ₁	0,50100	a	0, 1923
K ₂ S ₂	0,64100	ab	
K ₁ S ₁	0,67667	ab	
K ₁ S ₂	0,76967	b	
K ₃ S ₁	0,80167	b	
K ₃ S ₂	0,81733	b	

Tabel 3. Pengaruh Tanaman Bambu Air dengan Sistem Pengaliran *Leachate* Terhadap Kadar Logam Pb Setelah 2 Minggu Pengamatan

Perlakuan	Kadar Logam Pb (ppm)	Notasi*)	BNJ _{0.05}
K ₂ S ₁	0,55500	a	0, 1068
K ₂ S ₂	0,57900	ab	
K ₁ S ₁	0,67900	bc	
K ₁ S ₂	0,69933	c	
K ₃ S ₁	0,74633	c	
K ₃ S ₂	0,78267	c	

*) Bilangan rata-rata yang didampingi oleh huruf yang sama maka dinyatakan tidak berbeda nyata pada p-value $\alpha = 0,05$

Persentase penurunan logam pada minggu pertama dari nilai Pb awal perlakuan

Meskipun pH *leachate* keseluruhan mengalami penurunan dari pH awal, namun pada hari penambahan *leachate*, pH mengalami peningkatan dari hari sebelumnya.

Penurunan Kandungan Logam

Timbal (Pb)

Pengukuran adsorpsi logam berat Timbal (Pb) dilakukan dengan perbandingan hasil uji analisis secara kimia selama 3 minggu. melakukan perbandingan untuk mengetahui perlakuan manakah yang memberikan pengaruh yang berbeda nyata pada kadar logam Pb setelah 1 minggu dilakukan Uji BNJ.

Berdasarkan uji BNJ pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa rata-rata kadar logam Pb pada perlakuan K₂S₁ berbeda nyata perlakuan K₁S₂, perlakuan K₃S₁ dan K₃S₂. Sedangkan kadar logam Pb pada perlakuan K₁S₂ tidak berbeda nyata dengan perlakuan K₃S₂ dan juga K₃S₁. Rerata kadar logam Pb paling tinggi yaitu pada perlakuan K₃S₂ sebesar 0,81733 ppm, sedangkan rata-rata logam Pb paling rendah pada perlakuan K₂S₁ yaitu sebesar 0,50100 ppm.

2,2923 ppm adalah sebagai berikut. K₂S₁ memiliki nilai persentase yang paling besar

yakni mencapai 78,1 %. Sedangkan perlakuan K_3S_2 memiliki nilai penurunan logam Pb paling rendah yakni sebesar 64,3 %. Perlakuan dengan sistem *batch* memiliki kecenderungan persentase yang besar kecuali perlakuan K_3S_1 yang nilainya hanya 65,0 % , atau lebih besar 0,7 % dari pada perlakuan terendah.

Berdasarkan uji BNJ pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa rata-rata kadar logam Pb pada perlakuan K_2S_1 berbeda nyata dengan perlakuan K_1S_1 , K_1S_2 , K_3S_1 dan juga K_3S_1 . Sedangkan kadar logam Pb pada perlakuan K_1S_2 tidak berbeda nyata dengan perlakuan K_3S_1 . Dimana rata-rata kadar logam Pb paling tinggi yaitu pada perlakuan K_3S_2 sebesar 0,78267 ppm, sedangkan rata-rata logam Pb paling rendah pada perlakuan K_2S_1 yaitu sebesar 0,55500 ppm.

Persentase penurunan logam pada minggu kedua dari nilai Pb awal perlakuan 2,2923 ppm adalah sebagai berikut. K_2S_1 memiliki nilai persentase yang paling besar yakni mencapai 75,1%. Sedangkan perlakuan K_3S_2 memiliki nilai penurunan logam Pb paling rendah yakni sebesar 65,9%. Persentase K_2S_1 pada minggu kedua lebih rendah dari pada minggu pertama sebesar 3%.

Berdasarkan uji BNT pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa rata-rata kadar logam

Tabel 4. Pengaruh Tanaman Bambu Air dengan Sistem Pengaliran *Leachate* Terhadap Kadar Logam Pb Setelah 3 Minggu Pengamatan

Perlakuan	Kadar Logam Pb (ppm)	Notasi*)	BNJ _{0,05}
K_2S_1	0,40933	A	0, 1163
K_2S_2	0,45900	A	
K_1S_1	0,46633	Ab	
K_1S_2	0,47333	Ab	
K_3S_1	0,57500	Bc	
K_3S_2	0,60867	C	

*) Bilangan rata-rata yang didampingi oleh huruf yang sama maka dinyatakan tidak berbeda nyata pada p-value $\alpha = 0,05$

Pb pada perlakuan K_1 (tanaman 30 batang) dan K_2 (tanaman 60 batang) berbeda nyata dengan perlakuan K_3 (tanpa tanaman). Sedangkan perlakuan K_1 (tanaman 30 batang) dan K_2 (tanaman 60 batang) tidak berbeda nyata. Dimana rata-rata kadar logam Pb paling tinggi yaitu pada perlakuan K_3 (tanpa tanaman) sebesar 0,5918 ppm, sedangkan rata-rata logam Pb paling rendah pada perlakuan K_2 (tanaman 60 batang) yaitu sebesar 0,43417 ppm.

Berdasarkan uji BNJ pada Tabel 4 dapat diketahui bahwa rata-rata kadar logam Pb pada perlakuan K_2S_2 berbeda nyata dengan perlakuan K_3S_2 dan perlakuan K_3S_1 . Sedangkan kadar logam Pb pada perlakuan K_2S_1 tidak berbeda nyata dengan perlakuan K_2S_2 , K_1S_1 dan K_1S_2 . Dimana rata-rata kadar logam Pb paling tinggi yaitu pada perlakuan K_3S_2 sebesar 0,60687 ppm, sedangkan rata-rata logam Pb paling rendah pada perlakuan K_2S_1 yaitu sebesar 0,40933 ppm. Rerata penurunan pada perlakuan K_2S_1 selama tiga minggu pengamatan adalah 78,70%. dan untuk rerata penurunan Pb pada perlakuan dengan persentase terendah selama pengamatan, berada pada kisaran 67,87%.

Tabel 5 Pengaruh Tanaman Bambu Air dengan Sistem Pengaliran *Leachate* Terhadap Kadar Logam Cr Setelah 1 Minggu Pengamatan

Perlakuan	Kadar Logam Cr (ppm)	Notasi*)	BNJ _{0,05}
K ₂ S ₂	0,23800	a	0,1742
K ₃ S ₁	0,30233	ab	
K ₁ S ₁	0,30733	ab	
K ₂ S ₁	0,36967	ab	
K ₃ S ₂	0,38800	ab	
K ₁ S ₂	0,46767	b	

*) Bilangan rata-rata yang didampingi oleh huruf yang sama maka dinyatakan tidak berbeda nyata pada p-value $\alpha = 0,05$

Tabel 6. Pengaruh Tanaman Bambu Air dengan Sistem Pengaliran *Leachate* Terhadap Kadar Logam Cr Setelah 2 Minggu Pengamatan

Perlakuan	Kadar Logam Cr (ppm)	Notasi*)	BNJ _{0,05}
K ₂ S ₂	0,23800	a	0,1493
K ₂ S ₁	0,27367	ab	
K ₁ S ₁	0,30867	ab	
K ₃ S ₁	0,31267	ab	
K ₃ S ₂	0,34500	ab	
K ₁ S ₂	0,40633	b	

*) Bilangan rata-rata yang didampingi oleh huruf yang sama maka dinyatakan tidak berbeda nyata pada p-value $\alpha = 0,05$

Tabel 7. Pengaruh Tanaman Bambu Air dengan Sistem Pengaliran *Leachate* Terhadap Kadar Logam Cr Setelah 3 Minggu Pengamatan

Perlakuan	Kadar Logam Cr (ppm)	Notasi*)	BNJ _{0,05}
K ₂ S ₂	0,15100	a	0,0373
K ₂ S ₁	0,16500	ab	
K ₁ S ₁	0,17100	abc	
K ₃ S ₁	0,18200	abc	
K ₃ S ₂	0,19800	bc	
K ₁ S ₂	0,20900	c	

*) Bilangan rata-rata yang didampingi oleh huruf yang sama maka dinyatakan tidak berbeda nyata pada p-value $\alpha = 0,05$

Cromium (Cr)

Kromium (Cr) yang diujikan pada penelitian ini memiliki nilai 0.3892 ppm. Pada tiap 100 ml limbah *leachate*. Pengujian keberadaan Kromium (Cr) yang terkandung dalam *leachate* menggunakan metode pengujian kadar Kromium (Cr) dalam air dengan alat spektrofotometer serapan atom secara ekstraksi. Metode ini digunakan mengikuti SNI 25611 100 1.

Berdasarkan uji BNJ pada Tabel 3.5 dapat diketahui bahwa rata-rata kadar logam Cr pada perlakuan K₂S₂ berbeda nyata perlakuan K₁S₂. Sedangkan kadar logam Cr

pada perlakuan K₃S₁ tidak berbeda nyata dengan perlakuan K₁S₁, K₂S₁ dan K₃S₂. Dimana rata-rata kadar logam Cr paling tinggi yaitu pada perlakuan K₁S₂ sebesar 0,46767 ppm, sedangkan rata-rata logam Cr paling rendah pada perlakuan K₂S₂ yaitu sebesar 0,23800 ppm.

Berdasarkan uji BNT pada Tabel 3.6 dapat diketahui bahwa rata-rata kadar logam Cr pada perlakuan K₂S₂ berbeda nyata perlakuan. Sedangkan kadar logam Cr pada perlakuan K₂S₁ tidak berbeda nyata dengan perlakuan K₁S₁, K₃S₁ dan K₃S₂. Dimana rata-rata kadar logam Cr paling tinggi yaitu pada

perlakuan K_1S_2 sebesar 0,40633 ppm, sedangkan rata-rata logam Cr paling rendah pada perlakuan K_2S_2 yaitu sebesar 0,23800 ppm.

Berdasarkan uji BNJ pada Tabel 3.7 dapat diketahui bahwa rata-rata kadar logam Cr pada perlakuan K_2S_2 berbeda nyata perlakuan K_1S_2 . Sedangkan kadar logam Cr pada perlakuan K_2S_1 tidak berbeda nyata dengan perlakuan K_1S_1 dan K_3S_1 . Dimana rata-rata kadar logam Cr paling tinggi yaitu pada perlakuan K_1S_2 sebesar 0,20900 ppm, sedangkan rata-rata logam Cr paling rendah pada perlakuan K_2S_2 yaitu sebesar 0,15100 ppm.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan :

1. Fitoremediasi cukup efektif dan murah untuk menangani pencemaran terhadap lingkungan oleh logam berat Pb dan Cr. sehingga dapat digunakan untuk remediasi TPA dengan menanam tanaman bambu air. pada penelitian ini terbukti Hipotesis bahwa penurunan kandungan Pb menggunakan fitoremediasi tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) dan media tanam Zeolit dengan sistem *batch* lebih efektif dari pada sistem kontinyu. Namun tidak terbukti pada Logam Cr.
2. penurunan kadar logam Pb pada penelitian ini mencapai 82,2% pada perlakuan K_2S_1 (tanaman 60 batang dengan sistem *batch*). Sedangkan persentase penurunan logam Cr pada perlakuan K_2S_2 (tanaman 60 Batang dengan sistem kontinyu) yaitu sebesar 61.2%.
3. pH *leachate* mengalami penurunan selama penelitian. pH *leachate* pada awal penelitian adalah 7,8. Sedangkan pada akhir penelitian, pH *leachate* 7,433. Suhu dan kelembaban pada lingkungan penelitian berpengaruh langsung pada sistem perlakuan. Berkurangnya *leachate* pada sistem dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Baik yang digunakan untuk tanaman maupun proses evapotranspirasi.

4. Zeolit mengalami perubahan fisik (warna). Sedangkan pada tanaman bambu air tidak mengalami perubahan yang signifikan. Tingkat kematian tanaman tidak masuk dalam pengamatan.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui penurunan logam-logam alkali, besi (Fe), *Zing* (Zn), dan *Cadmium* (Cd) dalam *leachate*.
2. Perlu dilakukan pengamatan mengenai aktifitas biologi selama penelitian, BOD₅ dan COD.
3. Perlu dilakukan analisis kimia pada media tanam yang diujikan dengan sistem ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adler PR. 2000. *Phytoremediation of Aquaculture Effluents*. USDA-ARS, Kearneysville, West Virginia USA.
- Fall. 2004. *Constructed Wetland*. volume 5, number 4. NESC, Caigan Mcikenzi. USA
- Firdaus A. 2009. *Menyiasati Perubahan Iklim di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau kecil*. Bogor: Sarana Komonikasi Utama.
- Garnasih I. 2009. *Potensi toksisitas dan genotoksitas air Lindi sampah dari tpa sarimukti kabupaten bandung Terhadap tikus*. [Tesis yang tidak dipublikasi. SITH-ITB, Bandung]
- Harold C, Bold. 1987. *The Plant Kingdom Fifth Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Huheey. 1986. *Inorganic Chemistry. 2nd edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Indartono. 2006. *Digester Biogas Tipe Batch*. Universitas Sumatra Utara. Sumatra Utara.
- Nursal F dan Basori. 2005. Akumulasi Timbal (pb) pada Talus Lichenes di kota pekanbaru. *Jurnal Biogenesis* Vol. **1(2)**:47-50
- Rahayu SS. 2009. Pengukuran pH. <http://www.chem-is-try.org> [diakses tanggal 1 agustus 2011]
- Rosiana N, T Supriatun., Y Dhahiyat. 2007. *Fitoremediasi limbah cair dengan*

- eceng gondok (eichhornia crassipes (mart) solms) dan limbah padat Industri minyak bumi dengan sengon(Paraserianthes falcataria l. Nielsen) bermikoriza. Penelitian.* Universitas Padjadjaran. Bandung.
- Tjitrosomo SS. 1983. *Botani Umum*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Zonneveld N, EA Huisman, and JH Boon. 1991. *Prinsip prinsip budidaya ikan*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama. 318 hal.