

Penurunan Kandungan Logam Pb dan Cr *Leachate* Melalui Fitoremediasi Bambu Air (*Equisetum Hyemale*) dan Zeolit

Moh. Mishbahul Anam MS, Evi Kurniati, Bambang Suharto

Jurusan Keteknikan Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang 65145

ABSTRAK

Jumlah sampah di TPA yang sangat besar akan menyebabkan proses dekomposisi alamiah berlangsung secara besar-besaran pula. Proses dekomposisi tersebut akan mengubah sampah menjadi pupuk organik yang jika ada masukan air dari luar, akan melarutkan logam-logam yang kemudian menjadi hasil samping yaitu *leachate*. Masuknya zat-zat kimia yang terkandung dalam *leachate* ke dalam ekosistem perairan juga dapat mempengaruhi biota yang ada. Oleh karenanya perlu pengolahan limbah tersebut sebelum di lepas ke lingkungan. Pengolahan limbah *leachate* dengan menggunakan prinsip fitoremediasi melalui tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*), dengan media tanam zeolit menjadi pilihan dalam upaya pengolahan limbah cair Sistem fitoremediasi diambil dengan berbagai pertimbangan yang sangat potensial untuk dikembangkan menjadi inovasi baru dalam proses pengolahan limbah *leachate*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keefektifan sistem fitoremediasi menggunakan tanaman bambu air (*Equisetum hyemale*) dan media tanam zeolit dengan sistem *batch* dan sistem kontinyu dalam menurunkan kandungan logam berat Pb dan Cr *leachate*. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei sampai bulan Juli 2011 di *Green House* Laboratorium Teknik Sumber Daya Alam dan Lingkungan (TSAL) Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya, Malang. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Pengamatan yang dilakukan meliputi suhu dan kelembaban lingkungan, pH larutan dan suhu perlakuan. Penurunan kandungan Logam Pb dan Cr pada *leachate*. Sistem *batch* dan sistem kontinyu secara keseluruhan, rerata pH *leachate* yang diujikan selama perlakuan ini berkisar sekitar 7,466. pH *leachate* yang diujikan tidak kurang dari 7,200 dan tidak lebih dari 7,810. Rerata suhu *leachate* dari minggu pertama sampai minggu ketiga sebesar 22,283 0C. perlakuan terbaik ada pada perlakuan K2S1 (60 Tanaman sistem *batch*) dengan penurunan kandungan logam Pb sebesar 82,2% pada minggu terakhir pengamatan. Sedangkan penurunan logam Cr sebesar 61,2% pada perlakuan K2S2 (60 Tanaman sistem Kontinyu).

Kata Kunci : Leachate, Bambu air (*Equisetum hyemale*), fitoremediasi, zeolit.

Reduction of Pb and Cr Metals Contents of Leachate by means of Phytoremediation of Bambu Air (Equisetum hyemale) and Zeolite

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 zeolit planting media by batch system and continue system in reducing Pb and Cr heavy metals contents of leachate. This research was conducted on May through July 2001 at the Green House of Natural and Environmental Resources Engineering Laboratory (TSAL) of Agricultural Engineering Matter Department, Agricultural Technology Faculty of Brawijaya University, Malang. 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

Produksi sampah di Kota Malang meningkat setiap tahun. Data 4 tahun terakhir pada tahun 2007 sebanyak 17.204.000 kg/hari, tahun 2008 sebanyak 25.963.600 kg/hari, tahun 2009 sebanyak 32.566.000 kg/hari, dan tahun 2010 sebanyak 45.000.000 kg/hari (Pemkot Malang, 2011). Pertambahan penduduk dengan segala aktivitasnya yang demikian pesat telah mengakibatkan peningkatan jumlah sampah. Produksi sampah yang semakin tinggi, dipacu dengan adanya kegiatan masyarakat yang beraneka ragam, menyebabkan terakumulasinya sampah, sehingga semakin hari semakin menumpuk.

Keberadaan tempat pembuangan akhir sampah (TPAS) memiliki fungsi yang sangat penting, yaitu sebagai pengolahan akhir sampah baik yang akan didaur ulang sebagai kompos ataupun hanya ditimbun setelah disortir oleh pemulung. Jumlah sampah di TPAS yang sangat besar akan menyebabkan proses dekomposisi alamiah berlangsung secara besar-besaran pula. Proses dekomposisi tersebut akan mengubah sampah menjadi pupuk organik dan menimbulkan hasil samping yaitu *leachate* (air lindi).

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.

Fitoremediasi (*phytoremediation*) merupakan suatu sistem dimana tanaman tertentu yang bekerja sama dengan mikro organisme dalam media (tanah, koral dan air). Perpaduan ini dapat mengubah zat kontaminan (pencemar/polutan) menjadi kurang atau tidak berbahaya bahkan menjadi bahan yang berguna secara ekonomi. Proses yang dilakukan tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul kompleks menjadi bahan yang

tidak berbahaya dengan susunan molekul yang lebih sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri.

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*. Dipilihnya tanaman Bambu Air (*Equisetum hyemale*) karena tanaman ini memiliki beberapa keunggulan. Beberapa keunggulan tanaman ini antara lain; tanaman ini dapat mudah tumbuh dimana saja, mudah perawatannya, dan tahan terhadap berbagai pengaruh luar. Sedangkan untuk media tanam dipilih zeolit. Hal ini dikarenakan media tanam ini memiliki kemampuan daya serap air, aerasi, adsorpsi bahan-bahan organik dan partikel kimia yang ada pada *leachate*. Pertukaran ionnya relatif lebih tinggi dari pada media tanam lain. Sehingga memudahkan tanaman dalam proses penyerapan air limbah. Maka pemilihan zeolit menjadi lebih tepat dalam penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah pH Meter digital, gelas ukur, thermometer, kontainer dengan volume 5000 ml, ember, pot tanam, selang air, penggaris, jerigen, oven, ayakan 2-3 Mesh, nampan. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah *Leachate*/ air lindi, zeolit 2-3 mesh, lakban, bambu air (*Equisetum hyemale*) sebagai tanaman uji, aquades (H₂O), HCl 1 M.

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 3.1.

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)

Dari proporsi 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. Model analisis Rancangan Acak Kelompok (RAK) menurut Yitnosumarto (1993) adalah:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij}, \quad i = 1,2,3,\dots,p$$
$$j = 1,2,3,\dots,r$$

Dimana: Y_{ij} = nilai pengamatan pada perlakuan ke-I ulangan ke-j

μ = nilai tengah umum

τ_i = pengaruh perlakuan ke-i

β_j = pengaruh kelompok ke-j

$(\tau\beta)_{ij}$ = pengaruh interaksi perlakuan ke-i dan kelompok ke-j

ε_{ij} = kesalahan (galat) percobaan pada perlakuan ke-i kelompok ke-j

p = banyaknya perlakuan

r = banyaknya kelompok

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* dimasukkan 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 diairi 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. Banyaknya volume *leachate* yang ditambahkan terlampir pada Lampiran 5.

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 dibuat waktu pengamatan 24 jam. Setelah 24 jam, maka bukaan pot yang berdiameter 6 mm dibuka, *leachate* dialirkan pada nampan. Setelah itu, bukaan 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 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 mengetahui pengaruh dari faktor ataupun adanya interaksi dilakukan Uji BNJ pada selang kepercayaan 5%. Secara skematis, alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1, sedangkan skema penelitian seperti terlihat pada Gambar 3.2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik *Leachate* sebelum perlakuan

Penelitian pendahuluan dilakukan terlebih dahulu sebelum dilaksanakan penelitian utama. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan data mengenai karakteristik dan kandungan logam berat yang ada pada limbah tersebut. Logam berat yang difokuskan adalah Kromium (Cr) dan Timbal (Pb). Hasil dari pengujiannya selanjutnya dipakai pada penelitian utama. Limbah yang diujikan adalah limbah TPA / *leachate*. Sampel yang telah diuji selanjutnya ditandai sebagai data awal jumlah kandungan logam berat Pb dan Cr yang terdapat pada limbah *leachate* tersebut.

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.

Penelitian Kusmayadi (1986) dianalisis susunan kimia air lindi dibandingkan dengan sampah segar dan sampah yang telah membusuk dan bercampur dengan tanah yang bersal dari TPA. Dari penelitian diketahui bahwa air lindi mengandung beberapa unsur yang berkadar tinggi (lebih dari 10 mg/l) seperti Nitrogen (N), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Besi (Fe) dan Kalium (K).

Menurut Tchobanoglous *et al.* (1977), air lindi banyak mengandung unsur unsur yang dibutuhkan tanaman, diantaranya organik Nitrogen (10-600 mg/l), Amonium Nitrogen (10-800 mg/l), Nitrat (5-40 mg/l), Fosfor Total (1-70 mg/l), Total Besi (50-600 mg/l), sementara kalau tidak dimanfaatkan, air lindi ini mencemari air di sekitar tempat pembuangan sampah, sehingga dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan.

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.

Usia TPA sangat mempengaruhi kualitas *leachate* yang dihasilkan seperti BOD, COD, TOC dan pH, pada TPA yang berusia baru atau dibawah 2 tahun mempunyai kualitas *leachate* (air lindi) yang cenderung besar. Namun pada TPA yang berusia diatas 10 tahun, akan menghasilkan *leachate* yang cenderung netral bahkan mempunyai kandungan karbon organik dan mineral relatif rendah. (Heinke, 1996)

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.

Berdasarkan penelitian Sudjianto (2008) di TPA Supit Urang didapatkan nilai pH yang tidak jauh berbeda dengan pH *leachate* hasil penelitian. Namun untuk nilai unsur logam Pb dan Cr, pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

4.2 Karakteristik Tanaman

Tanaman Bambu air (*Equisetum hyemale*) yang diperlakukan sebagai tanamn 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.

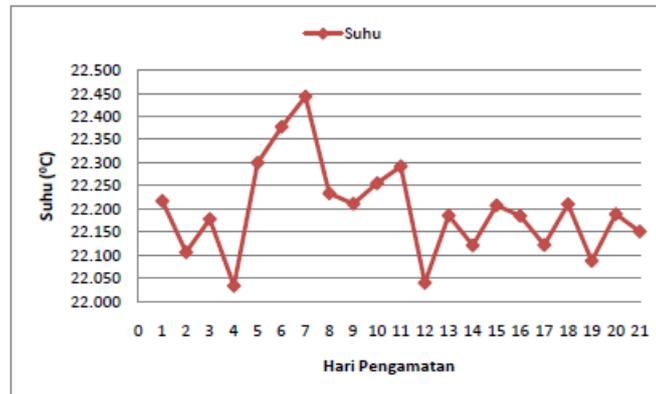
Schnoor *et al.* (1995) dalam Rosiana (2007) mengatakan, tanaman meremediasi polutan organik melalui tiga cara, yaitu menyerap secara langsung bahan kontaminan, mengakumulasi metabolisme non fitotoksik ke sel-sel tanaman, dan melepaskan eksudat dan enzim yang dapat menstimulasi aktivitas mikroba, serta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

Pemilihan batang tanaman yang baik merujuk pada pernyataan (Tjitrosoepomo, 1989) tersebut. 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.

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 kelembapan lingkungan *greenhouse*.

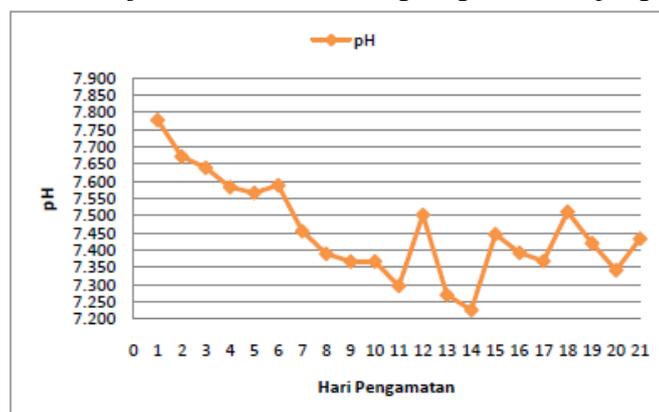
Penutup terang atau berwarna putih memiliki *Radiation Photosynthesis Active* / RPA cukup besar $\pm 35-75\%$ dan refleksi konstan 10-20%. Sedangkan untuk penutup gelap atau selain warna putih memiliki RPA $\pm 35-75\%$. Gambar 4.1 menunjukkan suhu harian pada minggu pertama, kedua dan ketiga selama penelitian.



Gambar 4.1 Suhu Lingkungan Selama Pengamatan

Gambar 4.1 menunjukkan kondisi suhu lingkungan penelitian selama tiga minggu pengamatan. Berdasarkan Gambar 4.1 dapat dilihat kecenderungan fluktuasi suhu setiap harinya. Suhu lingkungan secara langsung mempengaruhi proses evaporasi dan evapotranspirasi perlakuan. Suhu berbanding lurus dengan evaporasi dan evapotranspirasi. Suhu lingkungan mengalami fluktuasi per harinya. Hal ini dikarenakan kondisi cuaca pada hari pengamatan dan intensitas penyinaran matahari yang tidak tetap. Namun fluktuasi suhu harian tidak mencapai selisih yang terlalu besar.

Temperatur udara dalam suatu *Greenhouse* akan meningkat sekitar 370C- 480C 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. Gambar 4.2 menunjukkan kelembaban lingkungan selama pengamatan.



Gambar 4.2 Kelembaban Lingkungan Selama Pengamatan

Kelembaban selama pengamatan pada Gambar 4.2 menunjukkan adanya pengaruh suhu lingkungan pada naik turunnya kelembaban pada lingkungan. Pada minggu kedua, kondisi lingkungan mencapai titik terendah kelembabannya, sedangkan suhu pada lingkungan ada pada titik terendah. Pada beberapa pengamatan, suhu lingkungan yang rendah di ikuti dengan kenaikan kelembaban lingkungan pengamatan. Kelembaban lingkungan yang rendah membuat sistem dalam lingkungan penelitian berada pada kondisi yang tergolong kering. Sehingga evapotranspirasi yang terjadi pada sistem tergolong tinggi. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya *leachate* yang ditambahkan pada perlakuan *batch* dan penurunan volume container pada perlakuan kontinyu.

4.4 Karakteristik *Leachate* Hasil Penelitian

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

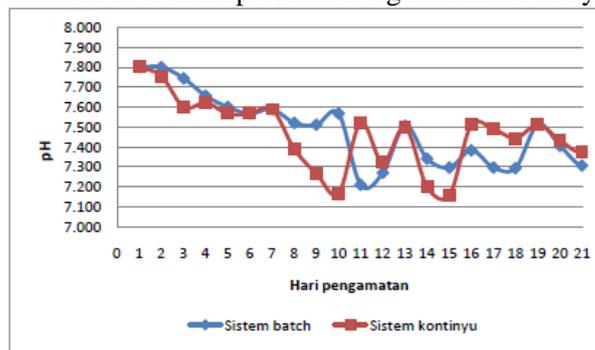
4.4.1 pH

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 di pengaruhi 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 (Suryadharna, 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.



Gambar 4.3 Grafik pH *Leachate* Sistem Selama Pengamatan

Gambar 4.3 di atas menunjukkan total perubahan pH pada semua perlakuan Sistem *batch* dan sistem kontinyu pada minggu ke-1 sampai minggu ke-3. Jika dilihat secara keseluruhan, rerata pH *leachate* yang diujikan dalam penelitian ini berkisar sekitar 7,466. Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa pH *leachate* menalami penurunan. Salah satu contoh, Pada tiga hari pertama terjadi penurunan pH dari 7,800 ke 7,672. namun ada juga kenaikan pH *leachate* pada minggu ke-2.

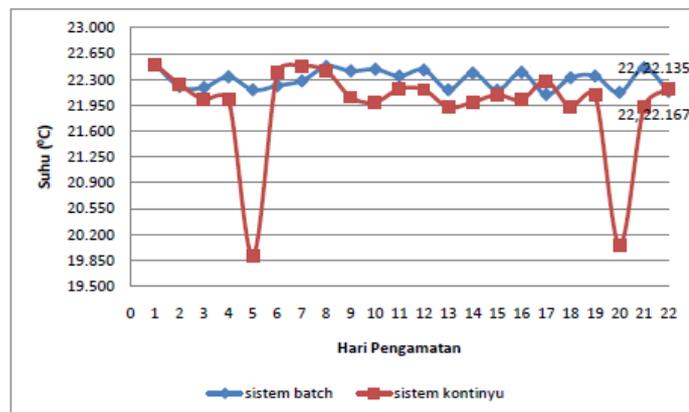
Fluktuasi pH tidak selalu mengalami penurunan tiap hari k-3 pada beberapa pengamatan, namun ada pula yang mengalami perubahan yang sangat menyolok. Kenaikan dan penurunan

pH ini dipengaruhi oleh penambahan limbah baru yang dilakukan tiap tiga hari sekali. Penambahan ini dimaksudkan untuk membuat volume limbah tetap. Banyaknya penambahan limbah *leachate* baru akan di jelaskan pada sub bab selanjutnya. Perubahan pH dapat dilihat jelas pada Tabel pengamatan pH harian di Lampiran 3. Berdasar pada penelitian Suryadharna yang menyatakan bahwa pH *leachate* berada pada rentang netral (6-8). Maka penelitian ini menunjukkan pH yang bersesuaian dengan penelitian sebelumnya. pH *leachate* yang diujikan tidak kurang dari 7,200 dan tidak lebih dari 7,810. dengan selisih kenaikan dan penurunannya berkisar 0,1-0,2 satuan.

4.4.2 Suhu

Penelitian ini juga mengukur suhu limbah *leachate* yang diujikan. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui besarnya suhu sistem pada tiap perlakuan. Sebab selama penelitian semua sistem berada di lingkungan *greenhouse*. Sehingga secara langsung suhu *greenhouse* akan mempengaruhi suhu *leachate* dalam sistem. 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 0C. Hasil penelitian pendahuluan tersebut dijadikan data pembanding dengan data perlakuan yang dilakukan di *greenhouse*. Gambar 4.4 berikut merupakan rerata suhu perlakuan selama penelitian.



Gambar 4.4 Grafik Suhu *Leachat*

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa rerata suhu *leachate* yang di ujikan di dalam *greenhouse* dengan suhu tertinggi ada pada minggu pertama yakni 22,500 0C sedangkan rerata suhu *leachate* terendah untuk semua perlakuan ada pada minggu kedua yakni 22,000. Sedangkan untuk rerata suhu *leachate* dari minggu pertama sampai minggu ketiga sebesar 22,283 0C.

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 0C, sedangkan Suhu *leachate* yang di tempatkan di *greenhouse* memiliki suhu sebesar 22,283 0C 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.

4.5 Volume *Leachate*

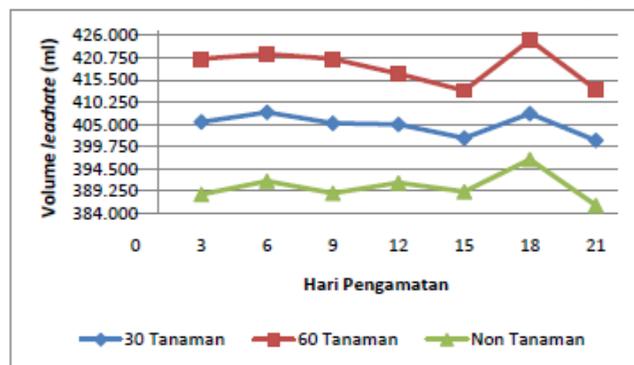
Volume *leachate* pada sistem berkurang tiap hari. Berkurangnya volume *leachate* karena evapotranspirasi yang terjadi pada sistem. Pengurangan pada masing-masing sistem tidak sama.

4.5.1 *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 terlalu 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. Gambar 4.5 menunjukkan rerata volume penambahan *leachate* pada sistem *batch* untuk semua kombinasi perlakuan selama pengamatan.



Gambar 4.5 Grafik Volume Penambahan *Leachate* Pada Sistem *Batch*

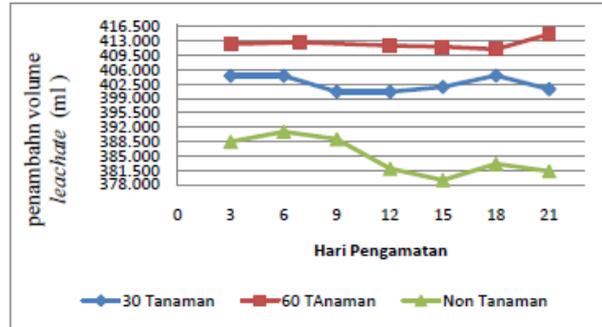
Gambar 4.5 menunjukkan grafik rerata penambahan volume *leachate* pada masing masing kombinasi, yakni perlakuan I untuk K1S1, perlakuan II untuk K2S1, dan perlakuan III untuk K3S1. Dari Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa penambahan *leachate* pada pot sama dengan kebutuhan air pada tiap pot tersebut. perlakuan II membutuhkan tambahan limbah yang relatif lebih banyak dari pada perlakuan lainnya.

Perlakuan II lebih banyak membutuhkan tambahan *leachate*. Hal ini dikarenakan perlakuan II menggunakan kombinasi tanaman 60 batang. Secara teori semakin banyak tanaman dalam satu area, maka kebutuhan air juga akan meningkat. Evapotranspirasi berlangsung secara cepat. Sedangkan untuk perlakuan III berdasarkan Gambar 4.5 menunjukkan adanya kecenderungan untuk lebih sedikit dalam penambahan *leachate* selama penelitian. Hal ini karena perlakuan III tidak menggunakan tanaman hanya berupa media tanam zeolit saja. Sehingga proses yang terjadi pada perlakuan III hanya evaporasi.

4.5.2 *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

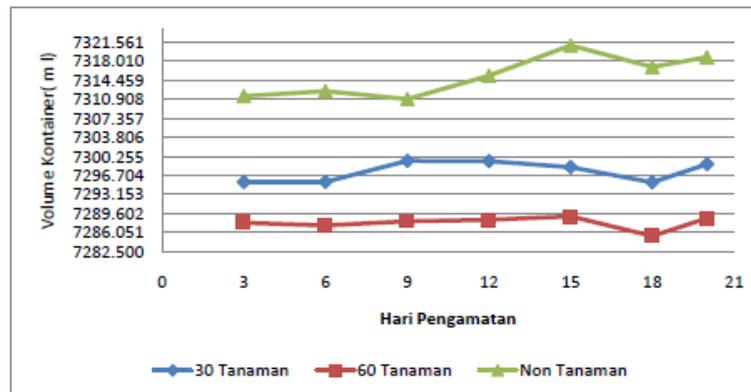
evapotranspirasi. Namun karena sistem kontinu dibuat waktu pengamatan *leachate* 24 jam, maka perlakuan untuk sistem ini lebih intensif dilakukan. Yakni dengan membuka dan menutup kran setiap hari. Perlakuan pada sistem kontinu juga mengamati perubahan volume *leachate* nya. namun untuk sistem ini pengamatannya dilihat dari banyaknya *leachate* yang berkurang pada kontainer. Grafik rerata penurunan volume kontainer system kontinu selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Volume Penambahan *Leachate* pada Sistem Kontinu

Grafik rerata penurunan volume kontainer sistem kontinu pada Gambar 4.6 menunjukkan pola yang sama seperti grafik penambahan *leachate* pada sistem *batch*. Salah satu contoh, pada pengamatan pertama hari ke-3, Perlakuan ke II mengalami pengurangan volume paling besar yakni dari 7700 ml ke 7287,847 ml. atau berkurang 412,143 ml dari volume awalnya. Perlakuan I dan III menempati posisi kedua dan ketiga.

Besar penurunan volume kontainer sistem kontinu 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. Berikut Gambar 4.7 merupakan grafik penambahan limbah yang harus di tambahkan agar volume kontainer tetap pada volume awal.



Gambar 4.7 Grafik Penurunan Volume *Leachate* di dalam Kontainer.

Grafik pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7, sama-sama menunjukkan penambahan *leachate* pada sistem. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *leachate* pada sistem *batch* lebih banyak daripada penambahan *leachate* pada sistem kontinu. Namun, untuk kecenderungan kebutuhan air pada masing masing perlakuan sama, yakni perlakuan II dengan 60 tanam membutuhkan volume air limbah yang lebih banyak dari pada perlakuan I dengan 30 tanam dan perlakuan III dengan tanpa tanam.

Pengamatan terhadap perubahan volume pada kedua sistem tersebut bertujuan untuk mengetahui banyaknya *leachate* yang digunakan oleh tanaman untuk metabolisme dan yang dievapotanspirasikan ke lingkungan penelitian. Sistem *batch* membutuhkan *leachate* yang lebih banyak daripada sistem kontinu.

Penambahan *leachate* juga dimaksudkan agar volume sistem tetap dalam kontrol awal. Pengaruh dari penambahan *leachate* baru kedalam kedua sistem perlakuan ini mempengaruhi

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

4.6 Penurunan Kandungan Logam

4.6.1 Timbal (Pb)

Ardyanto (2005) menyatakan, Timbal atau yang kita kenal sehari-hari dengan timah hitam dan dalam bahasa ilmiahnya dikenal dengan kata *Plumbum* dan logam ini disimbolkan dengan Pb. Logam ini termasuk ke dalam kelompok logam-logam golongan IV–A pada tabel Periodik unsur kimia. Mempunyai nomor atom (NA) 82 dengan bobot atau berat (BA) 207,2 adalah suatu logam berat berwarna kelabu kebiruan dan lunak dengan titik leleh 327 0C dan titik didih 1.6200C.

Pb menguap dan bereaksi dengan Oksigen (O₂) dalam udara membentuk Timbal Oksida Pada suhu 550-6000C. Bentuk oksidasi yang paling umum adalah timbal (II). Walaupun bersifat lunak dan lentur, Pb sangat rapuh dan mengkerut pada pendinginan, sulit larut dalam air dingin, air panas dan air asam. Timah hitam dapat larut dalam asam nitrit, asam asetat dan asam sulfat pekat (Palar, 1994). Timbal yang diujikan pada penelitian ini memiliki nilai 2,2923 ppm untuk tiap 100 ml limbah *leachate*.

Pengujian keberadaan timbal yang terkandung dalam *leachate* menggunakan metode pengujian kadar timbal dalam air dengan alat spektrofotometer serapan atom secara ekstraksi. Metode ini digunakan mengikuti SNI 06-2516-1991. Secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 13 (Anonim, 2006). Pengukuran adsorpsi logam berat Timbal (Pb) dilakukan dengan perbandingan hasil uji analisis secara kimia selama 3 minggu berturut-turut dengan berbagai perlakuan. Mengetahui interaksi perlakuan dengan menggunakan Uji BNJ.

Tabel 4.1 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	

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

Berdasarkan uji BNJ pada Tabel 4.1 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. Persentase penurunan logam pada minggu pertama dari nilai Pb awal perlakuan 2,2923 ppm adalah sebagai berikut. K₂S₁ memiliki nilai persentase yang paling besar yakni mencapai 78,1 %. Sedangkan perlakuan K₃S₂ memiliki nilai penurunan logam Pb paling rendah yakni sebesar 64,3 %. Perlakuan dengan sistem *batch* memiliki kecenderungan persentase yang besar kecuali perlakuan K₃S₁ yang nilainya hanya 65,0 % , atau lebih besar 0,7 % dari pada perlakuan terendah.

Tabel 4.2 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 $\alpha = 0,05$

Berdasarkan uji BNJ pada Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa rata-rata kadar logam Pb pada perlakuan K₂S₁ berbeda nyata dengan perlakuan K₁S₁, K₁S₂, K₃S₁ dan juga K₃S₁. Sedangkan kadar logam Pb pada perlakuan K₁S₂ tidak berbeda nyata dengan perlakuan K₃S₁. Dimana rata-rata kadar logam Pb paling tinggi yaitu pada perlakuan K₃S₂ sebesar 0,78267 ppm, sedangkan rata-rata logam Pb paling rendah pada perlakuan K₂S₁ yaitu sebesar 0,55500 ppm.

Persentase penurunan logam pada minggu kedua dari nilai Pb awal perlakuan 2,2923 ppm adalah sebagai berikut. K₂S₁ memiliki nilai persentase yang paling besar yakni mencapai 75,1%. Sedangkan perlakuan K₃S₂ memiliki nilai penurunan logam Pb paling rendah yakni sebesar 65,9%. Persentase K₂S₁ pada minggu kedua lebih rendah dari pada minggu pertama sebesar 3%.

Tabel 4.4 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 ₂ S ₁	0,40933	a	0,1163
K ₂ S ₂	0,45900	a	
K ₁ S ₁	0,46633	ab	
K ₁ S ₂	0,47333	ab	
K ₃ S ₁	0,57500	bc	
K ₃ S ₂	0,60867	c	

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

Berdasarkan uji BNJ pada Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa rata-rata kadar logam Pb pada perlakuan K₂S₂ berbeda nyata dengan perlakuan K₃S₂ dan perlakuan K₃S₁. Sedangkan kadar logam Pb pada perlakuan K₂S₁ tidak berbeda nyata dengan perlakuan K₂S₂, K₁S₁ dan K₁S₂. Dimana rata-rata kadar logam Pb paling tinggi yaitu pada perlakuan K₃S₂ sebesar 0,60687 ppm, sedangkan rata-rata logam Pb paling rendah pada perlakuan K₂S₁ yaitu sebesar 0,40933 ppm. Rerata penurunan pada perlakuan K₂S₁ selama tiga minggu pengamatan adalah 78,70%. dan untuk rerata penurunan Pb pada perlakuan dengan persentase terendah selama pengamatan, berada pada kisaran 67,87%.

4.6.2 Kromium (Cr)

Pembuangan limbah maupun bahan pencemar lain akan mempengaruhi kehidupan dalam air, suatu bahan pencemar dalam suatu ekosistem mungkin cukup banyak sehingga akan meracuni organisme berada disana. Bahan pencemar terutama dari logam-logam yang banyak sekali mencemari air antara lain; Merkuri (Hg), Timbal (Pb), Arsenik (As), Kadmium (Cd), Kromium (Cr) dan Nikel (Ni). Logam-logam ini diketahui dapat mengumpul di dalam tubuh suatu organisme dan tetap tinggal dalam tubuh dalam jangka waktu yang lama sebagai racun yang terakumulasi (Kristanto, 2002).

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. Secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 13[2] (Anonimc, 2006).

Walaupun kadar Kromium (Cr) yang terlarut dalam air ini masih sangat kecil, hal ini perlu diperhatikan karena kadar Kromium (Cr) ini dapat terserap baik oleh tanaman misalnya kangkung dan ikan dan dapat terakumulasi sehingga berbahaya apabila kangkung dan ikan ini dikonsumsi oleh manusia terutama kromium valensi 6+ (Cr 6+) yang memiliki daya racun paling tinggi dan nantinya dapat menimbulkan kanker dalam tubuh manusia (Palar, 1994).

Tabel 4.5 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 $\alpha = 0,05$

Berdasarkan uji BNT pada Tabel 4.5 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. Persentase penurunan logam pada minggu pertama dari nilai Cr awal perlakuan 0,3892 ppm adalah sebagai berikut. K2S2 memiliki nilai persentase yang paling besar yakni mencapai 78,1%. Sedangkan perlakuan K2S1 memiliki nilai penurunan logam C paling rendah yakni sebesar -20,1% dengan kata lain, pada perlakuan ini kadar Cr lebih tinggi dari pada nilai kadar awalnya. Sedangkan untuk perlakuan yang lain persentasenya tergolong rendah jika dibandingkan dengan persentase logam Pb pada minggu yang sama.

Tabel 4.6 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 $\alpha = 0,05$

Berdasarkan uji BNT pada Tabel 4.6 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 K1S2 sebesar 0,40633 ppm, sedangkan rata-rata logam Cr paling rendah pada perlakuan K2S2 yaitu sebesar 0,23800 ppm. Persentase penurunan logam pada minggu kedua dari nilai Cr awal perlakuan 0,3892 ppm adalah sebagai berikut. K2S2 memiliki nilai persentase yang paling besar yakni mencapai 75,1%. Sedangkan perlakuan K3S2

memiliki nilai penurunan logam Pb paling rendah yakni sebesar 38,8%. Persentase K1S2 pada minggu kedua sudah menunjukkan penurunan logam Cr dari -20,1% ke -4,4 %.

Tabel 4.7 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 $\alpha = 0,05$

Berdasarkan uji BNJ pada Tabel 4.7 dapat diketahui bahwa rata-rata kadar logam Cr pada perlakuan K2S2 berbeda nyata perlakuan K1S2. Sedangkan kadar logam Cr pada perlakuan K2S1 tidak berbeda nyata dengan perlakuan K1S1 dan K3S1. Dimana rata-rata kadar logam Cr paling tinggi yaitu pada perlakuan K1S2 sebesar 0,20900 ppm, sedangkan rata-rata logam Cr paling rendah pada perlakuan K2S2 yaitu sebesar 0,15100 ppm.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang sudah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa 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. Penurunan kadar logam Pb pada penelitian ini mencapai 82,2% pada perlakuan K2S1 (tanaman 60 batang dengan sistem *batch*). Sedangkan persentase penurunan logam Cr pada perlakuan K2S2 (tanaman 60 Batang dengan sistem kontinyu) yaitu sebesar 61.2%. 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. Zeolit mengalami perubahan fisik (warna). Sedangkan pada tanaman bambu air tidak mengalami perubahan yang signifikan. Tingkat kematian tanaman tidak masuk dalam pengamatan

DAFTAR PUSTAKA

- Adler, Paul R. 2000. *Phytoremediation of Aquaculture Effluents*. USDA-ARS, Kearneysville, West Virginia USA.
- Amelia. 2003. **Bambu air (*Equisetum hyemale*)**. www.florelaurentienne.com/hyemale.htm. diakses tanggal 20 maret 2011
- Ardyanto, Denny. 2005. **Deteksi Pencemaran Timah Hitam (Pb) Dalam Darah Masyarakat Yang Terpajan Timbal (*Plumbum*)**. Jurnal kesehatan lingkungan, vol. 2, no.1, juli 2005 : 67 - 76. Universitas Airlangga. Surabaya
- BPLHD. 2009. **Pencemaran Pb(Timbal)**. Subbid Pemantauan Pencemaran. Jawa Barat.
- Campbell. 1994. *Constructed Wetlands in the Sustainable Landscape*. Art Ludwig. USA
- Chang, Jen-Hu. 1974. *Climate and Agriculture; an ecological survey*. Aldine : Chicago USA.

- Chen, Y.K., 1975. *Mechanism of Leachate Formation in Sanitary Landfill*. Ann Arbor Science, Michigan.
- Connell D.W., dan Miller G. J., 1983, *Chemistry and Ecotoxicology of Pollution*. Wiley Interscience Publication, Brisbane Australia.
- Damanhuri, T.P., 2004, **Pengelolaan Persampahan**. Erlangga, Jakarta.
- Davis, M.L., dan Cornwell, D.A., 1991, *Introduction to Environmental Engineering*, McGraw-Hill International Edition, Singapore.
- De Garmo., E.P., W.G. Sullivan, and J.R. Canada . 1984. *Engineering Economy*. Macmillan publishing company. New York.
- Degremont.1994. *Effluent Treatment Plant Operating Manual*. PT Kertas Leces (Persero). Probolinggo.
- Djakfar, A.M., 1990, **Polielektrolit dari Pati Ubi Kayu sebagai Bahan Koagulan Pada Penjernihan Air**. Laporan Penelitian Departemen Perindustrian (BIPA). Palembang.
- Dwidjoseputro. 1980. **Pengantar Fisiologi Tumbuhan**. PT Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- DR.P.V Chadha.1995. **Timbal, Ilmu Forensik dan Toksikologi**. Edisi 5 hal. 268 - 272., Penerbit Widya Medika. Jakarta.
- Effendi, H. 2003. **Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan**. Kanisius, Yogyakarta
- Fall. 2004. *Constructed Wetland*. volume 5, number 4. NESC, Caigan Mcikenzi. USA
- Firdaus., Agung. 2009. **Menyiasati Perubahan Iklim di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau kecil**. Sarana Komonikasi Utama. Bogor. Garnasih, indri 2009. **Potensi toksisitas dan genotoksitas air Lindi sampah dari tpa sarimukti kabupaten bandung Terhadap tikus.TESIS**. SITH-ITB. Bandung.
- Gembong., Tjitrosoepomo 1989. *Taksonomi Tumbuhan*. Yogyakarta. Gajah Mada University Press.
- Glynn Henry and Gary W. Heinke. 1996. *Enviromental Science and Engineering*. Prentice Hall International. Inc. New Jersey.
- Hadi, Abdul. 2009. *Soil and Water Data as Estimates of Greenhouse*. Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan Vol. 9 No. 2 (2009) p: 123-136. *Faculty of Agriculture, Lambung Mangkurat University*. Kalimantan selatan.
- Handoko. 1991. **Pendugaan hasil menggunakan indeks iklim. Di dalam Kapita Selekta dalam Agroklimatologi**. Dirjen-Dikti Depdikbud: jakarta.
- Hariani Poedji Loekitowati , Nurlisa Hidayati, dan Melly Oktaria 2009. **Penurunan Konsentrasi Cr(VI) Dalam Air Dengan Koagulan FeSO4**. Jurnal Penelitian Sains. Volume 12 Nomer 2(C) 12208
- Harold C., Bold. 1987. *The Plant Kingdom Fifth Edition*. John Wiley and Sons. New York
- Huheey. 1986, *Inorganic Chemistry. 2nd edition*. John Wiley and Sons. New York
- Indartono. 2006. **Digester Biogas Tipe Batch**. Universitas Sumatra Utara. Sumatra Utara.
- Ismail. 1999. **Tuntutan Membangun Agribisnis Edisi Pertama**. Penerbit PT Elex Media Komputindo Kelompok Gramedia. Jakarta.
- Jayamiharja, Joni B. Ahmad. 1977. **Diktat Fisiologi Tumbuhan Jilid I**. Fakultas Pertanian UNSOED: Purwokerto.
- Kamulyan. 1996. **Penyerapan Warna Tekstil dengan Menggunakan Jerami Padi. Laporan Penelitian**. FT Undip. Semarang.
- John W., Kimball. 1999. **Biologi Jilid 3**. Erlangga. Jakarta
- Kristanto, P. 2002. **Ekologi Industri**. Andi Offset. Yogyakarta.
- Lakitan, B. 1994. **Dasar-dasar Klimatologi**. Raja Grafindo Persada : Jakarta
- Lesikar, B. 2010. **On-Site Wastewater Treatment Systems**. Texas Agricultural Extension Servis: USA.
- Lingga, P. 1999. **Hidroponik Bercocok Tanam Tanpa Tanah**. Penebar wadaya. Jakarta.
- Long Tengrui, Anas F. Al-Harbawi, Lin Ming Bo, Zhai Jun, Xiang Yu Long . April, 2007 <http://www.cbsinteractive.com/American Journal of Applied Sciences>.

- Martono D H,1996, **Pengendalian Air Kotor (*Leachate*) dari Tempat Pembuangan akhir (TPA) Sampah**. Analisis Sistem Badan Pengkajian Penerapan Teknologi, Jakarta.
- Murthado, D dan Said, E. G.1997. **Penanganan dan Pemanfaatan Limbah Padat**. Mediyatama Sarana Perkasa: Jakarta.
- Nasution, Fuadi Arif.2008. **Bahaya timbal (timah hitam)** . <http://www.fishyforum.com> . di akses tanggal 20 Juli 2011
- Nurhayati H.S. Arifin dan Hadi Susilo Arifin, 1994. **Taman Dalam Ruang**. PT Penebar Swadaya. Jakarta.
- Novotny and Olem. 1994. **Wetland Ecosystem Treatment**. Lewis Publishers. New York.
- Nursal, Fidaus dan Basori. 2005. **Akumulasi Timbal (pb) pada Talus Lichenes di kota pekanbaru**. **Jurnal Biogenesis** Vol. 1(2):47-50, 2005 © Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Riau ISSN : 1829-5460
- Palar, H. 1994. **Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat**. Rineka Cipta. Jakarta.
- Oktaria, Melly. Poedji Loekitowati Hariani. Nurlisa Hidayati. **Penurunan Konsentrasi Cr(VI) Dalam Air Dengan Koagulan FeSO4**. **Jurnal Penelitian Sains**. Volume 12 Nomer 2(C) 12208
- Priyono Adi, Wahyu Dwi Utomo.2008 **Pengolahan *Leachate* (Air Lindi) Pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jatibarang Semarang Secara Anaerob**.Makalah penelitian.Universitas Diponegoro.Semarang.
- Rahayu, suparni Setiowati. 2009. **Pengukuran pH**. <http://www.chem-is-try.org> diakses tanggal 1 agustus 2011
- Rahman, Aditya. 2006. **Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) pada Beberapa Jenis Krustasea**. **Jurnal penelitian**.Unlam. Kalimantan selatan. (tidak dipublikasikan).
- Rosiana, Nia., Titin Supriatun., Yayat 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**. Unversitas Padjadjaran. Bandung.
- Rustam Effendi Harahap, 2003. **Phytoremediasi**. Buletin Pertanian. Universitas Udayana. Bali
- Sardjoko. 1991. **Pengolahan Limbah Cair**. UGM Press: Yogyakarta.
- Slamet J. S., 2000, **Kesehatan Lingkungan**. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sudjianto, A. T., 2008 **Perilaku rembesan *leachate* pada dasar Clay liner di LPA supit urang kota malang**. FT Universitas Widyagama. Malang.
- Sugiharto, 1987, **Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah**. UI Press, Jakarta.
- Suryadharma, Peppy.2008. **Pengaruh Penggunaan Fly Ash untuk Stabilisasi Tanah Ekspansif yang Terkena Infiltrasi Air Laut dengan Arah Aliran Horisontal**. Skripsi.ITS. Surabaya
- Suryatmojo.2009. **Bahan Hidrologi Hutan**.Universitas Gajah Mada: Yogyakarta.
- Sutarmi., Siti. Tjitrosomo. 1983. **Botani Umum**. Yogyakarta : Gajah Mada University Press
- Tan, W.T., N.Y.
- Choong and C.K Lee. 1992. **Removal of Chromium (III) from Aqueous Solut ion by Coconut Huskand Rice Straw**. **Journal**. **Pertanika J. Sci. & Technol.** 1(2): 179-184 (1993) ISSN: 0128-7680. Universiti Pertanian Malaysia. Malaysia
- Tchobanoglous, G., Theissen, H., and Samuel, V., 1977, **Integrated Solid Waste Management Issue**, McGraw Hill Inc. New York.
- Tjitrosomo, Siti Sutarmi. 1983. **Botani Umum**. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Usman. 2004. **Analisis kepekaan beberapa Metode pendugaan Evapotranspirasi potensial terhadap Perubahan iklim**.Tesis Univeristas Riau: Pekanbaru.
- Winarno, F.G. 1986. **Air Untuk Industri Pangan**. Penerbit PT. Gramedia. Jakarta. Zonneveld, N, Huisman EA, and Boon JH. 1991. **Prinsip prinsip budidaya ikan**. Jakarta. Gramedia Pustaka Utama. 318 hal.