

PENURUNAN KANDUNGAN LOGAM BERAT PADA AIR LINDI DENGAN MEDIA ZEOLIT MENGGUNAKAN METODE *BATCH* DAN METODE KONTINYU

Liliya Dewi Susanawati¹⁾, Bambang Suharto¹⁾, Kustamar²⁾

¹⁾Department of Agricultural Engineering, Brawijaya University, Malang, Indonesia

²⁾Institute Technology National, Malang

Korespondensi : liliya_10@ub.ac.id

ABSTRACT

Leachate could be defined as a liquid from the biological decomposition of decomposed waste that caused by external water that flowing in into the pile of waste. Leachate caused by a precipitation liquid into the Final Disposal, both from the rain infiltration or from the water content of the waste itself. Leachate is toxic due to impurities in the deposits that may be derived from industrial waste disposal, dust, the result of processing waste, household hazardous waste, or from the normal decomposition that occurs in trash. If the problem doesn't solved then the landfill that filled with leachate could contaminate the environment and more specific it would contaminate ground water and surface water. The results of this study showed the levels of chromium (Cr) was at 0.3892 mg / l and the result treatment that have the most decreasing rate of chromium is at 0.1751 mg / l, while the result for Lead (Pb) is at 2.2923 mg / l and the average result treatment with the best decreasing rate is 0.3940 mg / l at the retention time of 3 weeks. Selection of the best treatment is based on qualitative parameters of wastewater, which is allowed according to the waste quality standard set by the government and different residence time in combination treatment. Selection of the best treatment P1Z2 give the average Cr content of the smallest since the levels of Cr on initial observation and after treatment P and Z has decreased significantly. And also on treatment P2Z2 give the decreasing rate for the smallest Pb. Pb is a levels at the beginning of the observation and treatment after being given P and Z. Both of these treatments can be interpreted that the treatment effect on levels of Cr and Pb.

Key words : *Leachate liquid waste, zeolit, batch type and continuous type method.*

PENDAHULUAN

Lindi dari sebuah kolam penampungan cairan lindi dapat meresap ke dalam tanah. Peresapan cairan lindi ke dalam tanah akan menyebabkan pencemaran tanah dan air tanah secara langsung. Agar pencemaran air lindi ini berkurang bahkan hilang, diperlukan upaya pengolahan cairan lindi ini menggunakan suatu *treatment* dengan memasang lapisan yang mampu menyaring cairan lindi dan mengurangi kadar pencemar pada cairan lindi terutama pada kandungan logam beratnya, seperti logam berat yang memiliki tingkat toksisitas tinggi antara lain adalah Hg, Cd, Cu, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, Zn, dan Mn. Beberapa material mampu menyaring cairan lindi, diantaranya adalah karbon aktif. Untuk mengetahui

seberapa efektif pemasangan karbon aktif ini sebagai penyaring dan penyerap logam berat tersebut (Apria, 2008). Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian mengenai kondisi cairan lindi (*leachate*) pada saluran pembuangan lindi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah Supit Urang untuk mengetahui jumlah kandungan logam berat yang mencemari perairan di sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) tersebut. Sehingga didapatkan gambaran kondisi pencemaran perairan yang diakibatkan adanya Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah.

Pengolahan limbah cairan lindi ini dapat dilakukan dengan salah satu cara yaitu menggunakan metode tipe *batch* dan tipe kontinyu dengan berbagai jenis bahan organik seperti arang tempurung kelapa, sabut kelapa,

ijuk, serta bahan-bahan non organik seperti zeolit, kerikil dan pasir. Cara metode ini dianggap cukup baik karena bahan yang digunakan mempunyai tingkat keefektifan tinggi untuk menurunkan konsentrasi bahan pencemar yang terkandung dalam limbah cairan lindi, melalui penukaran ion dan adsorpsi. Salah satu bahan yang mempunyai sifat di atas adalah zeolit. Zeolit merupakan suatu kelompok mineral yang dihasilkan dari proses hidrotermal pada batuan beku basa, dimana mempunyai kemampuan mengadsorpsi bahan-bahan organik sehingga dapat menurunkan kadar pencemar dari limbah cairan lindi tersebut (Sri Puji, 2008).

Dasar dari pemikiran tersebut maka akan dilakukan penelitian tentang penggunaan metode tipe *batch* dan tipe kontinyu dengan menggunakan zeolit sebagai media penyerapan untuk mendapatkan metode yang paling efektif dalam meningkatkan kualitas air limbah dan diharapkan dapat digunakan sebagai metode tepat guna untuk pengolahan limbah cairan lindi.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya Malang. Waktu penelitian dimulai pada bulan Mei-Juli 2011. Penelitian ini menggunakan Ayakan 7 mesh dengan ukuran 2,8 mm digunakan untuk mengayak bahan media zeolit agar ukurannya sama, pH Meter untuk mengukur besar pH air limbah, Gelas Ukur untuk mengukur volume air limbah yang digunakan, Penggaris untuk mengukur tinggi air limbah, Selang untuk mengalirkan air limbah ke tempat media, Oven untuk mengaktivasi zeolit, Jirigen untuk mengambil limbah cairan lindi, Bak penampung awal untuk menampung limbah cair, Botol penampung akhir untuk menampung air hasil pengujian, Zeolit ukuran 2,8 mm sebagai media, Air limbah cairan lindi digunakan sebagai bahan uji, Aquades digunakan sebagai pembersih dan HCL 1 M digunakan untuk mengaktivasi zeolit.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan rancangan percobaan. Rancangan percobaan

yang dipergunakan adalah Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 2 faktor yaitu faktor A yang terdiri dari 2 level dan faktor B yang terdiri dari 2 level, masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali dan waktu tinggal yaitu 1 minggu, 2 minggu dan 3 minggu.

Faktor A adalah media zeolit yang terdiri dari 2 level yaitu :

Z1 = Zeolit Teraktivasi

Z2 = Zeolit Tidak Teraktivasi

Faktor B adalah tipe pengolahan limbah yang terdiri dari 2 level yaitu :

P1 = Tipe Kontinyu

P2 = Tipe *batch*

Tahapan penelitian ini terdiri dari 2 tahapan yaitu pembuatan alat dan bahan serta proses pengolahan limbah cairan lindi dengan metode tipe *batch* dan tipe kontinyu.

Hasil pengukuran kandungan logam berat (Cr dan Pb) dianalisa dengan menggunakan analisa ragam untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan terhadap nilai kualitas air limbah dan dilanjutkan dengan uji BNJ untuk mengetahui perlakuan mana yang menyebabkan perbedaan tersebut. Langkah lanjutan yang akan dilakukan untuk mengetahui konsentrasi logam berat manakah perlakuan yang memberikan pengaruh yang berbeda pada kadar logam berat kromium (Cr) dan timbal (Pb) pada tiap pengamatan (1 minggu, 2 minggu dan 3 minggu), maka digunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK).

Berdasarkan uji *test* anova didapatkan hasil yang signifikan, meskipun ada pula hasil yang tidak signifikan, sehingga didapatkan hasil rata-rata yang dapat diuji BNJ dengan selang kepercayaan 0,05. Dan dilanjutkan dengan uji t untuk mendapatkan hasil pemilihan perlakuan terbaik dari masing-masing kombinasi perlakuan.

Nilai efektivitas ini digunakan untuk mengetahui berapa tingkat penurunan kadar polutan limbah dalam hal ini logam berat (Cr dan Pb) dari proses pengolahan yang telah dilakukan dalam penelitian.

Nilai penurunan logam berat =

$$\frac{S_0 - S_n}{S_0} \times 100\%$$

Keterangan :

S_0 : kadar logam berat awal

S_n : kadar logam berat akhir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penurunan kandungan logam berat Cr dapat ditentukan dengan kemampuan adsorben untuk menyerap logam berat tersebut dalam limbah. Semakin tinggi tingkat penyerapannya maka semakin besar pula kandungan logam berat yang turun. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya unsur silika yang terdapat pada adsorben. Sehingga dapat bekerja dengan maksimal dan efektif dalam penyerapan logam berat dalam limbah cair lindi dapat dilihat pada Gambar 1.

Nilai logam berat kromium (Cr) berbagai kombinasi perlakuan dan waktu pada penelitian ini memiliki hubungan yang berbanding lurus, semakin bertambahnya waktu maka nilai logam berat kromium (Cr) akan semakin menurun, hal ini dapat ditunjukkan dari persamaan regresi fungsi linier yang diperoleh dari grafik hubungan antara kadar logam berat terhadap waktu sebagai berikut:

$$Y = ax + b$$

$$R^2$$

Y merupakan variabel terikat dan X merupakan variabel bebas, sedangkan a menunjukkan nilai konstanta dan b menunjukkan kemiringan, serta nilai R^2 yang menunjukkan keakuratan data. Fungsi grafik hubungan antara kadar logam berat dengan waktu yang paling cocok diterapkan ialah fungsi linier, dimana nilai R^2 lebih mendekati +1. Pada perlakuan P1Z1 (metode kontinyu dengan media teraktivasi) diperoleh persamaan sebagai berikut :

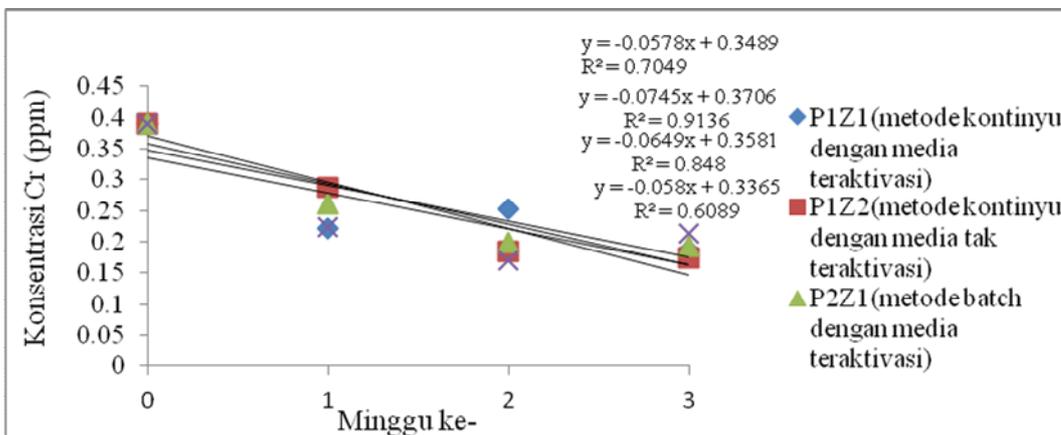
$$Y = -0,057x + 0,348$$

$$R^2 = 0,704$$

Yang berarti bahwa ketepatan model persamaan fungsi linier yang dihasilkan sebesar 70,4%. Menunjukkan bahwa 70,4% nilai-nilai Y (kadar logam berat Cr) ditentukan oleh nilai-nilai variabel X (waktu) yang dimasukkan dalam model, sedangkan 29,6% ditentukan oleh variabel lain diluar model. Perlakuan P1Z2 (metode kontinyu dengan media tak teraktivasi) diperoleh persamaan fungsi linier sebagai berikut :

$$Y = -0,074x + 0,370$$

$$R^2 = 0,913$$



Gambar 1. Hubungan antara Nilai Logam Berat Kromium (Cr) berbagai Kombinasi Perlakuan dengan Waktu

Yang berarti bahwa ketepatan model persamaan fungsi linier yang dihasilkan sebesar 91,3%. Menunjukkan bahwa 91,3% nilai-nilai Y (kadar logam berat Cr) ditentukan oleh nilai-nilai variabel X (waktu) yang dimasukkan dalam model, sedangkan 8,7% ditentukan oleh variabel lain diluar model. Perlakuan P2Z1 (metode *batch* dengan media teraktivasi) diperoleh persamaan fungsi linier sebagai berikut :

$$Y = -0,064x + 0,358$$

$$R^2 = 0,848$$

Yang berarti bahwa ketepatan model persamaan fungsi linier yang dihasilkan sebesar 84,8%. Menunjukkan bahwa 84,8% nilai-nilai Y (kadar logam berat Cr) ditentukan oleh nilai-nilai variabel X (waktu) yang dimasukkan dalam model, sedangkan 15,2% ditentukan oleh variabel lain diluar model. Perlakuan P2Z2 (metode *batch* dengan media tak teraktivasi) diperoleh persamaan fungsi linier sebagai berikut :

$$Y = -0,058x + 0,336$$

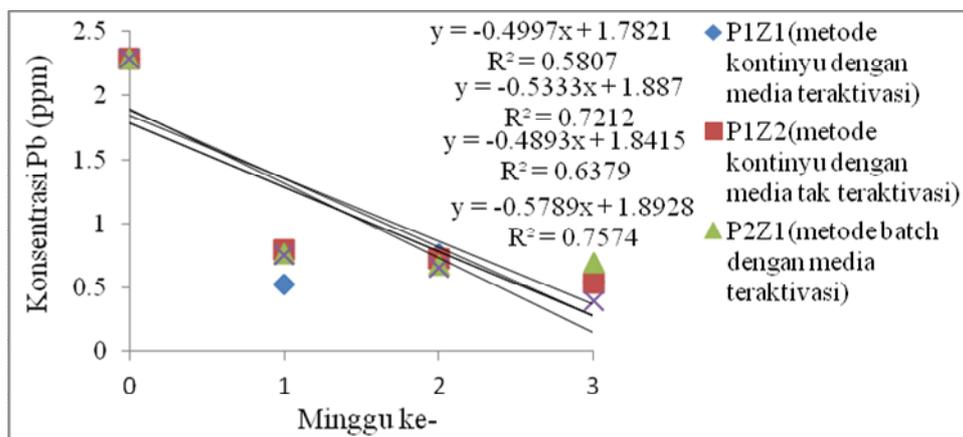
$$R^2 = 0,608$$

Yang berarti bahwa ketepatan model persamaan fungsi linier yang dihasilkan sebesar 60,8%. Menunjukkan bahwa 60,8% nilai-nilai Y (kadar logam berat Cr) ditentukan oleh nilai-nilai variabel X (waktu) yang dimasukkan dalam model, sedangkan 39,2% ditentukan oleh variabel lain diluar model. Penurunan nilai Y dipengaruhi oleh pertambahan nilai X, hal ini dapat disimpulkan bahwa Y dan X memiliki hubungan yang berbanding terbalik.

Berdasarkan persamaan yang telah diperoleh, nilai Y kemungkinan akan bernilai 0 karena kadar logam berat kromium (Cr) pada perairan dengan kondisi baik memiliki nilai 0,05 ppm.

Berdasarkan gambar 4 terlihat bahwa nilai kandungan logam berat kromium (Cr) pada pengamatan awal masih memiliki kadar yang sangat tinggi dari Baku Mutu Air Limbah karena belum adanya perlakuan pada limbah cair lindi tersebut. Untuk pengamatan berikutnya yaitu setiap 7 hari selama 21 hari setelah diberi perlakuan kadar logam berat kromium (Cr) cenderung menurun, hal ini dikarenakan adanya beberapa faktor diantaranya proses dehidrasi dan penyerapan logam berat oleh media zeolit. Sehingga semakin lama waktu pengamatan pada pengolahan limbah maka akan semakin kecil hasil kandungan logam berat kromium (Cr) yang didapatkan dan akan memenuhi Baku Mutu Lingkungan. Selanjutnya limbah tersebut dapat dibuang ke air permukaan dengan jaminan ramah lingkungan.

Sedangkan penurunan kandungan logam berat Pb dapat ditentukan dengan kemampuan adsorben untuk menyerap logam berat tersebut dalam limbah. Semakin tinggi tingkat penyerapannya maka semakin besar pula kandungan logam berat yang turun. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya unsur silika yang terdapat pada adsorben. Sehingga dapat bekerja dengan maksimal dan efektif dalam penyerapan logam berat dalam limbah cair lindi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan antara Nilai Logam Berat Timbal (Pb) berbagai kombinasi perlakuan dengan Waktu

Nilai logam berat timbal (Pb) berbagai kombinasi perlakuan dan waktu pada penelitian ini memiliki hubungan yang berbanding lurus, semakin bertambahnya waktu maka nilai logam berat timbal (Pb) akan semakin menurun, hal ini dapat ditunjukkan dari persamaan regresi fungsi linier yang diperoleh dari grafik hubungan antara kadar logam berat terhadap waktu sebagai berikut:

$$Y = ax + b$$

$$R^2$$

Y merupakan variabel terikat dan X merupakan variabel bebas, sedangkan a menunjukkan nilai konstanta dan b menunjukkan kemiringan, serta nilai R^2 yang menunjukkan keakuratan data. Fungsi grafik hubungan antara kadar logam berat dengan waktu yang paling cocok diterapkan ialah fungsi linier, dimana nilai R^2 lebih mendekati +1. Pada perlakuan P1Z1 (metode kontinyu dengan media teraktivasi) diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$Y = -0,499x + 1,782$$

$$R^2 = 0,580$$

Yang berarti bahwa ketepatan model persamaan fungsi linier yang dihasilkan sebesar 58,0%. Menunjukkan bahwa 58,0% nilai-nilai Y (kadar logam berat Pb) ditentukan oleh nilai-nilai variabel X (waktu) yang dimasukkan dalam model, sedangkan 42% ditentukan oleh variabel lain diluar model. Perlakuan P1Z2 (metode kontinyu dengan media tak teraktivasi) diperoleh persamaan fungsi linier sebagai berikut :

$$Y = -0,533x + 1,887$$

$$R^2 = 0,721$$

Yang berarti bahwa ketepatan model persamaan fungsi linier yang dihasilkan sebesar 72,1%. Menunjukkan bahwa 72,1% nilai-nilai Y (kadar logam berat Pb) ditentukan oleh nilai-nilai variabel X (waktu) yang dimasukkan dalam model, sedangkan 27,9% ditentukan oleh variabel lain diluar model. Perlakuan P2Z1 (metode *batch* dengan media teraktivasi) diperoleh persamaan fungsi linier sebagai berikut :

$$Y = -0,489x + 1,841$$

$$R^2 = 0,637$$

Yang berarti bahwa ketepatan model persamaan fungsi linier yang dihasilkan sebesar 63,7%. Menunjukkan bahwa 63,7% nilai-nilai Y (kadar logam berat Pb)

ditentukan oleh nilai-nilai variabel X (waktu) yang dimasukkan dalam model, sedangkan 36,3% ditentukan oleh variabel lain diluar model. Perlakuan P2Z2 (metode *batch* dengan media tak teraktivasi) diperoleh persamaan fungsi linier sebagai berikut :

$$Y = -0,578x + 1,892$$

$$R^2 = 0,757$$

Yang berarti bahwa ketepatan model persamaan fungsi linier yang dihasilkan sebesar 75,7%. Menunjukkan bahwa 75,7% nilai-nilai Y (kadar logam berat Pb) ditentukan oleh nilai-nilai variabel X (waktu) yang dimasukkan dalam model, sedangkan 24,3% ditentukan oleh variabel lain diluar model. Penurunan nilai Y dipengaruhi oleh penambahan nilai X, hal ini dapat disimpulkan bahwa Y dan X memiliki hubungan yang berbanding terbalik.

Berdasarkan persamaan yang telah diperoleh, nilai Y kemungkinan akan bernilai 0 karena kadar logam berat timbal (Pb) pada perairan dengan kondisi baik memiliki nilai 0,03 ppm. Berdasarkan gambar 2 terlihat bahwa nilai kandungan logam berat timbal (Pb) pada pengamatan awal masih memiliki kadar yang sangat tinggi dari Baku Mutu Air Limbah karena belum adanya perlakuan pada limbah cair lindi tersebut. Untuk pengamatan berikutnya yaitu setiap 7 hari selama 21 hari setelah diberi perlakuan kadar logam berat timbal (Pb) cenderung menurun, hal ini dikarenakan adanya beberapa faktor diantaranya proses dehidrasi dan penyerapan logam berat oleh media zeolit. Sehingga semakin lama waktu pengamatan pada pengolahan limbah maka akan semakin kecil hasil kandungan logam berat timbal (Pb) yang didapatkan dan akan memenuhi Baku Mutu Lingkungan. Selanjutnya limbah tersebut dapat dibuang ke air permukaan dengan jaminan ramah lingkungan.

Pengaruh dosis karbon aktif terhadap reduksi konsentrasi logam untuk jenis karbon aktif granular. Semakin tinggi dosis karbon aktif menyebabkan semakin tinggi tingkat penyisihan logam terlarut, dalam hal ini terjadi proses adsorpsi yang relatif tinggi. Hal ini terjadi karena semakin banyak karbon aktif yang ditambahkan semakin luas permukaan karbon aktif yang berperan dalam mengadsorpsi logam terlarut. Konsentrasi banyaknya zat kontaminan yang

diserap dari air limbah dinyatakan sebagai kapasitas penghilangan kandungan logam berat Timbal (Pb) dan Khrom (Cr) tiap unit perlakuan. Adsorpsi yang terjadi pada penelitian ini merupakan adsorpsi fisik dimana tidak terjadi transfer elektron. Adsorpsi fisika terjadi bila gaya intermolekuler lebih besar dari gaya tarik menarik antar molekul yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben (Puji, 2008).

Pemilihan perlakuan terbaik adalah berdasarkan parameter kualitatif air limbah yang diperbolehkan sesuai dengan baku mutu limbah yang ditetapkan oleh pemerintah dan beda waktu tinggal pada kombinasi perlakuan. Hasil analisa kandungan logam berat Kromium (Cr) dan Timbal (Pb) dapat dilihat dari tabel hasil rata-rata pada tiap perlakuan. Setelah uji ANOVA pada pemilihan perlakuan terbaik dilakukan Uji t yang digunakan untuk mengetahui apakah ada perbedaan kadar Pb maupun Cr pada pengamatan awal dan pengamatan dengan perlakuan P (Tipe Pengolahan Limbah) dan Z (Media Zeolit).

Hasil uji ANOVA dan uji lanjutan yaitu uji t diketahui nilai t_{hitung} sebesar 24,307, untuk kemudian dibandingkan dengan t_{tabel} dengan derajat bebas ($df=3$) dengan $\alpha = 0,05$ yaitu sebesar 3,182. Perbandingan dilakukan dan diketahui $t_{hitung} > t_{tabel}$ ($24,307 > 3,182$), selain itu nilai signifikansi $< \alpha$ ($0,000 < = 0,05$) sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata kadar Cr pada awal pengamatan dan setelah diberi perlakuan berbeda secara signifikan, atau dapat diartikan bahwa perlakuan memberikan pengaruh pada kadar Cr. Menunjukkan nilai kadar Cr pada awal pengamatan dan setelah diberi perlakuan P dan Z, dan dapat diketahui bahwa rata-rata kadar Cr setelah diberi perlakuan lebih kecil daripada rata-rata kadar Cr pada awal pengamatan. Selain itu dapat diketahui perlakuan P1Z2 memberikan rata-rata kadar Cr terkecil. Sedangkan pada uji t terhadap kandungan logam berat timbale (Pb) diketahui nilai t_{hitung} sebesar 28,669, untuk kemudian dibandingkan dengan t_{tabel} dengan derajat bebas ($df=3$) dengan $\alpha = 0,05$ yaitu sebesar 3,182. Perbandingan dilakukan dan diketahui

$t_{hitung} > t_{tabel}$ ($28,669 > 3,182$), selain itu nilai signifikansi $< \alpha$ ($0,000 < = 0,05$) sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata kadar Pb pada awal pengamatan dan setelah diberi perlakuan berbeda secara signifikan, atau dapat diartikan bahwa perlakuan memberikan pengaruh pada kadar Pb. Menunjukkan nilai kadar Pb pada awal pengamatan dan setelah diberi perlakuan P dan Z, dan dapat diketahui bahwa rata-rata kadar Pb setelah diberi perlakuan lebih kecil daripada rata-rata kadar Pb pada awal pengamatan. Selain itu dapat diketahui perlakuan P2Z2 memberikan rata-rata kadar Pb terkecil.

KESIMPULAN

Berikut adalah kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini:

1. Limbah cair yang di adsorpsi dengan media zeolit tak teraktivasi menggunakan metode *batch* mengalami penurunan kandungan logam berat Kromium (Cr) dan Timbal (Pb) relatif tinggi.
2. Besarnya penurunan nilai kandungan logam berat Kromium (Cr) dan Timbal (Pb) menggunakan metode *batch* dengan media zeolit tak teraktivasi mengalami penurunan 47,89 % untuk Cr dan 73,75 % untuk Pb, dari parameter tersebut telah memenuhi baku mutu kualitas air berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 pasal 8 Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup.
3. Setelah melakukan penelitian ini didapatkan metode yang paling efektif yaitu pada metode *batch* dengan media zeolit tak teraktivasi. Karena terbukti bahwa penurunan kandungan logam berat pada limbah cairan lindi tersebut relatif tinggi dibandingkan dengan perlakuan yang lain, sehingga limbah tersebut dapat dibuang ke lingkungan secara aman dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Apria R. 2008. *Kebersihan Lingkungan*. <http://www.computers-it.blogspot.com>. Wikipedia. [Diakses tanggal 08 Juni 2011].

- Atmosukarto, Kusnindar dan M Rahmawati. 2004. Terapi Nutrisi Kromium Untuk Penderita Diabetes. *Cermin Dunia Kedokteran* no. 143 Pusat Penelitian dan Pengembangan Ekologi Kesehatan. Departemen Kesehatan RI. Jakarta. Hal. 51-53.
- Ayu LR. 2009. *Penerapan Metode Fitoremediasi Dan Koagulasi-Flokulasi Dalam Penyerapan Logam Berat Dan Penjernihan Air Di Perairan Bendungan Sutami Dengan Media Eceng Gondok (Eichornia Crassipes (Mart) Solms) Dan Biji Kelor (Moringa Oliefera)*. [Skripsi. Yang tidak di publikasikan, Universitas Brawijaya, Malang].
- Darmono. 1994. *Logam dalam sistem biologi makhluk hidup*. Jakarta: UI. Press.
- Hariono B. 1998. *Berbagai Masalah Pencemaran Logam Berat Di Lingkungan Kita*. PPLH UGM. Yogyakarta.
- Hay RL. 1966. *Zeolites and zeolitic reactions in sedimentary rocks, Dept. Geology and Geophysics*. California: University of California. Berkeley.
- Indartono. 2006. *Digester Biogas Tipe Batch*. Universitas Sumatra Utara. Sumatra Utara.
- Kamulyan. 1996. *Penyerapan Warna Tekstil dengan Menggunakan Jerami Padi*. [Laporan Penelitian yang dipublikasikan, FT Undip, Semarang]
- Krismono P. 2005. *Kualitas Air Lindi Pada Tempat Pembuangan Akhir Sampah*. Bogor. IPB.
- Manahan SE. 1992. *Toxicological chemistry*. New York. Lewis Publishers.
- Nurhasanah. 2010. *Pemanfaatan Karbon Aktif Berbahan Baku Sekam Padi dan Serbuk Gergaji sebagai Adsorben Pb²⁺ dalam Limbah Cair Buatan*. [Skripsi yang dipublikasikan, UB. Malang]
- Palar H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi logam berat*. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.
- Peavy HS, R. Donald and G.Tchobanoglous. 1986. *Environmental Engineering*. Singapore :McGraw-Hill.
- Puji SG, JP Susanto dan A Suwarni. 2008. *Pengolahan Leachate Tercemar Pb Sebagai Upaya Pencegahan Pencemaran Lingkungan TPA*. *Jurnal Penelitian* Vol. 8 No. 1 hal. 92-97. Jakarta.
- Rodhie S. 2003. *Pemanfaatan Zeolit Sintetis Sebagai alternatif Pengolah Limbah Industri*. *Jurnal Penelitian*. Jakarta.
- Tchobanoglous G. 1993. *Intregated solid Waste Management. Engineering Princiles and Management Issues*. New York. McGraw-Hilli, Inc.