

POTENSI KOMPOS SEBAGAI MEDIA PENUKAR ION UNTUK MEREDUKSI LOGAM BERAT DALAM AIR LIMBAH

THE POTENTIAL OF COMPOST AS ION EXCHANGE MEDIUM FOR COPPER REMOVAL IN WASTE WATER

Joni Hermana dan Ervin Nurhayati
Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP – ITS, Surabaya
email: hermana@its.ac.id

Abstrak

Potensi kompos dari sampah Kota Surabaya sebagai media penukar ion diperkirakan cukup menjanjikan mengingat komposisinya yang sebagian besar terdiri atas daun-daunan, sehingga kandungan humusnya akan cukup besar. Kandungan humus dalam kompos berperan dalam proses pertukaran kation logam berat dalam air limbah, dengan kation-kation logam yang lebih 'ringan' yang ada dalam kompos. Percobaan dilakukan secara *batch* dan kontinyu. Percobaan *batch* dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel konsentrasi awal Cu, dosis kompos dan waktu kontak terhadap proses removal logam berat oleh kompos. Data percobaan *batch* digunakan untuk studi kesetimbangan dan kinetika proses yang terjadi. Sedangkan percobaan kontinyu pada reaktor kolom, digunakan untuk mendapatkan kapasitas operasinya. Percobaan dilakukan dengan air limbah buatan yang mengandung CuSO_4 . Hasil yang didapat menunjukkan adanya potensi yang menjanjikan, dimana x/m maksimum dapat terjadi sampai sebesar 22,46 mg/g atau 70,7 meq/100g dan kapasitas operasi sebesar 249,129 meq/L. Selama percobaan yang dilaksanakan sekitar 2,5 jam, reaksi cenderung terjadi mengikuti model isoteremis Langmuir dan laju reaksi orde 2.

Kata kunci: kompos, penukar ion, logam berat

Abstract

The potential of compost from the City of Surabaya, as ion exchanger medium, was investigated because of its high leaf humus content. It is presumed that humus plays an important role in exchanging ion between heavy metal of wastewater with cations of the compost. Experiments were conducted in batch and continue processes. The batch process was carried out to determine the effect of initial copper concentration, compost dose and contact time to copper removal by compost. The batch data were used for the assessment of equilibrium and kinetic processes, while the continue process was performed in a column reactor to obtain its operational capacity. All experiments used an artificial wastewater containing CuSO_4 as copper source. The results showed that the potential of compost as ion exchanger for copper removal was quite promising. It was obtained the x/m maximum of 22,46 mg/g or 70,7 meq/100g and its operational capacity of 249,129 meq/L. During 2,5 hours of experiments, the reaction showed in accordance with the model of Langmuir isotherm and the second order reaction rate.

Keywords: compost, ion exchange, heavy metal

1. PENDAHULUAN

Kota Surabaya menghasilkan sampah sebesar 6700 m^3 /hari, 45% di antaranya sampah basah yang dapat dikompos (Christianto, 2005). Namun kegiatan pengomposan baru mampu mengurangi 0,44% dari seluruh timbulan sampah (Dinas Kebersihan, 2006).

Pemakaian kompos selama ini terbatas sebagai media tanam. Kandungan humus dalam kompos yang mempunyai kapasitas penukar kation, dapat berfungsi sebagai *co-fertilizer* yang dapat menyerap nutrisi. Kompos juga dapat dimanfaatkan untuk menghilangkan pencemar ionik melalui proses pertukaran ion.

Idaho Department of Environmental Quality (2001) mengaplikasikan kompos sebagai media filter pada pengendalian kualitas air limpasan. Hasilnya mereduksi polutan minyak dan lemak hingga 85%, TSS 80%, dan logam berat 85%. Kompos sebagai media filter dapat menyisihkan sedimen halus, mengikat polutan ionik terlarut, melakukan adsorpsi molekular untuk menghilangkan organik, dan menjadi substrat untuk proses bio-degradasi polutan organik seperti minyak dan lemak (Idaho Department of Environmental Quality, 2001).

Kompos daun mampu menyisihkan logam berat terlarut dengan proses pertukaran kation, karena rendahnya kadar N, P dan mikronutrien Fe dan Zn (Lenhart dkk, 2002). Kompos daun mampu menyerap logam berat, minyak/lemak, nutrien, dan zat organik berbahaya karena kadar humus serta luas permukaan yang tinggi (Clark dan Pitt, 2001).

Kandungan humus dalam kompos (*humic acid*, *fulvic acid* dan *humin*) mampu membentuk kompleks logam melalui pertukaran kation, pembentukan *chelate* dan ikatan elektrostatis (Lenhart dkk, 2002). Dijelaskan pula bahwa proses utama penyisihan logam terlarut adalah pertukaran kation dimana logam-logam Na, Ca, Mg digantikan posisinya dari permukaan kompleks materi humus bermuatan negatif oleh logam Zn, Cu, Pb, Cr, dll.

Kompos dari sampah Kota Surabaya diperkirakan mengandung humus cukup tinggi dan potensial untuk digunakan sebagai media penukar ion. Penelitian ini bertujuan mengkaji potensi kompos sebagai media penukar ion Cu dalam air limbah.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan-bahan

Kompos yang digunakan adalah produksi Unit Daur Ulang Pupuk Kompos (UDPK) Bratang. Kompos kering diayak dengan ayakan 40 dan tertahan ayakan 60 (diameter 0,250-0,425 mm). Limbah yang digunakan adalah limbah artifisial larutan CuSO₄ 5 H₂O.

Percobaan Batch

Percobaan dilakukan dengan alat *jar test* dengan 3 variabel, yaitu: konsentrasi awal Cu, dosis kompos, serta waktu kontak. Dari percobaan pendahuluan didapatkan kecepatan optimum 90 rpm dan waktu pengadukan 2 jam. Percobaan pertama menggunakan variasi konsentrasi awal Cu 3-30 mg/L, dan dosis kompos 5 g/L untuk mendapatkan konsentrasi awal optimum.

Percobaan pada variasi dosis kompos antara 1-17 g/L menggunakan larutan CuSO₄ 7,64 mg/L. Hasilnya digunakan untuk mengetahui kondisi kesetimbangan proses pertukaran ion dengan dua pendekatan model adsorpsi, yaitu model isotermis Freundlich dan Langmuir. Kedua model dipilih karena dapat merepresentasikan kondisi proses *ion exchange*. Hal ini dicross-check dengan kesetimbangan kation yang dipertukarkan.

Percobaan *batch* terakhir adalah variasi waktu kontak. Konsentrasi larutan CuSO₄ yang dipakai

5,953 mg/L, dengan variasi waktu kontak 0,5 - 2,5 jam. Data percobaan digunakan untuk memperkirakan laju reaksi selama percobaan.

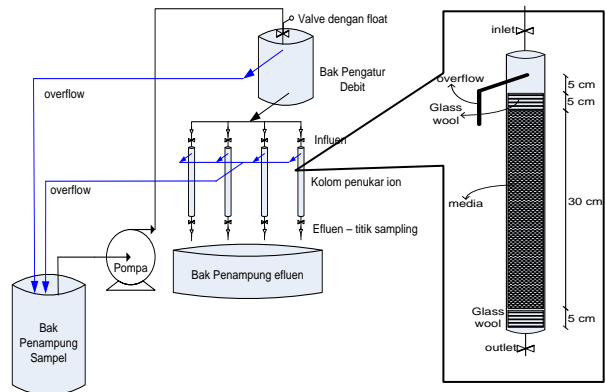
Percobaan Kontinyu - Kapasitas Pertukaran Ion Operasional

Diameter-dalam kolom penukar ion 2,54 cm dan kedalaman media 30 cm (Gambar 1). Media *pellet* kompos berdiameter 2-3 mm sebanyak 152 gram. Konsentrasi larutan Cu 62,240 mg/L. Debit air awal 250 ml/menit, pada operasi jam ke tiga menurun menjadi 170 ml/menit. Sampling dilakukan setiap 15 menit. Kapasitas pertukaran ion dinyatakan dalam kapasitas operasinya (Benefield, 1982) yang dihitung dengan persamaan:

$$X = \frac{C_o V_{op}}{V_r} - \frac{C_n}{V_r} \sum_{i=1}^n (Y_i V_i)$$

dimana:

- X = kapasitas operasi, meq/ml
- C_o = konsentrasi influen ion dimaksud, meq/ml
- C_n = konsentrasi efluen ion dimaksud, meq/ml
- C_n/C_o = rasio *equivalent* kation atau anion pada air produk dan air baku (*leakage*)
- (C_n/C_o)_L = *leakage* awal, (C_n/C_o)_{op} = *leakage* akhir
- Y_t = nilai *leakage* untuk penambahan tertentu
- V_t = pertambahan volume yang melewati media pada interval dimaksud [(V)_{i+1} - (V)_i] (l)
- V_{op} = volume yang melewati media ketika service run dihentikan, L
- V_t = volume kolom medium, mL



Gambar 1. Rangkaian Reaktor Penukar Ion

Perhitungan kapasitas operasi penukar ion memerlukan data kurva *breakthrough*, yang merupakan hubungan antara jumlah volume terolah dengan rasio konsentrasi akhir dan awal ion dimaksud, dari operasi kontinyu kolom penukar ion (Benefield, 1982).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

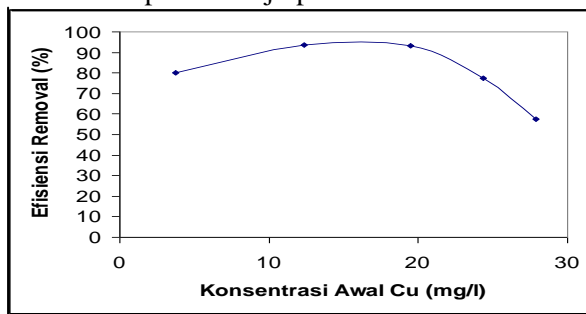
Variasi konsentrasi awal Cu

Removal Cu terbesar (93,52%) terjadi pada konsentrasi 12,32 mg/L. Kapasitas relatif percobaan terbesar 11,87 meq/100g terjadi pada perlakuan konsentrasi awal 24,33 mg/L (Tabel 1, Gambar 2).

Tabel 1. Variasi Konsentrasi Awal Cu

Konsentrasi Awal Cu (mg/L)	Konsentrasi Akhir Cu (mg/L)	Efisiensi Removal (%)	Kapasitas Relatif Kompos	
			(meq/g)	(meq/100g)
3,71	0,73	80,24	0,02	1,87
12,32	0,80	93,52	0,07	7,25
19,49	1,33	93,17	0,11	11,43
24,33	5,47	77,50	0,12	11,87
27,90	11,81	57,67	0,10	10,13

Montgomery (1985) menyebutkan bahwa proses difusi film cenderung pada kondisi konsentrasi rendah. Sebaliknya difusi pori akan meningkat seiring meningkatnya konsentrasi larutan. Dua jenis difusi inilah penentu laju pertukaran ion.



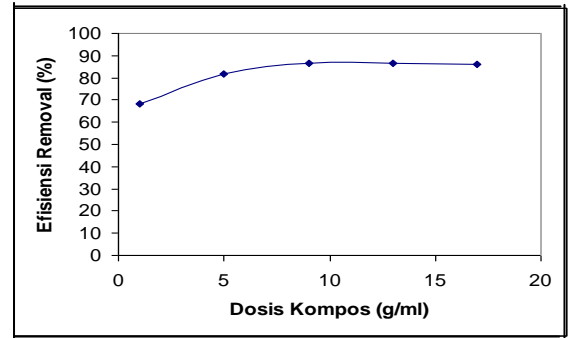
Gambar 2. Efisiensi Removal Berdasarkan Variasi Konsentrasi Awal Cu

Tabel 2. Variasi Dosis Kompos

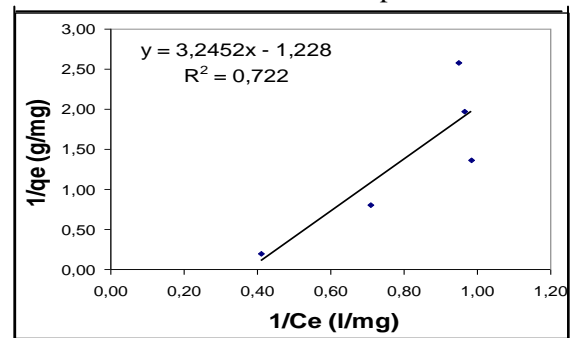
No	Dosis Kompos (g/L)	Konsentrasi Cu (mg/L)		Efisiensi Removal (%)
		Awal	Akhir	
1	1	7,64	2,429	68,21
2	5	7,64	1,41	81,54
3	9	7,64	1,016	86,70
4	13	7,64	1,037	86,43
5	17	7,64	1,053	86,22

Variasi dosis kompos

Tabel 2 dan Gambar 3 menunjukkan efisiensi removal meningkat dengan bertambahnya dosis kompos. Namun efisiensi tidak berubah secara signifikan ketika pemakaian kompos lebih besar dari 9 g/L. Jadi dosis optimum tercapai pada dosis 9 g/L.



Gambar 3. Efisiensi Removal Cu Berdasarkan Variasi Dosis Kompos



Gambar 4. Grafik Penentuan Isotherm Langmuir

Persamaan Isotermis Langmuir

Asumsi dasar model isotermis Langmuir adalah pembentukan adsorbat monolayer pada permukaan luar media. Setelah itu tidak terjadi penyerapan lebih lanjut (Singh dkk, 2006). Persamaan umumnya sbb:

$$\left(\frac{1}{q}\right) = \left(\frac{1}{b q_m C_e}\right) + \left(\frac{1}{q_m}\right)$$

dimana:

- q_e= adsorbat dalam satuan berat media, mg/g
- C_e=konsentrasi kesetimbangan media (mg/L)
- q_m= konstanta Langmuir (mg/L)
- b = konstanta Langmuir (l/mg)

Nilai q_m dan b dihitung dari *intercept* dan *slope* kurva plot 1/q_e vs 1/C_e (Gambar 4). Nilai q_m dan b adalah konstanta Langmuir yang menyatakan signifikansi kapasitas penyerapan (mg/g) dan energi penyerapan (l/mg) (Singh, dkk., 2006). Grafik plot 1/q dan 1/C_e akan menghasilkan kurva dengan slope 1/(bq_m) dan *intercept* 1/q_m.

Tabel 3. Perhitungan Kesetimbangan Isotermis Langmuir dan Freundlich

No.	Dosis kompos (g/L)	Konsentrasi Cu ²⁺ (mg/L)			x/m	1/C _e	1/q _e		
		Awal	Akhir	awal-akhir					
1	1	7,64	2,429	5,211	5,21	0,16	16,40	0,41	0,19
2	5	7,64	1,410	6,23	1,25	0,04	3,92	0,71	0,80
3	9	7,64	1,016	6,624	0,74	0,02	2,32	0,98	1,36
4	13	7,64	1,037	6,603	0,51	0,02	1,60	0,96	1,97
5	17	7,64	1,053	6,587	0,39	0,01	1,22	0,95	2,58

Tabel 3 menunjukkan kondisi kesetimbangan proses dengan model isothermis Langmuir dan Freundlich.

Persamaan Isothermis Freundlich

Persamaan umum model Isothermis Langmuir adalah sebagai berikut:

$$q_e = X = \frac{x}{m} = KC^n$$

Bentuk linear persamaan ini adalah:

$$\log\left(\frac{x}{m}\right) = \log(K) + \left(\frac{1}{n}\right)\log(C_e)$$

dimana:

q_e = jumlah zat terserap dalam satuan berat media, mg/g

C_e = konsentrasi kesetimbangan media, mg/L

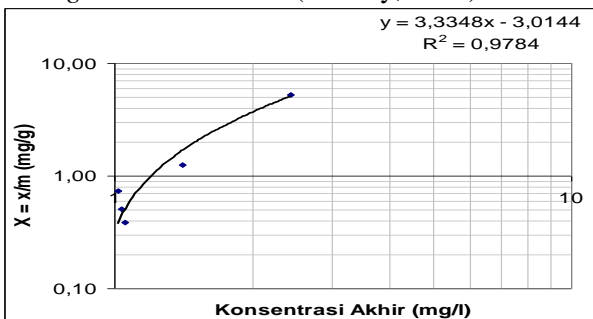
K = konstanta Freundlich, mg/g

n = konstanta Freundlich (tanpa satuan)

K dan n adalah konstanta Freundlich yang masing-masing menyatakan signifikansi kapasitas dan intensitas penyerapan isothermis Freundlich. Selain itu sebagai indikator tingkat heterogenitas permukaan media, dihitung dari *intercept* dan *slope* kurva plot $\log q_e$ vs $\log C_e$ (Gambar 5).

Dalam percobaan ini, proses media kompos dalam menyisihkan Cu mengikuti model isotherm Freundlich, karena kurvanya memiliki kecenderungan linearitas yang lebih besar dibandingkan dengan kurva isotherm Langmuir (Gambar 4 dan 5).

Model Freundlich menunjukkan indikator tingkat heterogenitas permukaan media. Persamaan Freundlich menyatakan distribusi energi dari *site* adsorpsi lebih bertipe eksponensial daripada tipe seragam, sebagaimana diasumsikan model Langmuir. Hal ini mengarah pada kemungkinan adanya lebih dari satu *coverage monomolecular* (Cooney, 1999).



Gambar 5. Grafik Penentuan Isotherm Freundlich

Dari persamaan isotherm Freundlich didapatkan nilai $n=0,3$ dan $K= 0,32$. Sehingga persamaan isothermis Freundlich untuk percobaan ini adalah:

$$q_e = X = \frac{x}{m} = 0,32C^{0,3}$$

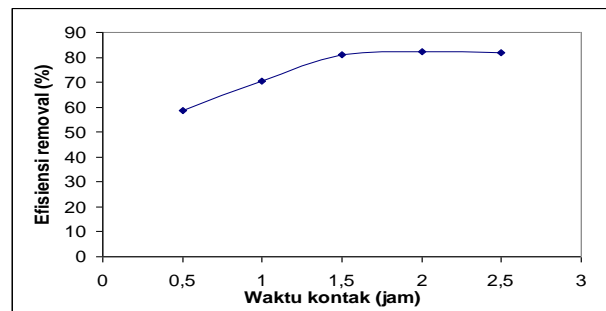
Jika nilai $C=7,64$ mg/L (kondisi $C_e = C_o$), maka dari persamaan tersebut didapatkan x/m maksimum sebesar 22,46 mg/g atau 70,7 meq/100g. Nilai ini merupakan kapasitas maksimum kompos.

Variasi waktu kontak

Untuk percobaan variasi waktu kontak didapatkan removal terbesar pada saat waktu kontak selama 2 jam. Akan tetapi waktu kontak optimum dapat dibilang adalah 1,5 jam, karena penambahan waktu kontak diatas 1,5 jam tidak memberikan perubahan efisiensi removal yang signifikan (Tabel 4 dan Gambar 6).

Tabel 4. Variasi Waktu Kontak

No	Waktu Kontak (jam)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi (Akhir mg/L)	Efisiensi Removal (%)
1	0,5	5,953	1,080	58,74
2	1,0	5,953	1,055	70,65
3	1,5	5,953	1,126	81,09
4	2,0	5,953	1,174	82,28
5	2,5	5,953	2,456	81,86



Gambar 6. Efisiensi Removal Berdasar Variasi Waktu Kontak

Studi Kinetika-Laju Reaksi

Reaksi kimia dapat diklasifikasikan dengan beberapa cara. Pada percobaan ini reaksi diklasifikasikan atas dasar kinetika, yaitu dengan orde reaksi, apakah mengikuti orde nol, satu atau dua.

Jika reaksi mengikuti orde nol artinya laju reaksi tidak tergantung pada konsentrasi (zat-zat yang bereaksi). Reaksi orde nol, mengikuti persamaan:

$$-\frac{dC}{dt} = K \text{ atau } C - C_o = Kt$$

Reaksi yang berjalan pada laju yang *directly proportional* terhadap konsentrasi (satu zat yang bereaksi) berarti mengikuti reaksi orde satu. Persamaan umum reaksi orde satu adalah:

$$-\frac{dC}{dt} = KC \text{ atau } \log\left(\frac{C_o}{C}\right) = \frac{Kt}{2.3}$$

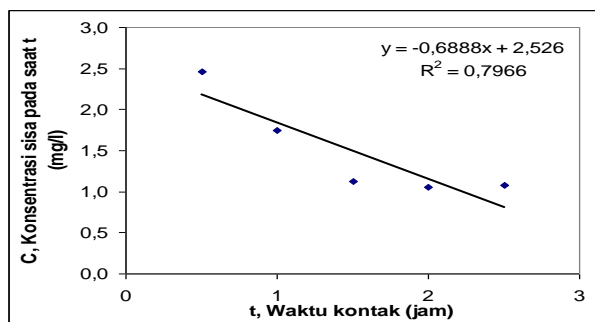
Reaksi yang berjalan dengan laju reaksi orde dua mengikuti persamaan umum sebagai berikut:

$$-\frac{dC}{dt} = KC^2 \text{ atau } \frac{1}{C} - \frac{1}{C_o} = Kt$$

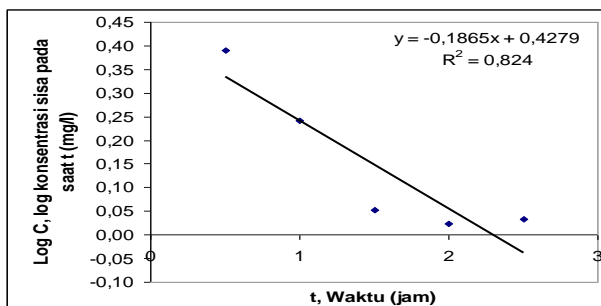
Reaksi orde dua artinya reaksi berjalan pada laju yang *proporsional* terhadap kuadrat konsentrasi (satu zat yang bereaksi).

dC/dt menyatakan laju perubahan konsentrasi per waktu. Tanda negatif mengindikasikan konsentrasi zat berkurang seiring waktu. K adalah konstanta laju reaksi, dan C adalah konsentrasi pada waktu t .

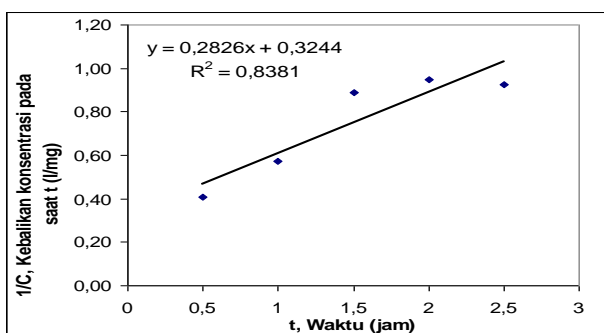
Persamaan laju reaksi digunakan untuk mencari orde reaksi percobaan dengan proses *curve fitting* (Gambar 7-9). Gambar 9 menunjukkan deviasi linearitas paling kecil/linear). Artinya, laju reaksi selama proses percobaan 2,5 jam menganut orde dua dengan konstanta reaksi 0,28/jam.



Gambar 7. Kurva Reaksi Orde Nol



Gambar 8. Kurva Reaksi Orde Satu

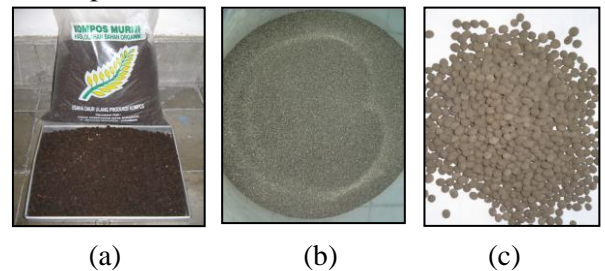


Gambar 9. Kurva Reaksi Orde Dua

Percobaan Kontinyu-Kapasitas Operasi

Lenhart dkk (2002) menyebutkan bahwa kompos matang dapat memiliki permeabilitas yang rendah dan perlu diproses sehingga permeabilitasnya seragam dan *reproducible*. Untuk itu kompos

dibentuk *pellet/granular* dengan diameter 2-3 mm. Bentuk-bentuk media kompos asli, yang telah diayak yang telah dibentuk pellet dapat dilihat pada Gambar 10.

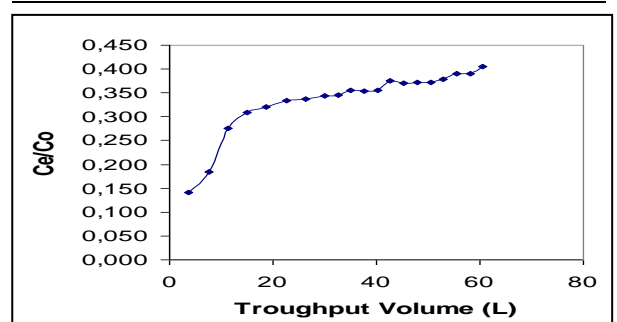


Gambar 10. Kompos (a) Produksi UDPK Bratang (b) Kompos Berdiameter Partikel 0,250-0,425 mm (c) Pellet Kompos Diameter 2-3 mm

Data operasi kontinyu disajikan pada Tabel 5, yang dibuat grafik *breaktrough* (Gambar 13) untuk kemudian dihitung kapasitas operasinya

Tabel 5. Hasil Perhitungan Proses Kontinyu

Urutan Sampling	Throughput Volume (l)	Konsentrasi Akhir (C _e) meq/L	C _e /C ₀	Penyisihan (%)
1	3,75	0.644	0.329	67.13
2	7,5	0.836	0.427	57.32
3	11,25	1.255	0.641	35.92
4	15	1.405	0.717	28.30
5	18.75	1.454	0.742	25.76
6	22.5	1.513	0.772	22.77
7	26.25	1.533	0.783	21.73
8	30	1.565	0.799	20.09
9	32.55	1.569	0.801	19.90
10	35.1	1.617	0.826	17.43
11	37.65	1.610	0.822	17.83
12	40.2	1.616	0.825	17.52
13	42.75	1.703	0.869	13.06
14	45.3	1.684	0.859	14.06
15	47.85	1.687	0.861	13.86
16	50.4	1.686	0.861	13.93
17	52.95	1.719	0.877	12.27
18	55.5	1.773	0.905	9.48
19	58.05	1.770	0.903	9.66
20	60.6	1.838	0.938	6.15



Gambar 11. Kurva Breakthrough

Seperti terlihat pada Gambar 13 kondisi *break-through* terjadi pada sampling ke 4, yaitu pada

volume 15 L. Tabel 6 adalah perhitungan untuk mendapatkan *Operating Capacity* kolom penukar ion. Perhitungan pada Tabel 6 kemudian dimasukkan ke persamaan 1. Dengan volume media yang dipakai sebesar 76 mL, maka didapat kapasitas operasi kolom penukar ion sebesar 249,129 meq/l.

Tabel 6. Perhitungan Kapasitas Operasi

Urutan Sampling	Y_t	V_t (L)	$Y_t \times V_t$
1	0,292	3,75	1,097
2	0,336	3,75	1,260
3	0,475	3,75	1,781
4	0,604	3,75	2,265
		Jumlah	6.402

4. KESIMPULAN

Aplikasi kompos sebagai media penukar ion untuk mereduksi kandungan Cu dipengaruhi oleh konsentrasi awal dalam larutan. Pada konsentrasi 12,32 mg/L didapatkan removal efisiensi terbesar, yaitu 93,52%. Peningkatan konsentrasi yang lebih tinggi dari ini menurunkan efisiensi removal. Percobaan dengan variabel dosis kompos menunjukkan bahwa efisiensi removal meningkat seiring dengan bertambahnya dosis kompos yang diaplikasikan. Namun efisiensi tidak menampakkan perubahan yang signifikan ketika pemakaian kompos lebih besar dari 9 g/L. Maka dapat disimpulkan bahwa dalam percobaan ini dosis optimum tercapai pada dosis 9 g/L. Kesetimbangan proses cenderung mengikuti model adsorpsi isothermis Freundlich, dengan x/m maksimum sebesar 22,46 mg/g atau 70,7 meq/100g. Kinetika reaksi selama 2,5 jam mengikuti laju reaksi orde 2 dengan konstanta reaksi sebesar 0,28/jam. Dari percobaan kontinyu menggunakan kolom penukar ion didapatkan kapasitas operasi sebesar 249,129 meq/L. Penelitian ini menunjukkan bahwa potensi kompos dari sampah Kota Surabaya sebagai media penukar ion untuk mereduksi logam berat (Cu) dalam air cukup menjanjikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai Program Hibah Kompetisi A2 Tahun 2006, Jurusan Teknik Lingkungan ITS.

DAFTAR PUSTAKA

Benfield. (1982). **Process Chemistry for Water and Waste Water Treatment**, Prentice Hall Inc., New Jersey.

Christianto. (2005). **Pengomposan Sampah Rumah Tangga**. Pusat Pemberdayaan

Komunitas Perkotaan Universitas Surabaya (Pusdakota Ubaya).

Clark, R. Pitt, J. Easton, O. Mirov, K. Parmer, R. Field. (1997). **Pollutant Removal Capacity of Stormwater Filtration Media-Breakthrough Test**, Poster Presentation at Water Environment Federation Conference 70th Annual Conference and Exposition, October 18-22, Chicago IL.

Clark dan Pitt (2001). **Effect of Anaerobiosis on Filter Media Pollutant Retention**, Prociding Engineering Foundation and the American Society of Civil Engineers: Conference on Information dan Monitoring Needs for Evaluating the Mitigation Effects of BMPs, August 2001, Snowmass, CO.

Cooney. (1999). **Adsorption Design for Wastewater Treatment**, Lewis Publisher, Boston, USA.

Grimshaw dan Harland. (1975). **Ion Exchange: Introduction to Theory and Practice**, Chemical Society, London.

Helfferrich. (1962). **Ion Exchange**, Shell Development Company University of California, McGraw-Hill, New York.

Idaho Department of Environmental Quality. (2001). **Catalogue of Stormwater BMPs for Cities and Countries**, www.deq.state.id.us/water/datareports/stormwater/.

Lenhart, J. H., deRidder S., Calvert P., Noling, C. (2002). **Removal of Soluble Heavy Metals from Non-Point Source Runoff Originating from Industrial Sources By Leaf Compost Media**, www.stormwaterinc.com.

Montgomery. (1985). **Water Treatment Principle and Design**. John Wiley and Sons Inc., Canada.

Reynolds. (1992). **Unit Operation and Processes in Environmental Engineering**, Second Edition, Texas AdanM University, Brook/Cole Engineering Division, California.

Singh, Parikh dan Pant. (2006). **Investigation on The Sorption of Aluminium in Drinking Water by Low-Cost Adsorbents**. Water SA Vol. 32 No. 1 January 2006, 49-54.