

PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK BIJI KELOR (*MORINGA OLEIFERA*) TERHADAP PENURUNAN KONSENTRASI CU(II) DALAM LIMBAH CAIR BUATAN DENGAN PROSES ADSORPSI

THE INFLUENCE OF POWDERED HORSE RADISH (*MORINGA OLEIFERA*) SEED ON CU(II) REMOVAL IN SYNTHETIC LIQUID WASTE WITH ADSORPTION PROCESS

Paulina Sri Widarti dan Harmin Sulistiyaning Titah
Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS, Surabaya
email: harmin_st@its.ac.id

Abstrak

Kelor (*Moringa oleifera*) merupakan tanaman perdu yang mempunyai banyak manfaat, mulai dari daun hingga akarnya. Biji *Moringa oleifera* menarik karena memproduksi senyawa 4-(alpha-L-rhamnosyloxy)benzyl isothiocyanate yang dapat mengikat Cu(II). Selain itu, biji kelor juga mengandung protein (sistein dan metionin) yang dapat mengikat Cu(II) dari gugus S-H-nya. Dalam penelitian ini dilakukan proses adsorpsi tembaga dengan variasi serbuk biji kelor dengan kulit ari dan tanpa kulit ari, dengan ukuran 35/80 mesh dan 80/115 mesh, dengan konsentrasi Cu(II) awal sebesar 0; 0,25; 1; 5; 10 mg/L. Konsentrasi Cu(II) dianalisa dengan menggunakan metode Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Pada proses batch, efisiensi penurunan Cu(II) mencapai 97,07 % pada saat konsentrasi awal Cu(II) sebesar 10 mg/L dengan variasi tanpa kulit ari, ukuran serbuk 80/115 mesh. Pada proses kontinyu, digunakan debit 0,5065 mL/menit, mampu meremoval Cu(II) sebesar 96,2 % dengan kapasitas adsorpsi 0,000149 mg adsorbat/mg adsorben.

Kata kunci: adsorpsi, biji kelor, tembaga

Abstract

Kelor (*Moringa oleifera*) is a kind of bush plant, which has a number of application potential, started from the leaf till the root. The seeds can produce 4-(alpha-L-rhamnosyloxy)benzyl isothiocyanate compound which can bind Cu(II). Besides, the seed also contains protein with cysteine and methionine components, which can bind Cu(II) from S-H group. In this research, copper adsorption by horse radish seed was measured, using complete powdered seeds (with epidermis skin part) and incomplete seeds (without epidermis). Two sizes of the powdered seed of 35/80 and 80/115 mesh sizes were applied. The initial concentrations of Cu(II) were 0; 0,25; 1; 5; 10 mg/L. The Cu(II) concentrations were analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometer. In the batch process, the removal efficiency of Cu(II) was up to 97,07 % at initial concentration of 10 mg/L, using the incomplete seeds of 80/115 mesh size. In a continuous process with a flowrate of 0,5065 ml/minute Cu(II) removal was up to 96,2 %, and the adsorption capacity was 0,000149 mg adsorbate/mg adsorbant.

Key words: adsorption, horse radish seed, copper

1. PENDAHULUAN

Limbah cair industri, seperti industri elektroplating, otomotif, dan pertambangan biasanya mengandung logam berat yang potensial menimbulkan efek toksik. Pengolahan limbah cair industri yang mengandung logam berat dapat dilakukan dengan cara fisik, kimia, maupun biologi. Penurunan logam berat dapat dilakukan dengan menggunakan koagulan $Al_2(SO_4)_3$ dan $Fe_2(SO_4)_3$. Tetapi penggunaan kedua koagulan ini dapat menimbulkan permasalahan lain. Misalnya

penggunaan koagulan $Al_2(SO_4)_3$ perlu mempertimbangkan faktor kesehatan karena adanya kontaminasi oleh Al (Fatoki, 2002). Penggunaan bahan lain yang lebih aman masih memerlukan kajian lebih jauh untuk diaplikasikan dalam penurunan logam berat.

Sejak awal tahun 1980-an, penelitian biji kelor sebagai penjernih air kolam, sungai, dan danau dengan proses koagulasi telah berhasil baik. Melalui Program UNDP, digunakan pula biji kelor sebagai bahan koagulan untuk menjernihkan air

secara cepat, murah dan aman. Pada nilai pH yang berbeda, 100-150 mg bubuk/L air, memberikan turbiditas tinggi (800-10.000 FTU), jika dibandingkan dengan $Al_2(SO_4)_3$ yang baru efektif pada pH 7 saja. Biji kelor berperan sebagai koagulan dengan hasil yang memuaskan. Tingkat kekeruhan antara 270-380 NTU dengan biji kelor dapat diturunkan menjadi 4 NTU (Sutherland, 1994).

Menurut Chandra (2001) biji kelor bisa dimanfaatkan sebagai bioflokulan dalam pengolahan limbah cair pabrik tekstil. Hasilnya terjadi degradasi warna hingga 98%, penurunan BOD 62%, dan kandungan lumpur 70 ml/L. Menurut Puspitasari (2000) dalam Muharto (2004), biji kelor dapat mengadsorpsi logam berat pada pengolahan air bersih.

Menurut Sutherland (1994), serbuk biji kelor setelah diekstraksi minyaknya dapat dimanfaatkan sebagai koagulan pada pengolahan air bersih dan air limbah. Biji kelor mengandung senyawa 4-(*alpha-L-rhamnosyloxy*) benzyl isothiocyanate yang mampu mengikat logam berat (Anonim, 1998). Penggunaan serbuk biji kelor yang murah, efisiensi tinggi serta aman merupakan faktor-faktor yang menarik untuk pengembangan lebih lanjut penggunaannya dalam pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat seperti Cd, Cr, Ni, Cu, Pb, Zn.

Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengukur kemampuan serbuk biji kelor sebagai adsorben dalam menurunkan Cu^{2+} dalam air limbah sintetik secara sistem *batch* dan kontinyu, mengetahui pengaruh kulit biji kelor dan keefektifan ukuran serbuk biji kelor dalam menurunkan Cu^{2+} .

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Lingkungan ITS, dengan menggunakan biji kelor yang sudah tua. Biji kelor diekstraksi minyaknya dengan n-heksana, kemudian dihaluskan, dan diayak dengan ayakan 35/80 mesh dan 80/115 mesh. Serbuk biji kelor yang digunakan adalah yang dengan kulit ari dan tanpa kulit ari. Konsentrasi serbuk biji kelor adalah 50, 100, dan 300 mg/L, sedangkan konsentrasi Cu^{2+} adalah 0, 0,25, 1, 5, dan 10 mg/L. Dilakukan uji pendahuluan untuk menentukan lama waktu pengadukan, kecepatan, dan pH larutan.

Limbah sintetik Cu^{2+} dibuat dengan larutan standar Cu^{2+} 1000 mg/L, aquadest, HCl 1 M dan NaOH 1 M untuk mengatur pH awal larutan.

Pada penelitian batch air limbah buatan dan serbuk biji kelor dengan konsentrasi 50, 100, dan 300 mg/L dimasukkan ke dalam beker gelas. Uji pengendapan dilakukan dengan alat jar test. Kecepatan pengadukan sebesar 80 putaran per menit selama 80 menit. Analisis Cu^{2+} dilakukan dengan menggunakan *Atomic Absorption*

Rumus untuk menghitung prosentase penurunan konsentrasi logam berat Cu^{2+} dengan rumus:

$$\Delta C = \left\{ \frac{(C_{awal} - C_{akhir})}{C_{awal}} \right\} 100\%$$

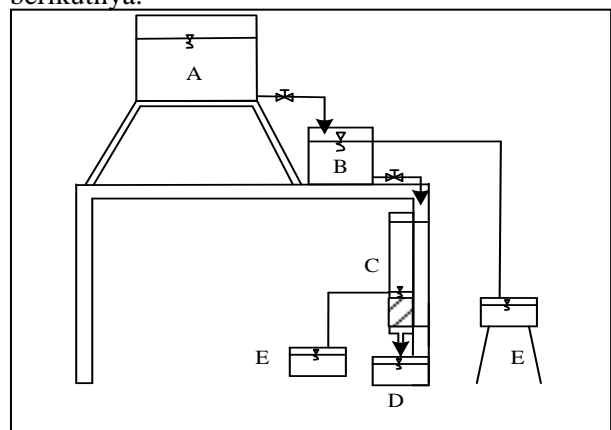
dimana:

ΔC = penurunan konsentrasi logam berat (%)

C_{awal} = konsentrasi logam berat Cu^{2+} awal (mg/L)

C_{akhir} = konsentrasi logam berat Cu^{2+} akhir/filtrat (mg/L)

Prosedur penelitian secara kontinyu menggunakan reaktor berupa kolom adsorpsi berjenis *fixed bed* dengan aliran *downflow* (Gambar 1). Kolom tersebut terdiri atas: bak penampung influen (A), bak pengatur debit (B), kolom adsorpsi (C), bak penampung efluen (D), bak overflow (E). Reaktor kolom berdiameter 2,54 cm, tinggi 61 cm, dan kedalaman media 3,81 cm. Debit yang digunakan 0,5065 mL/menit. Sampel diambil di setiap kolom efluen pada waktu ke nol, dan setiap satu jam berikutnya.

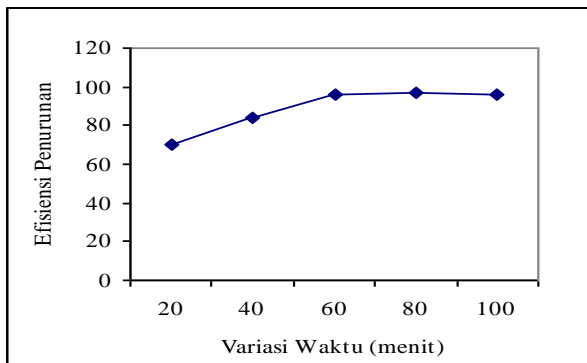


Gambar 1. Reaktor Kontinyu

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

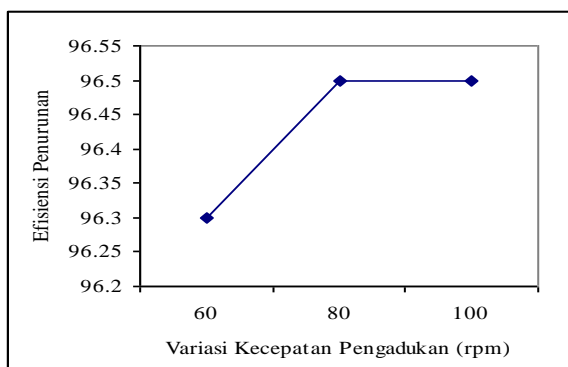
Penentuan lama pengadukan digunakan untuk mengetahui pengaruh waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat terhadap efisiensi

penurunan konsentrasi adsorbat (logam berat Cu^{2+}) dengan menggunakan serbuk biji kelor sebagai adsorben alami. Penentuan lama pengadukan dilakukan menggunakan serbuk biji kelor dengan kulit ari, ukuran 80/115 mesh, konsentrasi Cu^{2+} sebesar 10 mg/L, konsentrasi serbuk biji kelor sebesar 300 mg/L, sedangkan pH awal larutan sebesar 2,58, dengan menggunakan variasi lama pengadukan 20, 40, 60, dan 80 menit. Dari Gambar 2 ditunjukkan bahwa penurunan konsentrasi logam berat Cu^{2+} terbesar pada waktu pengadukan selama 80 menit.



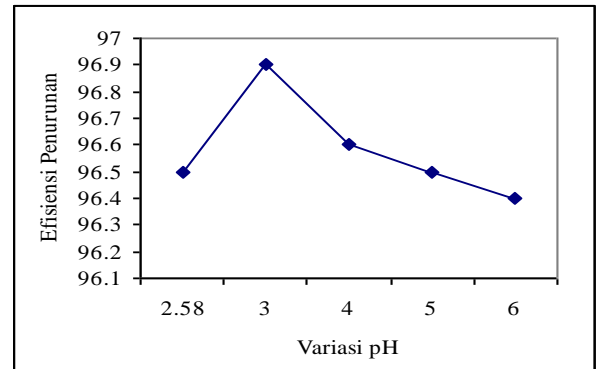
Gambar 2. Hasil Penentuan Lama Pengadukan

Pengadukan atau agitasi yang sesuai menyebabkan adsorben dapat mengadsorpsi adsorbat dengan maksimum. Penentuan kecepatan pengadukan dilakukan dengan menggunakan serbuk biji kelor dengan kulit ari, ukuran 80/115 mesh, konsentrasi Cu^{2+} sebesar 10 mg/L, konsentrasi serbuk biji kelor sebesar 300 mg/L, pH asli larutan yaitu sebesar 2,58, dengan variasi kecepatan pengadukan 60, 80, dan 100 putaran per menit, dengan lama pengadukan sebesar 80 menit yang telah ditentukan pada percobaan sebelumnya. Dari Gambar 3, ditunjukkan bahwa penurunan konsentrasi logam berat Cu^{2+} terbesar adalah pada saat kecepatan pengadukan sebesar 80 rpm.



Gambar 3. Hasil Penentuan Kecepatan Pengadukan

Penentuan pH larutan dilakukan dengan menggunakan serbuk biji kelor dengan kulit ari, ukuran 80/115 mesh, konsentrasi Cu^{2+} sebesar 10 mg/L, konsentrasi serbuk biji kelor sebesar 300 mg/L, dengan variasi pH yang digunakan adalah 3, 4, 5, dan 6. Tidak digunakannya pH basa karena pada pH kurang lebih 7, larutan Cu^{2+} membentuk kompleks hidroksida ($Cu(OH)_2$) sehingga mengendap, dimana proses pengendapan terbesar terjadi pada pH kurang lebih 9.



Gambar 4. Hasil Penentuan pH Larutan

Berdasarkan Gambar 4 terlihat bahwa pada pH 3, penurunan logam berat Cu^{2+} adalah paling tinggi yaitu sebesar 96,9%. Oleh karena itu, akan digunakan pH 3 untuk percobaan selanjutnya. Dari Tabel 1 dan 2, dapat diketahui bahwa semakin besar dosis serbuk biji kelor yang ditambahkan maka logam berat Cu^{2+} yang diserap akan semakin banyak sehingga prosentase penurunan logam berat Cu^{2+} yang diperoleh juga semakin besar. Pada kondisi ini prosentase penurunan logam berat Cu^{2+} yang tertinggi diperoleh hampir pada semua dosis pembubuhan serbuk biji kelor (mg) dan semua variasi dosis logam berat Cu^{2+} (mg/L), hal ini dikarenakan rentang pembubuhan serbuk biji kelor dan variasi dosis logam berat yang diambil dalam penelitian ini terlalu dekat.

Sedangkan dengan semakin meningkatnya konsentrasi larutan pada konsentrasi adsorben yang sama, dapat diketahui adanya kecenderungan berkurangnya efisiensi penurunan logam berat Cu^{2+} . Hal ini dikarenakan semakin meningkatnya ion logam berat Cu^{2+} akan memberikan beban ion yang semakin banyak pada serbuk biji kelor. Sebab dengan meningkatnya konsentrasi logam berat Cu^{2+} maka ion logam berat Cu^{2+} yang melakukan kontak dengan serbuk biji kelor semakin banyak, sementara itu luas permukaan spesifik media tetap sehingga mengakibatkan serbuk biji kelor menjadi jenuh.

Tabel 1. Efisiensi Penurunan Logam Berat dengan Serbuk Biji Kelor yang Berkulit Ukuran 35/80 dan 80/115 Mesh

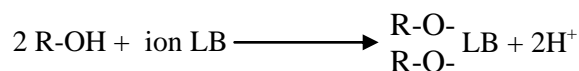
Serbuk Biji Kelor (mg)	[Logam berat Cu ²⁺] (mg/L)									
	35/80 mesh					80/115 mesh				
0	0,25	1	5	10	0	0,25	1	5	10	
50	0	97.2	98.6	95.4	94.2	0	100	100	99,56	97,03
100	0	100	100	98.26	95.73	0	100	100	97,14	95,33
300	0	100	100	98.36	95.85	0	100	100	98,64	96,3

Tabel 2. Efisiensi Penurunan Logam Berat dengan Serbuk Biji Kelor yang Tanpa Kulit Ukuran 35/80 dan 80/115 Mesh

Serbuk Biji Kelor (mg)	[Logam berat Cu ²⁺] (mg/L)									
	35/80 mesh					80/115 mesh				
0	0,25	1	5	10	0	0,25	1	5	10	
50	0	100	100	99,98	98,17	0	100	99,9	96,98	94,96
100	0	100	99,9	98,2	95,64	0	100	100	97,34	95,19
300	0	100	100	98,4	95,82	0	100	100	98,68	97,07

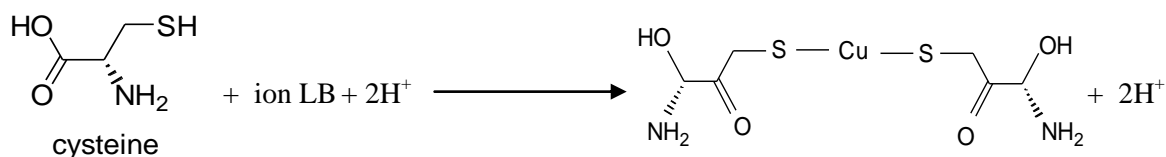
Suatu permukaan zat padat dalam kontak dengan larutan akan cenderung mengakumulasi molekul terlarut pada lapisan permukaannya dikarenakan adanya ketidakseimbangan gaya permukaannya (Eckenfelder, 2000). Dengan jumlah molekul yang sedikit di dalam suatu larutan lebih mudah diadsorpsi oleh adsorben jika dibandingkan dengan larutan dengan kepadatan molekul adsorbat yang lebih tinggi. Kondisi ini terjadi karena adanya kecenderungan kemampuan adsorben untuk menarik molekul adsorbat (Sundstrom and Klei, 1979).

Ion logam berat Cu²⁺ akan diikat oleh zat aktif 4-(*alpha-L-rhamnosyloxy*) benzyl isothiocyanate, sehingga terjadi ikatan kimia antara permukaan adsorben dengan adsorbat. Gugus hidroksil (-OH) yang ada dalam zat aktif tersebut merupakan gugus yang aktif dalam mengikat logam berat (LB).



Hidrogen yang semula terikat pada alkohol akan lepas dan digantikan oleh logam berat. Logam berat dapat terikat pada gugus hidroksil tersebut dikarenakan logam berat lebih elektronegatif sehingga mudah terlepas. Pada zat aktif tersebut, hidrogen yang terikat pada gugus hidroksil akan terlepas dan atom O akan berikatan dengan logam berat.

Asam amino yang mengandung gugus sulfur adalah metionin sebesar 1,4 dalam buah kelor. Gugus fungsional asam amino yang efektif dalam mengikat logam berat adalah sistein bersama dengan metionin. Sistein dapat terbentuk dari metionin dan reaksi ini bersifat *reversible*. Sistein juga memiliki atom S seperti metionin.



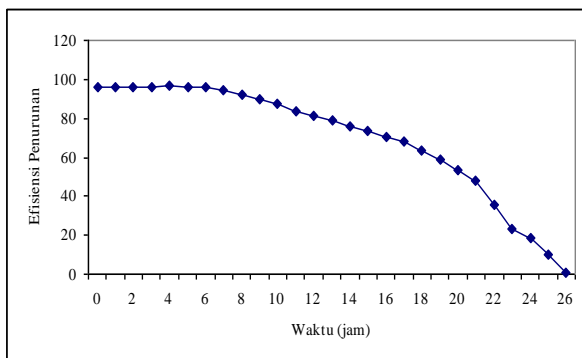
Gambar 5. Reaksi Pengikatan Logam Berat oleh Sistein

Reaksi pada Gambar 5 merupakan reaksi pengikatan logam berat oleh sistein. Reaksi tersebut membutuhkan dua senyawa sistein. Gugus S-H pada sistein akan melepas atom H (reaksi dehidrasi), yang akan ditempati oleh atom logam berat. Secara ringkas, tahapan reaksi kimia yang terjadi adalah: (1) Sistein yang terdapat pada protein kelor, mengandung gugus fungsional *thiol/sulphydryl merkaptan* (-SH). Gugus tersebut mengikat logam berat, menjadi misalnya -SCR.

Proses ini tergantung pada valensi logam berat yang digunakan. Misal untuk Cu, karena H yang berikatan pada gugus (-SH) hanya satu, sedangkan Cu yang akan berikatan mempunyai valensi 2+, maka dibutuhkan dua gugus *thiol/sulphydryl merkaptan*. (2) Gugus (R-OH) yang terdapat pada 4-*alpha-L-rhamnosyloxy benzil isothiocyanat* berikatan dengan logam berat, membentuk alkoksida (R-O-logam berat), dimana unsur H yang lebih elektropositif akan didesak keberadaannya oleh

unsur logam berat yang lebih elektronegatif. Proses ini tergantung pada valensi logam berat yang digunakan. Misal untuk logam berat Cu, karena valensi dari Cu adalah 2+, maka gugus (R-OH) yang diperlukan untuk berikatan sebanyak dua buah.

Perbedaan prosentase penurunan Cu²⁺ dengan serbuk biji kelor tanpa kulit ari berukuran 80/115 mesh memberikan penurunan lebih besar dibandingkan dengan yang berkulit ari. Dari percobaan pendahuluan, diketahui bahwa kandungan zat aktif *4-α-4-rhamnosyloxy benzil isothiocyanat* pada serbuk biji kelor tanpa kulit ari jauh lebih besar dibandingkan dengan pada serbuk biji kelor dengan kulit ari, sehingga gugus (R-OH) yang terdapat pada *4-α-4-rhamnosyloxy benzil isothiocyanat* yang berikatan dengan logam berat, membentuk alkoksida (R-O-logam berat) akan semakin banyak. Hal tersebut berakibat pada prosentasi penurunan logam berat yang lebih besar. Ukuran adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi merupakan salah satu faktor yang akan mempengaruhi kecepatan adsorpsi yang terjadi. Ukuran adsorben menentukan banyaknya luas permukaan. Luas permukaan tersebut didapatkan dari pori-pori dalam partikel adsorben.

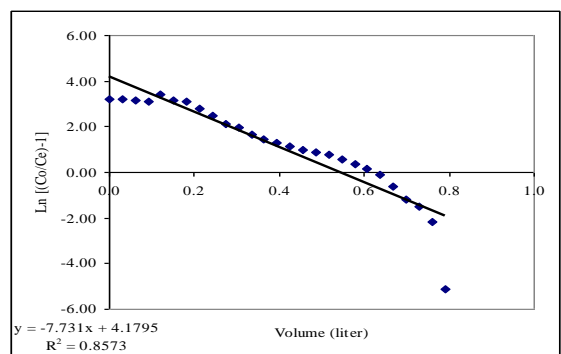


Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Waktu Operasi dengan Efisiensi Penurunan

Penelitian proses kontinyu ini menggunakan variasi serbuk biji kelor, konsentrasi serbuk biji kelor dan konsentrasi Cu²⁺ pada percobaan *batch* yang memberikan prosentase penurunan tertinggi, yaitu variasi tanpa kulit, dengan ukuran 80/115 mesh, konsentrasi serbuk biji kelor sebesar 300 mg/L dan konsentrasi logam berat sebesar 10 mg/L. Untuk mengetahui pengaruh waktu operasi dan konsentrasi larutan terhadap kemampuan adsorpsi serbuk biji kelor dibuat grafik hubungan antara waktu operasi dengan efisiensi removal (Gambar 6). Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa

prosentase penurunan tertinggi dicapai pada waktu ke-0 jam sebesar 96,2 % dan per sen penurunan terendah dicapai pada waktu ke-26 jam yaitu sebesar 0,6 %.

Untuk mengetahui konstanta kinetika (K₁) dan kapasitas media (q₀) digunakan perhitungan dengan pendekatan kinetika. Data yang diperlukan dalam persamaan ini adalah konsentrasi influen dan effluen, debit dan massa media. Data volume terolah didapatkan dari debit dikalikan waktu operasi. Debit yang digunakan adalah 0,5065 mL/menit atau 0,012156 L/jam. Dibuat grafik dengan ln(Co/Ce-1) sebagai sumbu y dan volume terolah sebagai sumbu x (Gambar 7).



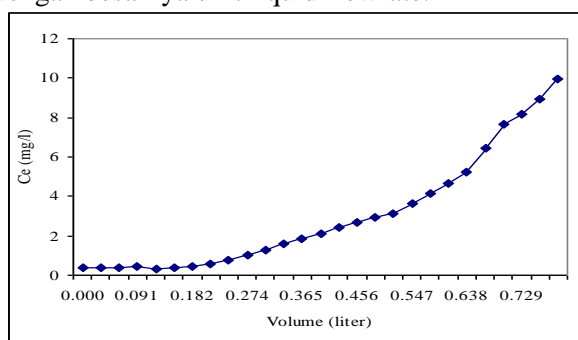
Gambar 7. Grafik Perhitungan Konstanta Kinetika dan Kapasitas Media

Sedangkan untuk mendapatkan nilai q₀ yaitu dari:

$$\begin{aligned}
 q_0 &= \frac{K_1 \times q_0 \times M}{Q} = \frac{Q \times 4,1795}{K_1 \times M} \\
 &= \frac{0,03039 / 1000 \times 4,1795}{0,0235 \times M} \\
 &= 0,000149 \text{ mg adsorbat / mg adsorben}
 \end{aligned}$$

Kurva *breakthrough* diperoleh dengan memplotkan antara konsentrasi akhir Cu²⁺ (Ce) dengan volume air limbah yang terolah sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 8. Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa titik *breakthrough* terjadi pada saat Ce = 0,05 Co. Titik tersebut terjadi pada waktu ke-tujuh dengan efisiensi penurunan sebesar 94,2 % dengan konsentrasi akhir Cu²⁺ sebesar 0,58 mg/l. Titik *breakthrough* tersebut menunjukkan kemampuan maksimum adsorben untuk menyerap adsorbat. Dari grafik tersebut juga dapat menunjukkan titik *exhaustion* yaitu titik dimana konsentrasi effluen mencapai 95 % dari konsentrasi influennya (Ce = 0,95 Co) (Benefield, dkk., 1982). Titik *exhaustion* tersebut terjadi pada waktu ke-25 dengan efisiensi penurunan 10,4 %.

Panjang kolom adsorpsi disebut *Adsorption Zone*. Pada zona ini terjadi proses perpindahan massa pada fase cair ke fase padat, oleh karena itu zona ini sering disebut *The Mass Transfer Zone*. Limbah buatan yang mengandung Cu^{2+} pada awalnya dikontakkan dengan media yang berada di bagian paling atas. Lama kelamaan media tersebut akan jenuh, sehingga Cu^{2+} akan terserap oleh media di bawahnya, demikian seterusnya sampai terjadi *breakthrough*. Jika waktu kontak dengan media terlalu singkat, kontaminan yang teradsorpsi tidak sempurna. Ketebalan media dalam kolom terkait dengan besarnya unit liquid flowrate.



Gambar 8. Kurva Breakthrough

Menurut Reynolds dan Richards (1996), dalam menentukan dimensi sebuah kolom adsorpsi harus diperhatikan besarnya faktor *unit liquid flowrate* dalam reaktor. *Unit liquid flowrate* adalah perbandingan antara debit yang masuk dengan luas permukaan reaktor. Dengan penentuan besarnya *unit liquid flowrate* dapat dicegah *side-wall effect* (debit yang masuk ke reaktor akan menetes di dinding reaktor dan tidak terdistribusi merata). Besar *unit liquid flowrate* maksimum untuk setiap diameter reaktor adalah tertentu. Waktu *breakthrough* akan menurun dengan menurunnya kedalaman media, meningkatnya ukuran diameter efektif media, dan meningkatnya laju aliran melalui media serta meningkatnya konsentrasi larutan pada influen (Eckenfelder, 1980).

4. KESIMPULAN

Efisiensi penurunan Cu^{2+} dalam proses *batch* adalah 97,07%, pada konsentrasi awal limbah 10 mg/L dan dosis serbuk biji kelor tanpa kulit ari ukuran 80/115 mesh 300 mg/L. Proses kontinyu dengan debit 0,5065 mL/menit mampu menurunkan konsentrasi Cu^{2+} sebesar 96,2% dengan kapasitas adsorpsi 0,000149 mg adsorbat/mg adsorben. Serbuk biji kelor tanpa kulit ari memberikan efisiensi penurunan logam Cu^{2+} lebih besar jika dibandingkan dengan serbuk

berkulit ari. Serbuk biji kelor 80/115 mesh memberikan efisiensi penurunan Cu^{2+} lebih besar dibandingkan dengan ukuran serbuk 35/80 mesh.

DAFTAR PUSTAKA

- Benefield, L.D., J.F. Judkins, B.L. Weand (1982). **Process Chemistry For Water and Wastewater Treatment**. Prentice-Hall, USA
- Chandra, A. (2001). **Pemanfaatan Biji Kelor Dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Tekstil**. IPTEKNET. www.ipiteknet.go.id.
- Eckenfelder, W. W. (2000). **Industrial Water Pollution Control**. Third Edition. New York: McGraw-Hill.
- Eckenfelder, W. W. (1980). **Principles of Water Quality Management**. Florida: Krieger Publishing Company.
- Fatoki, O.S., A.O. Oguntowokan (2002). **Effect of Coagulant Treatment on The Metal Composition of Raw Water**. *Jurnal Water SA*. 28. Nomor 3. July.
- Jahn, S.A.A. (1991). **The Traditional Domestication Of Multipurpose Tree Moringa Stenopetala In Ethiopian Rift Valley: Ambio**.
- Muharto, H. Susanto, Daniel. (2004). **Penurunan Kadar Deterjen Dalam Air Minum Dengan Menggunakan Serbuk Biji Kelor (*Moringa oleifera*)**. *Jurnal Purifikasi*. 5. Nomor 2, 91-96.
- Reynold, T.D. and Richards, P.A. (1996). **Unit Operations and Processes in Environmental Engineering**. Second Edition. Boston: PWS Publishing Company.
- Schwarz, D. (2000). **Water Clarification Using *Moringa oleifera***. Gate Information Service, Technical Information, GTZ, www.gtz.de/gate/gateid.afp.
- Sundstrom, D. W. dan Klei H. E. (1979). **Wastewater Treatment**. Englewood Cliffs. New Jersey: Prentice-Hall.
- Suriawiria, U.H, (2002), **Aneka Manfaat Kelor**. Kompas (www.kompas.com)
- Sutherland, J.P, G.K. Folkard, M.A. Mtwali, W.D. Grant (1994). ***Moringa oleifera* as Natural Coagulant**. 20th WDEC Conference, *Affordable Water Supply and Sanitation*. Colombo, Srilanka.

