

APLIKASI SISTEM KONTINYU MENGGUNAKAN KARBON AKTIF UNTUK PENURUNAN KADAR LOGAM Cu DAN Zn DALAM AIR LIMBAH

APPLICATION OF CONTINUOUS SYSTEM USING ACTIVATED CARBON FOR REDUCING Zn AND Cu IN WASTEWATER

Susila Kristianingrum^{1,*}, Sulistyani¹, Annisa Fillaeli¹, Endang Dwi Siswani¹, Nur Hasna Nafiisah¹

¹Jurusan Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta

*email korespondensi: susila.k@uny.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi massa adsorben dan laju alir yang paling optimum, efisiensi penyerapan (E_p), kapasitas adsorpsi paling tinggi, serta tipe adsorpsi dari karbon aktif teraktivasi $ZnCl_2$ terhadap penyerapan logam Cu dan Zn dalam limbah simulasi menggunakan sistem kolom kontinyu. Metode adsorpsi logam Cu dan Zn dilakukan secara kontinyu dengan menggunakan kolom. Limbah simulasi dialirkan secara gravitasi dari atas ke bawah melalui kolom yang telah diisi adsorben. Subjek dalam penelitian ini adalah karbon aktif dari daun pandan laut teraktivasi $ZnCl_2$ 5%. Sementara objek pada penelitian ini adalah efisiensi adsorpsi, kapasitas adsorpsi, dan tipe adsorpsi dari adsorben daun pandan laut teraktivasi $ZnCl_2$ 5% terhadap logam Cu dan Zn. Analisis kandungan logam Cu menggunakan Spektrofotometer UV-Visible dan logam Zn menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa massa adsorben optimum untuk penurunan kadar logam Cu dan Zn berturut-turut adalah 0,7 gram dan 0,9 gram dengan laju alir optimum sebesar 0,3 mL/menit dan 0,2 mL/menit, maka akan dihasilkan efisiensi adsorpsi terbesar untuk logam Cu yaitu 96,6854% dan 38,6576% untuk logam Zn. Kapasitas adsorpsi tertinggi karbon aktif dari daun pandan laut teraktivasi $ZnCl_2$ terhadap penyerapan logam Cu dan Zn berturut-turut sebesar 48,8149 mg/g dan 16,3567 mg/g. Tipe adsorpsi logam Cu memenuhi pola isotherm Langmuir.

Kata kunci: karbon aktif, *Pandanus tectorius*, kolom, efisiensi adsorpsi

Abstract

This study aims to determine the variation of the adsorbent mass and the most optimum flow rate, adsorption efficiency (E_p), the highest adsorption capacity, and the type of adsorption from carbon activated by $ZnCl_2$ on absorption of Cu and Zn in simulated waste using a continuous column system. The adsorption method of Cu and Zn is carried out continuously using columns. Simulation waste is flowed gravitationally from top to bottom through a column filled with adsorbent. The subject in this study was activated carbon from sea pandan leaves which activated by $ZnCl_2$ 5%. While the objects in this study were adsorption efficiency, adsorption capacity, and type of adsorption from sea pandan leaves adsorbent activated by $ZnCl_2$ 5% against Cu and Zn. Analysis of Cu using UV-Visible Spectrophotometer and Zn using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results showed that the optimum mass of adsorbent for the reduction of Cu and Zn were 0.7 gram and 0.9 gram respectively with the optimum flow rate of 0.3 mL/minute and 0.2 mL/minute, then it was produced the biggest adsorption efficiency of 96.6854% for Cu and 38.6576% for Zn. The highest adsorption capacity of activated carbon from sea pandan leaves activated by $ZnCl_2$ for absorption of Cu and Zn were in the amount of 48.8149 mg/g and 16.3567 mg/g, respectively. The type of adsorption of Cu fulfills the Langmuir isotherm pattern.

Keywords: activated karbon, Pandanus tectorius, column, adsorption efficiency

Pendahuluan

Perkembangan kegiatan industri dan teknologi secara langsung maupun tidak langsung limbah industri yang berbahaya bagi lingkungan air karena mengandung racun dan senyawa kimia berbahaya. Senyawa kimia berbahaya terakumulasi di dalam limbah cair dalam bentuk ion logam berat. Salah satunya ion logam berat tembaga (Cu^{2+}) dan seng (Zn^{2+}) yang merupakan logam yang banyak terkandung di dalam limbah industri cair. Kedua logam tersebut apabila melebihi ambang batas minimum akan merugikan

karena memiliki efek toksik. Berbagai metode pengolahan limbah cair dapat dilakukan untuk menurunkan kandungan anion dan kation di dalam logam berat. Metode tersebut antara lain metode pengendapan kimia, metode penukar ion, penyaringan dengan membran, elektrokimia, penggunaan bakteri, dan adsorpsi. Metode-metode tersebut memerlukan biaya mahal sehingga diperlukan pengembangan metode untuk mengeliminasi logam berat dengan menggunakan biaya operasional yang murah.

Metode adsorpsi adalah metode pengembangan pengolahan limbah yang banyak

dilakukan untuk menurunkan kandungan logam berat dalam limbah cair [1]. Metode adsorpsi merupakan metode yang unggul daripada metode lainnya, salah satu keuntungan menggunakan metode adsorpsi adalah investasinya yang rendah dan tidak ada efek samping zat beracun yang dihasilkan [2]. Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu substansi pada permukaan zat padat. Pada fenomena adsorpsi, terjadi gaya tarik-menarik antara substansi terserap dan penyerap. Karbon aktif didefinisikan sebagai senyawa karbon amorf yang memiliki porositas serta luas area yang tinggi, antara 500-2.000 m²/g [3]. Karena strukturnya yang berpori inilah, karbon aktif banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti adsorben zat warna dan logam berat [4], *support* katalis dan elektroda superkapasitor [5].

Metode dalam penelitian ini menggunakan sistem kontinu melalui kolom, sistem kolom berbeda dengan sistem batch yang mencampurkan adsorben pada larutan yang tetap jumlahnya dan diamati perubahan kualitas pada selang waktu tertentu. Pada sistem kontinu dengan kolom, larutan dikontakkan dengan adsorben sehingga ukuran kolom mempengaruhi hasil adsorpsi yang optimal. Sistem kolom lebih menguntungkan karena memiliki kapasitas lebih besar daripada sistem batch, sehingga lebih dapat diaplikasikan dalam skala luas. Berdasarkan kajian sebelumnya, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui massa karbon aktif dan laju alir optimum terhadap efisiensi adsorpsi adsorben karbon aktif dari daun pandan laut teraktivasi ZnCl₂ 5% untuk menurunkan logam Cu dan Zn dalam limbah simulasi menggunakan sistem kontinu dengan metode kolom, serta dapat menentukan kapasitas adsorpsi tertinggi adsorben *Pandanus tectorius*.

Metode Penelitian

Pembuatan Larutan Induk Logam Cu

Sebanyak 3,94050 g kristal CuSO₄.5 H₂O dimasukkan ke dalam gelas beaker dan dilarutkan dengan akuades. Larutan Cu dimasukkan ke dalam labu takar 1000 mL dan ditambahkan akuades sampai tanda batas. Larutan Cu1000 mg/L digunakan untuk membuat larutan standar dengan konsentrasi 1 mg/L, 2 mg/L, 3 mg/L, 4 mg/L, 5 mg/L, 6 mg/L dan 7 mg/L menggunakan rumus $V_1.M_1 = V_2.M_2$.

Pembuatan Larutan Induk Logam Zn

Sebanyak 4,39757gram kristal ZnSO₄.7 H₂O dimasukkan ke dalam gelas beaker dan dilarutkan dengan akuades secukupnya. Larutan Zn tersebut

dimasukkan ke dalam labu takar 1000 mL dan ditambahkan akuades sampai tanda batas. Larutan Zn1000 mg/L digunakan untuk membuat larutan standar dengan konsentrasi 1 mg/L, 3 mg/L, 5 mg/L, 7 mg/L, dan 10 mg/L menggunakan rumus $V_1.M_1 = V_2.M_2$

Penentuan Massa Karbon Aktif Optimum Adsorpsi Logam Cu dan Zn

Sebuah kolom dibersihkan menggunakan air mengalir hingga benar-benar bersih dari zat pengotor, kemudian sebanyak 0,5 gram *glasswool* ditimbang dan dicuci menggunakan aquades. Selanjutnya sebuah kolom yang sudah dibersihkan diberi *glasswool* pada bagian dasar kemudian ditekan hingga memadat, kolom siap digunakan. Karbon aktif daun pandan laut dimasukkan ke dalam kolom dengan variasi massa sebesar 0,1 gram. Sebelum kolom dioperasikan, terlebih dahulu alirkan aquades pada kolom agar tidak ada udara yang terjebak di dalam kolom. Bak penampung titran diisi dengan larutan sampel limbah simulasi Cu 500 mg/L sebanyak 25 mL.

Alat dioperasikan dengan mengalirkan sampel limbah simulasi Cu sebesar 500 mg/L secara gravitasi dari atas ke bawah secara kontinu dari bak penampung limbah dengan variasi laju alir cepat (keran terbuka penuh). Kemudian filtrat yang didapatkan ditampung ke dalam botol sampel. Percobaan diulangi kembali berdasarkan langkah a-f dengan variasi massa karbon aktif sebesar 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; dan 1 gram. Setelah didapatkan filtrat adsorpsi Cu dengan berbagai variasi massa karbon aktif maka ulangi langkah diatas dengan mengganti adsorbat menjadi larutan limbah simulasi Zn. Filtrat hasil adsorpsi logam Cu dan Zn dianalisa secara berturut-turut menggunakan Spektrofotometer UV-Visible dan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Penentuan Laju Alir Optimum Adsorpsi Logam Cu dan Zn

Sebuah kolom dibersihkan menggunakan air mengalir hingga benar-benar bersih dari zat pengotor, kemudian sebanyak 0,5 gram *glasswool* ditimbang dan dicuci menggunakan aquades. Selanjutnya sebuah kolom yang sudah dibersihkan diberi *glasswool* pada bagian dasar kemudian ditekan hingga memadat, kolom siap digunakan. Karbon aktif daun pandan laut dimasukkan ke dalam kolom dengan massa optimum yang didapatkan pada langkah sebelumnya. Sebelum kolom dioperasikan, terlebih dahulu alirkan aquades pada kolom agar tidak ada udara yang terjebak di dalam kolom. Bak penampung titran

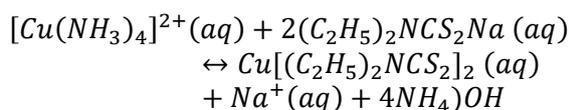
diisi dengan larutan sampel limbah simulasi Cu 500 mg/L sebanyak 25 mL. Alat dioperasikan dengan mengalirkan sampel limbah simulasi Cu sebesar 500 mg/L secara gravitasi dari atas kebawah secara terus menerus dari bak penampung limbah dengan variasi laju alir lambat (keran terbuka sebagian). Kemudian filtrat yang didapatkan ditampung ke dalam botol sampel. Percobaan diulangi kembali dengan mengganti adsorbat menjadi larutan limbah simulasi Zn. Filtrat hasil adsorpsi logam Cu dan Zn dianalisa secara berturut-turut menggunakan Spektrofotometer UV-Visible dan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Penentuan Panjang Gelombang Maksimum Logam Cu

Sebanyak 5 mL larutan standar $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 10 ppm dipipet dan dimasukkan kedalam labu ukur 25 mL. Larutan NH_4OH 5% sebanyak 2,5 mL ditambahkan kedalam labu ukur. Larutan Natrium dietilditiokarbamat 1 % sebanyak 2,5 mL ditambahkan ke dalam labu ukur. Aquades dimasukkan hingga tanda batas. Larutan kemudian digojok hingga homogen dan didiamkan selama 5 menit. Membuat larutan blangko dengan cara mengulangi langkah diatas dengan mengganti larutan standar $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 10 ppm menggunakan aquades. Membaca absorbansi menggunakan spektro UV-Vis pada panjang gelombang 400-500 nm dan larutan blangko digunakan sebagai pembanding. Membuat kurva hubungan antara panjang gelombang terhadap absorbansi, puncak kurva tersebut yang akan ditetapkan sebagai λ maks.

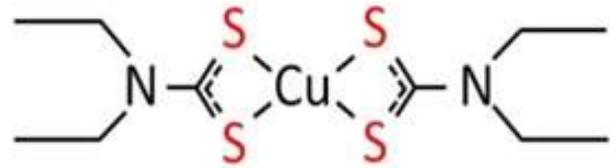
Hasil dan Diskusi

Pengukuran absorbansi larutan standar logam Cu dilakukan menggunakan metode spektroskopi dengan instrument spektrofotometer UV-Vis. Sebelum dilakukan pengukuran absorbansi, maka ditentukan panjang gelombang maksimum terlebih dahulu dengan menggunakan pengompleks Natrium dietilditiokarbamat atau Na-DDTK. Berikut persamaan reaksinya:



Kompleks $\text{Cu}(\text{DDTK})_2$ berwarna kuning kecoklatan dan sensitif terhadap cahaya sehingga diukur pada kisaran panjang gelombang 400-500

nm (daerah visible) [6]. Struktur kompleks $\text{Cu}(\text{DDTK})_2$ dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur $\text{Cu}(\text{DDTK})_2$ Sumber: Sukarna, (2014: 81)

Berdasarkan perhitungan, maka panjang gelombang maksimum berada pada puncak 448 nm dengan nilai absorbansi sebesar 0,285. Selanjutnya, diukur absorbansi larutan standar Cu dengan berbagai variasi konsentrasi larutan, yaitu sebesar 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 ppm, maka diperoleh data absorbansi larutan standar Cu. Dari perhitungan yang telah dilakukan maka diperoleh persamaan garis linier logam Cu yaitu $y = 0,136357x + 0,018571$ dengan koefisien korelasi sebesar $r = 0,9970$. Pengukuran absorbansi larutan standar logam Zn dilakukan dengan metode spektroskopi, instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dengan panjang gelombang 213,9 nm. Pengukuran absorbansi dilakukan terhadap berbagai variasi konsentrasi larutan, yaitu sebesar 1, 3, 5, 7 dan 10 ppm. Dari perhitungan yang telah dilakukan maka diperoleh persamaan garis linier logam Zn yaitu $y = 0,085286x + 0,062175$ dengan koefisien korelasi sebesar $r = 0,9889$.

Adsorpsi Logam Cu dan Zn dengan Variasi Massa Karbon Aktif Optimum

Penurunan kadar logam Cu dan Zn dalam limbah simulasi menggunakan karbon aktif dari daun pandan laut teraktivasi ZnCl_2 5% dilakukan menggunakan metode kolom dengan diameter kolom 1,5 cm dan panjang kolom 30 cm. Adsorbat yang digunakan berupa larutan limbah simulasi sebanyak 25 mL. Prinsip kerja kolom adalah dengan mengkontakkan larutan limbah simulasi dengan adsorben karbon aktif daun pandan laut melalui kolom, larutan limbah simulasi dialirkan terus menerus secara gravitasi dari atas ke bawah dengan laju alir diatur menggunakan keran air. Pada penentuan massa adsorben optimum digunakan berbagai variasi massa adsorben yaitu sebesar 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; dan 1 gram dengan laju alir cepat (keran terbuka penuh). Data absorbansi sampel limbah logam Cu dan Zn yang telah dianalisis dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Analisis filtrat adsorpsi logam Cu dilakukan dengan pengulangan (duplo).

Tabel 1. Absorbansi filtrat adsorpsi logam Cu

Massa (gram)	Laju Alir (mL/menit)	Absorbansi
Sampel Awal	-	0,586
		0,595
0,1		0,481
		0,487
0,3		0,332
		0,351
0,5		0,240
		0,266
0,7	0,2 - 5,5	0,742
		0,888
0,9		0,568
		0,574
1		0,466
		0,509
0,7	0,3	0,461
		0,524

Tabel 2. Absorbansi filtrat adsorpsi logam Zn

Massa (gram)	Laju Alir (mL/menit)	Absorbansi
Sampel Awal	-	0,8302
0,1		0,6156
0,3		0,5333
0,5	0,2 - 6,5	0,6545
0,7		0,7175
0,9		0,7401
1		0,7744
0,9	0,2	0,6112

Tabel 3. Kapasitas dan efisiensi adsorpsi logam Cu

Laju Alir (mL/menit)	Variasi Massa (g)	Konsentrasi (mg/L)			Efisiensi Adsorpsi (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
		Awal	Teradsorpsi	Akhir		
Cepat (0,2-5,5)	0,1	1048,5875	195,2595	853,3280	18,6212	48,8149
	0,3	1048,5875	456,5222	592,0653	43,5369	38,0435
	0,5	1048,5875	616,8816	431,7059	58,8298	30,8441
	0,7	1048,5875	983,5481	65,0394	93,7974	35,1267
	0,9	1048,5875	977,7440	70,8435	93,2439	27,1596
	1	1048,5875	979,8079	68,7796	93,4407	24,4952

Tabel 4. Kapasitas dan efisiensi adsorpsi logam Zn

Laju Alir (mL/menit)	Variasi Massa (g)	Konsentrasi (mg/L)			Efisiensi Adsorpsi (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
		Awal	Teradsorpsi	Akhir		
Cepat (0,2-6,5)	0,1	900,5288	65,4269	835,1019	7,2654	16,3567
	0,3	900,5288	105,6445	794,8843	11,7314	8,8037
	0,5	900,5288	132,1436	768,3852	14,6740	6,6072
	0,7	900,5288	206,0127	694,5161	22,8769	7,3576
	0,9	900,5288	256,7831	643,7457	28,5147	7,1329
	1	900,5288	251,6239	648,9049	27,9418	6,2906

Nilai absorbansi tersebut digunakan untuk menentukan konsentrasi sisa atau akhir. Selanjutnya, data tersebut digunakan untuk menentukan massa adsorben optimum menggunakan nilai efisiensi adsorpsi yang paling tinggi dari logam Cu dan Zn, yang berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 3, massa adsorben optimum untuk menyerap logam Cu 0,7 gram dengan efisiensi penjerapan 93,7974%. Sedangkan untuk logam Zn berdasarkan Tabel 4, massa adsorben optimum yang diperoleh adalah 0,9 gram dengan efisiensi penjerapannya adalah 28,5147%. Pada logam Cu efisiensi penjerapan terus meningkat dengan bertambahnya massa adsorben, akan tetapi mengalami penurunan pada massa 0,9

gram dan 1 gram dengan efisiensi penjerapan berturut-turut yaitu 93,2439% dan 93,4407%. Sama seperti logam Cu, logam Zn juga mengalami penurunan pada massa 1 gram dengan efisiensi penjerapan sebesar 27,9418%. Menurut Mengistie, *et al* [7], efisiensi adsorpsi meningkat dengan sangat cepat pada saat awal adsorben kontak dengan adsorbat, kemudian berlangsung secara konstan hingga mencapai titik kesetimbangan dan setelah itu efisiensi penjerapan menurun hingga mencapai titik jenuh yang menyebabkan logam yang telah diadsorpsi oleh adsorben dapat terlepas kembali (regenerasi).

Adsorpsi Logam Cu dan Zn dengan Variasi Laju Alir dan Massa Optimum

Penentuan laju alir optimum ditentukan dengan variasi laju alir cepat (keran terbuka penuh) dan laju alir lambat (keran terbuka sebagian). Data variasi laju alir logam Cu dan Zn secara dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Variasi laju alir logam Cu

Laju Alir (mL/menit)	Variasi Massa (g)	Efisiensi Adsorpsi (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
Cepat (0,4)	0,7	93,7974	35,1267
Lambat (0,3)		96,6854	36,2083

Tabel 6. Variasi laju alir logam Zn

Laju Alir (mL/menit)	Variasi Massa (g)	Efisiensi Adsorpsi (%)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
Cepat (0,3)	0,9	28,5147	7,1329
Lambat (0,2)		38,6576	9,6701

Berdasarkan hasil pada Tabel 5, data yang didapatkan untuk variasi laju alir logam Cu menunjukkan bahwa laju alir cepat menghasilkan aliran 0,4 mL/menit, sedangkan untuk laju alir lambat alirannya menjadi 0,3 mL/menit. Laju alir 0,4 mL/menit menghasilkan efisiensi adsorpsi sebesar 93,7974% lebih kecil jika dibandingkan laju alir 0,3 mL/menit yang memiliki efisiensi adsorpsi sebesar 96,6854%.

Sedangkan menurut hasil pada Tabel 6, untuk logam Zn variasi laju alir cepat menghasilkan aliran 0,3 mL/menit dengan efisiensi sebesar 28,5147% dan untuk laju alir lambat alirannya sebesar 0,2 mL/menit dengan efisiensi 38,6576%. Efisiensi adsorpsi logam Cu maupun Zn sama-sama memiliki efisiensi terbesar pada laju aliran lambat, hal ini berkaitan dengan lamanya waktu kontak antara adsorben dengan larutan limbah simulasi. Semakin lama larutan limbah simulasi yang berada pada kolom dan kontak dengan adsorben, maka semakin efektif penurunan konsentrasi logam berat yang terkandung di dalam air limbah. Hal ini menjadikan semakin banyaknya peluang untuk terjadinya ikatan dengan gugus aktif adsorben [8]. Data kapasitas adsorpsi pada logam Cu menunjukkan angka pada rentang 24-50 mg/g, kapasitas adsorpsi paling tinggi terdapat

pada massa adsorben 0,1 gram dengan kapasitas sebesar 48,8149 mg/g.

Sementara kapasitas adsorpsi logam Zn berada pada rentang 6-17 mg/g, kapasitas adsorpsi paling tinggi terdapat pada massa adsorben 0,1 gram dengan kapasitas sebesar 16,3567 mg/g, yang artinya bahwa semakin kecil massa adsorben maka kapasitas adsorpsinya semakin besar. Hal ini diperkuat oleh penelitian Barros *et al.*, [9] yang menyatakan bahwa pada saat ada sebuah peningkatan adsorben, maka adapenurunan kapasitas adsorpsi dan peningkatan efisiensi adsorpsi. Perbedaan jumlah ion yang teradsorpsi juga dapat ditentukan berdasarkan jejari ion logam tersebut. Jari-jari pori arang aktif daun pandan laut teraktivasi ZnCl₂ 5% sebesar 18,2 Å [10]. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa volume jari-jari karbon aktif lebih besar daripada volume jari-jari adsorbat, dengan demikian karbon aktif dari daun pandan laut teraktivasi ZnCl₂ 5% dapat digunakan sebagai adsorben logam Cu dan Zn.

Jari-jari ion adalah jari-jari dari kation atau anion yang dihitung berdasarkan jarak antara dua inti kation atau anion dalam kristal ionik [11]. Dilihat dari sistem periodik unsur, jari-jari ion semakin besar berdasarkan golongan dari atas ke bawah sebagaimana penambahan kulit elektron, berbanding terbalik dengan periode akan terjadi pengurangan dari kiri ke kanan [12]. Dari tabel periodik unsur dapat dilihat Cu dan Zn berada dalam periode yang sama dengan nomor atom Cu=29 dan Zn=30, sehingga dapat disimpulkan bahwa jari-jari ion Cu lebih besar dari pada Zn, tembaga mempunyai jari-jari ion sebesar 0,96 Å sedangkan seng memiliki jari-jari ion 0,74 Å [13]. Semakin kecil jari-jari ion suatu logam, maka semakin besar pula daya tarik inti dari ion tersebut sehingga mengakibatkan logam akan cepat terikat dengan sisi aktif adsorben. Dalam hal ini, jari-jari Zn lebih kecil dari pada Cu sehingga Zn lebih cepat teradsorpsi oleh karbon aktif dan menyebabkan permukaan karbon aktif akan mencapai titik jenuh yang jauh lebih cepat. Sehingga terjadi proses desorpsi atau pelepasan kembali antara adsorben dengan adsorbat.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa massa adsorben dan laju alir yang optimum terhadap efisiensi adsorpsi logam Cu dan Zn oleh karbon aktif dari daun pandan laut teraktivasi ZnCl₂ dalam sistem kontinyu berturut-turut adalah 0,7 gram dan 0,9 gram. Sementara untuk laju alir

optimum untuk logam Cu adalah 0,3 mL/menit dan untuk logam Zn adalah 0,2 mL/menit. Efisiensi adsorpsi yang paling tinggi dari adsorben daun pandan laut teraktivasi $ZnCl_2$ terhadap adsorpsi logam Cu dan Zn dalam sistem kontinyu berturut-turut sebesar 96,6854% dan 38,6576%. Kapasitas adsorpsi tertinggi dari adsorben daun pandan laut teraktivasi $ZnCl_2$ terhadap adsorpsi logam Cu dan Zn dalam sistem kontinyu berturut-turut adalah 36,2083 mg/g dan 9,6701 mg/g.

Pustaka

- [1] Angraini, R., Wahyuni, N., dan Gusrizal. (2015). *Adsorpsi fenol oleh kombinasi adsorben zeolit dan karbon aktif dengan metode*. JKK. Vol (4) 1, hal 21-25.
- [2] Amri, M., & Herlianty, S. (2005). *Penentuan Daya Jerap Karbon Aktif dari Pelepah Sawit Terhadap Ion Fe (III)*. Journal Fakultas Teknik UNRI Vol. (iii), 1–8.
- [3] Bansal, R. C. dan Goyal M. (2015). *Activated Carbon Adsorption*. CRC Press Boca Raton.
- [4] Chen, C., Zhao, P., Li, Z., & Tong, Z. (2016). *Adsorption behavior of chromium (VI) on activated carbon from eucalyptus sawdust prepared by microwave-assisted activation with $ZnCl_2$* . Desalination and Water Treatment, 57(27), 12572–12584.
- [5] Arie, A. A.; Kristianto H.; Suharto I.; Halim M. dan Lee J. K. (2014). *Preparation of Orange Peel Based Activated Carbons as cathodes in Lithium Ion Capacitors*. Advanced Materials Research, 896, 95-99.
- [6] Sukarna, I Made. (2014). *Kimia Analitik*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- [7] Mengistie, A. A., Rao, S., rao P., and Singanan, M. (2008). *Removal of Lead (II) from Aqueous Solution Using Activated Carbon from Mitilia Ferruginea Plant Leaves*. Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia, Vol. 22, No. 3, pp. 349-360.
- [8] Abdurrahman. (2004). *Pengantar Hukum Lingkungan Indonesia*. Bandung: Alumni.
- [9] Barros, J.L.M., Maedo G.R., Duarte M.M.L., Silva E.P and Lobato. (2003). *Biosorption Cadmium Using The Fungus Asprgillus niger*. Brazilian Journal of Chemical Engineering Vol 20: 1-17.
- [10] Parwanti. (2019). *Aplikasi Karbon Aktif dari Daun Pandan Laut Teraktivasi $ZnCl_2$ untuk Penurunan Kadar Fenol Dalam Limbah Batik*. Universitas Negeri Yogyakarta. Skripsi. Tidak Diterbitkan.
- [11] Igwe, J.C., Ogunewe, D.N., Abia, A.A. (2005). *Competitive Adsorption of Zn(II), Cd(II) and Pb(II) Ions from Aqueous and Non-Aqueous Solution by Maize Cob and Husk*. African Journal of Biotechnology. Vol. 4, No. 10, (10), pp. 1113-1116.
- [12] Syukri. (1999). *Kimia Dasar Jilid I*. Bandung: Institut Teknologi Bandung (ITB).
- [13] Komari, N., Baroroh, U., Utami, L., & Malinda, N. (2012). *Adsorpsi Pb^{2+} dan Zn^{2+} pada Biomassa Imperata cylindrical*. Journal Valensi2(5).