

PENGARUH WAKTU PERENDAMAN DALAM AKTIVATOR NaOH DAN DEBIT ALIRAN TERHADAP PENURUNAN KROM TOTAL (Cr) DAN SENGG (Zn) PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI ELEKTROPLATING DENGAN MENGGUNAKAN ARANG AKTIF DARI KULIT PISANG

Hana Fajrianti¹, Wiharyanto Oktiawan, Irawan Wisnu Wardhana
Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Indonesia 50275
¹email: hanafajrianti@student.undip.ac.id

ABSTRAK

Air limbah yang dihasilkan dari industri electroplating memiliki kandungan logam berat yang tinggi. Metode adsorpsi dengan arang aktif adalah salah satu cara yang untuk menurunkan kadar logam berat dalam air limbah. Bahan untuk membuat arang aktif salah satunya adalah limbah pertanian, seperti kulit pisang. Penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa arang aktif dari limbah kulit pisang dapat digunakan untuk menurunkan kadar logam berat dalam larutan. Pada penelitian ini digunakan variasi waktu perendaman dalam larutan NaOH 1 M selama 8 jam, 16 jam, dan 24 jam pada uji batch untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi logam Cr total dan Zn. Sedangkan untuk uji kontinyu digunakan variasi debit aliran 60 mL/menit, 75 mL/menit, dan 90 mL/menit untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kemampuan adsorpsi dan zona transfer massa dalam adsorpsi logam Cr total dan Zn. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arang kulit pisang yang direndam selama 24 jam mampu mengadsorpsi logam Cr total dan Zn lebih besar dengan rata-rata efisiensi removal 60,90% dan 100%. Sedangkan debit aliran memberikan pengaruh terhadap kemampuan adsorpsi Cr total dan Zn dengan rata-rata efisiensi removal 38,58% dan 87,09%; dan zona transfer massa yang lebih besar pada debit aliran 90 mL/menit sehingga titik jenuh adsorben cepat dicapai.

Kata kunci: adsorpsi, kulit pisang, limbah cair electroplating, logam berat

ABSTRACT

[The Effect of Activating Time and Flow Rate to The Adsorption of Cr total and Zn from Electroplating Wastewater using Banana Peel Activated Carbon]. Electroplating wastewater highly contains hazardous heavy metals. The adsorption process using activated carbon has been conducted to remove heavy metals concentration in electroplating wastewater. Agricultural waste, like banana peel, is commonly used as materials to make activated carbon. Preliminary study shows that banana peel activated carbon can be used to remove Cr total and Zn from solution. In this study, the effect of activating time and flow rate to the adsorption of Cr total and Zn was investigated. The variation of activating time in 1 M NaOH solution are 8 hours, 16 hours, and 24 hours; and the variation of flow rate are 60 mL/min, 75 mL/min, and 90 mL/min. The results obtained from experiment show that the longer activating time in 1 M NaOH was adequately capable of removing 60,90% Cr total and 100% Zn. While the increased flow rate effects on the increase of mass transfer zone, with the result that exhaustion point of adsorbents can be quickly obtained. In column study, banana peel activated carbon was capable to remove 38,58% Cr total and 87,09% Zn.

Keywords: adsorption, banana peel, electroplating wastewater, heavy metals

1. PENDAHULUAN

Electroplating atau lapis listrik atau penyepuhan merupakan salah satu proses pelapisan bahan padat dengan lapisan logam menggunakan arus listrik melalui suatu larutan elektrolit (Sari, 2011). Limbah dari kegiatan proses pada industri electroplating mengandung logam-logam berat sehingga dapat disebut limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Kuantitas air limbah yang

dihasilkan dari industri electroplating tidak terlalu besar, tetapi logam-logam berat yang terkandung memiliki tingkat toksisitas yang tinggi dan berbahaya apabila terbuang langsung ke lingkungan tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu (Salimin, et al., 2013).

Buah pisang dapat tumbuh dan tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Produksi buah pisang Indonesia cukup besar, dibuktikan dengan Angka

Tetap (ATAP) tahun 2013 produksi pisang mencapai 6,28 juta ton. Angka tersebut terus meningkat, dan diproyeksikan sampai tahun 2019 jumlah buah pisang yang dihasilkan di Indonesia sebanyak 7,29 juta ton. Untuk wilayah Asia, Indonesia termasuk penghasil buah pisang terbesar karena 50% produksi pisang Asia dihasilkan di Indonesia. Hampir seluruh wilayah Indonesia merupakan daerah penghasil pisang karena didukung oleh iklim yang sesuai (Kementerian Pertanian, 2014). Salah satu industri rumah tangga di Semarang, yaitu pisang coklat goreng, setiap harinya menggunakan 200-1000 buah pisang untuk produksi pisang coklat. Dari kegiatan tersebut, dihasilkan limbah kulit pisang yang cukup banyak dan memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali.

Menurut penelitian terdahulu dari University of Sindh Pakistan, limbah kulit pisang dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif untuk dijadikan adsorben dan menurunkan kadar logam berat pada air limbah. Kulit pisang memiliki kandungan selulosa sebesar 14,4% dan senyawa organik yang berpotensi memberikan nilai kalor yang cukup baik. Jumlah yang melimpah khususnya dari kulit pisang tersebut dapat digunakan menjadi produk yang berdaya guna tinggi (Nasir, *et al.*, 2014).

2. METODOLOGI

2.1. Tahap Persiapan

Kulit pisang yang digunakan berasal dari Industri Rumah Tangga Pisang Cokelat, jenis pisang yang digunakan adalah Pisang Uli. Kulit pisang dicuci bersih untuk menghilangkan getah. Kemudian dijemur selama 2-3 hari sampai kadar air berkurang. Setelah itu dilakukan karbonisasi dengan menggunakan furnace pada suhu 400 °C selama 2 jam. Kulit pisang yang sudah menjadi arang diaktivasi secara kimia menggunakan larutan NaOH 1 M dengan variasi waktu perendaman 8, 16, dan 24 jam.

Air limbah elektroplating yang digunakan berasal dari CV. Krom XX Semarang. Air limbah yang digunakan untuk uji batch memiliki variasi konsentrasi awal logam Cr total 52,620 mg/L dan 11,030 mg/L; dan logam Zn adalah 15,887 mg/L dan 3,392 mg/L. Sedangkan untuk uji kontinyu, digunakan air limbah dengan konsentrasi awal air limbah logam Cr total 51,0619 mg/L dan Zn 3,2640 mg/L.

2.2. Uji Batch

Adsorben kulit pisang masing-masing dengan waktu perendaman aktivasi selama 8, 16, dan 24 jam disiapkan sebanyak 2,5 gram dan dimasukkan ke dalam air limbah sebanyak 250 mL. Lalu diaduk menggunakan jartest selama 60 menit dengan kecepatan 90 rpm. Sampel diambil setiap 30 menit sekali selama 120 menit. Sampel kemudian diuji menggunakan AAS. Adsorben yang mampu mengadsorpsi logam Cr total dan Zn lebih baik kemudian diuji kembali untuk variasi dosis adsorben sebesar 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 gram ke dalam 250 mL air limbah.

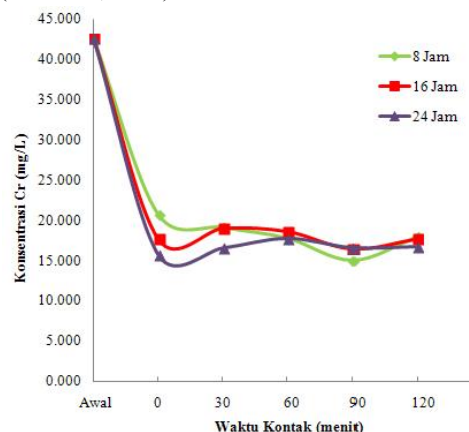
2.3. Uji Kontinyu

Adsorben kulit pisang yang mampu mengadsorpsi logam Cr total dan Zn lebih baik kemudian diujikan kembali melalui uji kontinyu. Berat adsorben yang digunakan disesuaikan dengan hasil perhitungan model isoterm terpilih pada ketinggian reaktor sesuai kriteria minimum yaitu 65 cm. Air limbah dialirkan dengan variasi debit aliran 60 mL/menit; 75 mL/menit; dan 90 mL/menit.

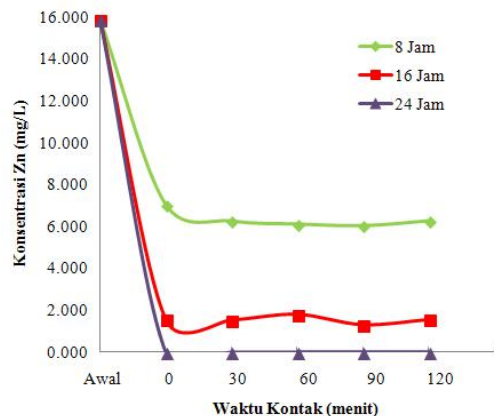
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Waktu Perendaman Aktivasi

Proses perendaman arang dengan zat aktivator bertujuan untuk menghambat pembentukan tar dan mendehidrasi agen yang mempengaruhi dekomposisi pirolitik. Zat aktivator juga berfungsi untuk menurunkan pembentukan asam asetat dan metanol, sehingga dapat meningkatkan hasil dan memperluas area karbon (Manocha, 2003).



Gambar 1. Penurunan Logam Cr total



Gambar 2. Penurunan Logam Zn

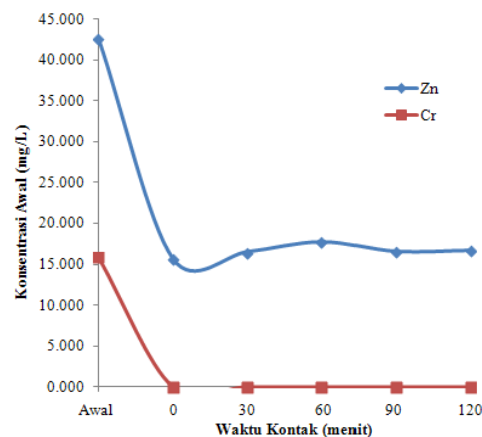
Pada Gambar 1. dan Gambar 2, dapat diamati bahwa jumlah ion logam Cr total dan Zn yang teradsorpsi semakin meningkat seiring dengan lamanya waktu aktivasi. Ion logam Cr total dan Zn paling banyak diadsorpsi dengan menggunakan adsorben yang diaktivasi selama 24 jam. Untuk logam Cr total, jumlah ion yang teradsorpsi adalah sebesar 25,904 mg/L dengan konsentrasi awal Cr total sebesar 42,620 mg/L pada menit ke 120. Sedangkan untuk logam Zn, jumlah ion yang teradsorpsi adalah sebesar 15,887 mg/L dengan 15,887 mg/ pada menit ke 120. Adsorpsi yang digunakan dengan menggunakan adsorben yang diaktivasi selama 24 jam mampu menyisihkan logam Zn hingga 100%.

Semakin lama waktu aktivasi akan membuat pori yang terbentuk semakin banyak, sehingga daya serap akan semakin besar pula. Semakin lama perendaman arang dalam zat aktivator juga menyebabkan kadar airnya relatif semakin turun sehingga karbon aktif menjadi lebih baik (Hartanto & Ratnawati, 2010). Hal inilah yang menyebabkan arang yang diaktivasi selama 24 jam dapat mengadsorpsi ion Cr total dan Zn lebih besar daripada arang yang diaktivasi selama 16 dan 8 jam. Namun, daya serap tersebut akan mencapai maksimal dan harganya akan relatif konstan dengan bertambahnya waktu aktivasi karena pembentukan pori sudah maksimal (Hartanto & Ratnawati, 2010).

3.2. Pengaruh Waktu Kontak

Gambar 3. menggambarkan hubungan penurunan logam Zn dan Cr total dengan waktu kontak. Arang yang digunakan adalah yang diaktivasi selama 24 jam dengan konsentrasi awal

air limbah Cr total sebesar 42,620 mg/L dan Zn 15,887 mg/L. Dari kedua grafik tersebut terlihat bahwa penurunan konsentrasi logam Zn dan Cr total telah terjadi mulai menit ke-0 setelah proses pengadukan berlangsung dengan menggunakan jartest. Hal ini menunjukkan bahwa peristiwa adsorpsi telah terjadi sejak dilakukan pengadukan.



Gambar 3. Penurunan Logam Cr dan Zn dengan Waktu Kontak

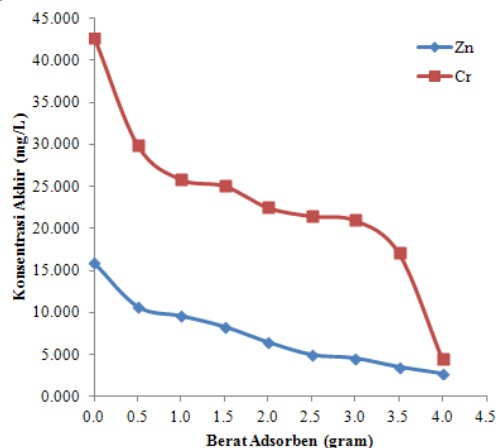
Menurut Sathasivam dan Haris (2010), tahap pertama adsorpsi merupakan tahap yang secara kuantitatif dominan dan terjadi di awal proses adsorpsi. Pada tahap ini laju proses adsorpsi cepat karena ketersediaan situs aktif adsorben yang masih banyak, dan tahap ini biasanya terjadi pada 15 menit pertama proses adsorpsi. Hal ini mungkin terjadi karena berkaitan dengan faktanya bahwa pada awalnya banyak sisi adsorben yang kosong sehingga kecenderungan larutan untuk terserap ke adsorben semakin tinggi dengan bertambahnya waktu kontak (Nasir, et al., 2014).

Pada proses adsorpsi terjadi pula desorpsi, yaitu terlepasnya partikel adsorbat dari permukaan adsorben. Peristiwa desorpsi dapat menandakan bahwa telah terbentuk kondisi kesetimbangan yang dinamis pada proses adsorpsi (Ju & Ibe Uzuma, 2014). Adanya fenomena desorpsi disebabkan karena proses adsorpsi terjadi secara fisika (Holmberg, 2006), dimana proses adsorpsi terjadi secara reversibel sehingga akan menyebabkan ion-ion Cr total dan Zn terlepas kembali ke dalam larutan air limbah dari permukaan adsorben (Lestari, 2010). Fenomena desorpsi juga dapat disebabkan oleh adanya sifat kompetitif perebutan situs adsorben yang aktif antara logam Cr total, Zn,

dan ion logam atau konsentrat lainnya yang terkandung pada limbah elektroplating, sehingga menyebabkan ion-ion logam saling terlepas dan larut kembali ke dalam air limbah (Holmberg, 2006).

3.3. Pengaruh Berat Adsorben

Pada penelitian ini, dilakukan uji variasi dosis adsorben untuk air limbah konsentrasi Cr total 42,620 mg/L dan konsentrasi Zn 15,887 mg/L dengan variasi berat adsorben 0,5 ; 1,0 ; 1,5 ; 2,0 ; 2,5 ; 3,0 ; 3,5 ; 4,0 gram dalam 250 mL air limbah. Waktu kontak yang digunakan adalah selama 120 menit. Sedangkan adsorben yang digunakan adalah arang kulit pisang yang telah diaktivasi selama 24 jam, mengacu pada hasil uji batch sebelumnya bahwa adsorben yang diaktivasi selama 24 jam dapat mengadsorpsi ion Cr total dan Zn lebih besar dibandingkan jika hanya diaktivasi selama 8 dan 16 jam. Hasil adsorpsi logam Cr total dan Zn dengan variasi dosis adsorben terlihat melalui grafik pada gambar berikut ini.



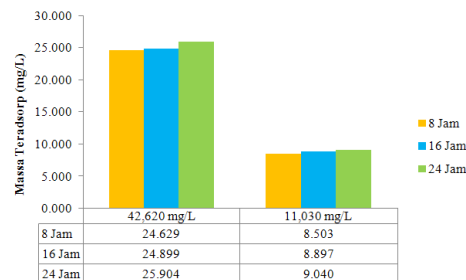
Gambar 5. Penurunan Logam Cr dan Zn dengan Variasi Dosis Adsorben

Dari Gambar 5, dapat diamati pengaruh penurunan logam Cr total dan Zn dengan bertambahnya dosis adsorben. Pada adsorpsi logam Cr total dan Zn, penurunan paling besar terjadi mulai dosis adsorben sebesar 0,5 gram. Kemudian, pada penggunaan dosis sebesar 1,0 ; 1,5 ; 2,0 ; 2,5 ; 3,0 ; 3,5 gram tidak terjadi penurunan konsentrasi logam Cr yang signifikan, namun angka pada grafik tetap menunjukkan penurunan. Secara umum, untuk kedua penyerapan logam Cr total dan Zn terus mengalami penurunan bersamaan dengan bertambahnya dosis adsorben.

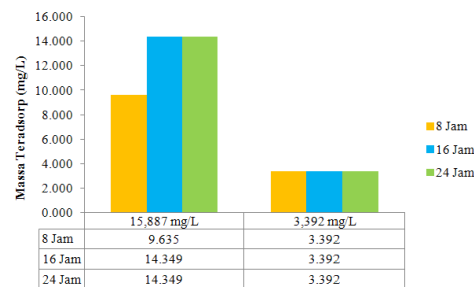
Menurut penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Hossain, *et al* (2012), persentase penyisihan logam akan terus meningkat bersamaan dengan bertambahnya massa adsorben kulit pisang. Penurunan konsentrasi yang tidak signifikan pada penyerapan logam Cr total dengan penambahan dosis adsorben, kemungkinan terjadi akibat adanya agregasi parsial pada adsorben, yaitu pembentukan sebagian agregat pada partikel adsorben ketika berlangsungnya proses pengadukan. Efisiensi penyisihan logam dapat berkurang dengan pertambahan dosis adsorben karena adanya agregasi parsial pada bagian adsorben yang aktif (Hossain, *et al.*, 2012). Namun, dosis adsorben dapat secara proporsional meningkatkan ketersediaan situs yang aktif pada adsorben. Penambahan situs aktif dan luas area saat kontak dengan ion logam akan meningkatkan kemampuan penyerapan ion logam dan menghasilkan adsorpsi yang lebih baik (Sathasivam & Haris, 2010).

3.4. Pengaruh Konsentrasi Awal Air Limbah

Menurut Earnestly (2014), konsentrasi ion logam berhubungan dengan jumlah sisi aktif yang terdapat pada permukaan adsorben, bila jumlah sisi aktif cukup besar dibanding jumlah ion logam, maka efisiensi penyerapan akan tinggi sampai pada jumlah sisi aktif sama dengan ion logam. Namun, pada kondisi tertentu efisiensi akan konstan karena telah terjadi kejenuhan pada material penyerap.



(a)



(b)

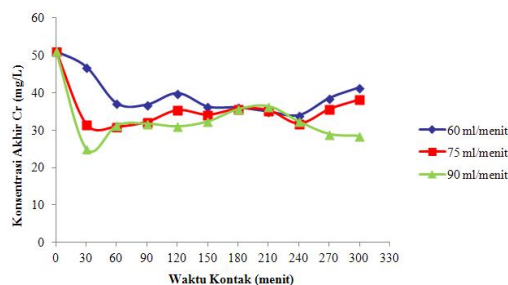
Gambar 6. Hubungan Konsentrasi Air Limbah dengan Penyerapan Logam (a) Cr total dan (b) Zn

Pada Gambar 6. dapat diamati jumlah massa yang teradsorp dengan perbandingan konsentrasi air limbah. Dengan menggunakan arang aktif sebanyak 2,5 gram untuk setiap konsentrasi air limbah yang berbeda, didapatkan hasil bahwa jumlah logam Cr total dan Zn yang diadsorpsi paling besar terjadi pada air limbah dengan konsentrasi awal Cr total 42,620 mg/L dan Zn 15,887 mg/L. Namun, pada air limbah dengan konsentrasi logam Zn sebesar 3,392 mg/L, didapatkan hasil bahwa seluruh logam Zn telah teradsorp oleh adsorben kulit pisang, sehingga tidak dapat dideteksi jumlahnya saat dilakukan uji AAS. Sementara pada air limbah dengan konsentrasi Zn sebesar 15,887 mg/L, dengan menggunakan adsorben kulit pisang yang diaktivasi selama 24 jam, juga didapatkan hasil bahwa konsentrasi logam Zn pada air limbah telah teradsorb seluruhnya.

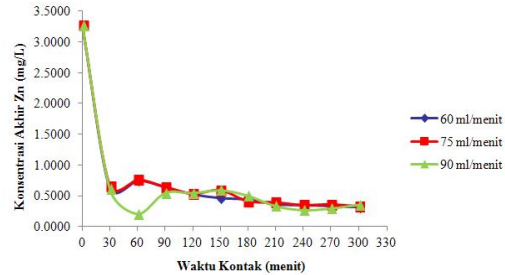
Faktor yang mempengaruhi kemampuan penjerapan ion logam telah diteliti oleh Okieimen *et al* dan Ricordel *et al* (Sathasivam & Haris, 2010), yaitu ukuran ion logam yang berbeda-beda; distribusi alami adsorben yang aktif; interaksi antara ion logam dan adsorben; mobilitas ionik; dan koefisien difusi. Kemampuan penjerapan ion logam juga akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi ion logam, jika jumlah adsorben yang digunakan tetap sama untuk setiap konsentrasi yang berbeda-beda. Peningkatan konsentrasi ion logam akan meningkatkan interaksi antara logam dan adsorben, karena itu konsentrasi ion logam memiliki peran penting dalam proses adsorpsi ion logam (Sathasivam & Haris, 2010).

3.5. Pengaruh Debit Aliran

Babu dan Gupta (2006) menyatakan bahwa variasi dari debit aliran memberikan perubahan terhadap kurva *breakthrough* yang terbentuk, yaitu waktu dimana kemampuan adsorben untuk mengadsorb adsorbat mulai menurun.



Gambar 7. Grafik Penurunan Logam Cr total

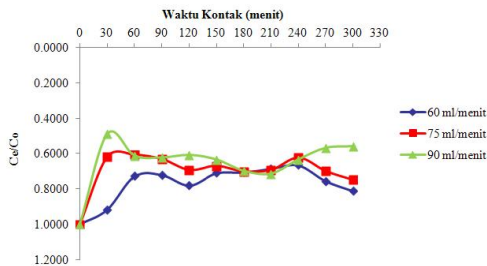


Gambar 8. Grafik Penurunan Logam Zn

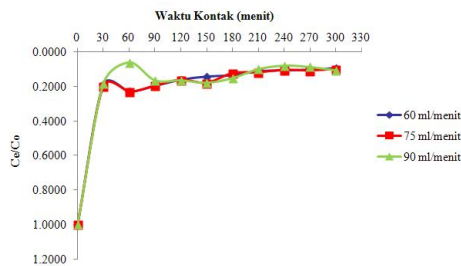
Secara umum, konsentrasi logam Cr total dan Zn mengalami penurunan saat air limbah dialirkan ke dalam kolom berisi adsorben kulit pisang. Namun, pada Gambar 7 dan Gambar 8, terlihat bahwa penurunan logam Cr total dan Zn cenderung fluktuatif. Hal tersebut dapat disebabkan karena banyaknya kontaminan lainnya yang terkandung dalam air limbah elektroplating seperti nikel, besi, timbal, kadmium, dan tembaga (Bernard & Jimoh, 2013), sehingga muncul sifat kompetitif antar kontaminan dan menyebabkan penurunan yang terjadi tidak sama atau fluktuatif setiap perubahan waktu. Pada adsorpsi logam Cr total dan Zn, penurunan konsentrasi terus terjadi, hingga pada waktu tertentu konsentrasi Cr total dan Zn terlihat kembali naik yang disebabkan oleh kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi logam adsorben yang semakin menurun. Pada Gambar 7 dan 8 terlihat bahwa adsorben belum mencapai titik jenuh, sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui titik jenuh adsorben.

3.6. Zona Transfer Massa

Menurut Metcalf & Eddy, Inc (2003), pada adsorben GAC (*Granular Activated Carbon*) dimana terjadinya proses sorpsi disebut dengan Zona Transfer Massa (ZTM). Ketika air limbah melewati kolom yang terisi adsorben dengan tinggi yang sama dengan ZTM, maka konsentrasi kontaminan pada air limbah akan berkurang sampai jumlah yang paling minimum. Namun, proses adsorpsi tidak akan muncul kembali ketika tinggi kolom adsorben berada dibawah ZTM saat lapisan atas adsorben sudah jenuh akibat telah menyerap kontaminan yang ada pada air limbah (Metcalf & Eddy, Inc. 2003).



Gambar 9. Perpindahan ZTM terhadap waktu pada Adsorpsi Cr Total



Gambar 10. Perpindahan ZTM terhadap waktu pada Adsorpsi Zn

Pada Gambar 9. dan Gambar 10, dapat diamati bahwa pada debit 90 mL/menit, kenaikan konsentrasi berlangsung lebih cepat dibandingkan pada debit 75 mL/menit dan 60 mL/menit. Hal ini diakibatkan oleh karena pergerakan air limbah yang cepat pada kolom adsorben, sehingga mengurangi waktu kontak antara logam Cr total dan Zn, dengan adsorben kulit pisang. Sedangkan kurva *breakthrough* yang landai pada debit aliran yang lebih kecil menandakan waktu kontak air limbah yang lebih lama terhadap adsorben (Sekhula et al, 2012). Pergerakan kurva *breakthrough* akan semakin cepat ketika debit aliran semakin besar, yang menyebabkan waktu adsorpsi pada kolom akan semakin pendek dan waktu Zona Transfer Massa juga menjadi lebih pendek (Rocha, Franca, & Oliveira, 2015).

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa waktu *breakthrough* belum sepenuhnya tercapai selama 300 menit pengaliran dengan variasi debit aliran. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan menurut Metcalf & Eddy, Inc (2003), hasil waktu *breakthrough* adalah sebagai berikut

Tabel 2. Waktu *Breakthrough* uji Kontinyu

Debit	Waktu <i>Breakthrough</i>
60 mL/menit	510 menit
75 mL/menit	1000 menit
90 mL/menit	1755 menit

3.6. Studi Kinetika Adsorpsi

Studi kinetika adsorpsi dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi awal air limbah terhadap mekanisme kinetik adsorpsi yang terjadi. Studi dilakukan dengan menggunakan Kinetika Adsorpsi Orde 1, Orde 2, Pseudo Orde 1, Pseudo Orde 2 dan IPDM (*Inter Particle Diffusion Model*).

Tabel 3. Nilai R^2 dan Koefisien Persamaan Kinetika Adsorpsi

Kinetika Orde 1				
Parameter	Cr Total		Zn	
		42,620 mg/L	11,030 mg/L	15,887 mg/L
R^2	0,5209	0,6255	0,5714	0,5714
k_1 (menit ⁻¹)	0,0043	0,0081	0,0058	0,0132
Kinetika Orde 2				
Parameter	Cr Total		Zn	
	42,620 mg/L	11,030 mg/L	15,887 mg/L	3,392 mg/L
R^2	0,489	0,6773	0,5714	0,5714
k_2 (menit ⁻¹)	0,0002	0,0019	-0,0014	-0,0003
Kinetika Pseudo Orde 1				
Parameter	Cr Total		Zn	
	42,620 mg/L	11,030 mg/L	15,887 mg/L	3,392 mg/L
R^2	0,0574	0,4903	0,5714	0,5714
k_3 (menit ⁻¹)	$4,37 \cdot 10^{-3}$	0,0101	0,011	0,011
Kinetika Pseudo Orde 2				
Parameter	Cr Total		Zn	
	42,620 mg/L	11,030 mg/L	15,887 mg/L	3,392 mg/L
R^2	0,9986	0,9993	1	1
k_4 (g mg ⁻¹ menit ⁻¹)	0,189	0,249	$3,539 \cdot 10^{-12}$	$9,051 \cdot 10^{-12}$
q_e (mg/g)	10,289	3,585	6,353	1,357
Kinetika Intra Particle Diffusion Model (IPDM)				
Parameter	Cr Total		Zn	
	42,620 mg/L	11,030 mg/L	15,887 mg/L	3,392 mg/L
R^2	0,8025	0,8439	0,8285	0,8285
k_{id} ($\mu\text{g/g min}^{1/2}$)	0,7875	0,2745	0,4888	0,1044
I ($\mu\text{g/g}$)	1,5842	0,4815	0,9083	0,1939

Mekanisme adsorpsi yang terjadi antara ion logam dengan adsorben kulit pisang dapat digambarkan dengan kinetika adsorpsi Pseudo Orde 2. Selain itu, pertimbangan lain dalam pemilihan model kinetika adalah nilai konstanta kinetika k adsorpsi logam Cr total yang dihasilkan dengan menggunakan Pseudo Orde 2 lebih besar dibandingkan model kinetika lainnya. Namun, untuk adsorpsi logam Zn, nilai k terlihat paling kecil dibanding model kinetika lainnya, karena konsentrasi akhir logam Zn untuk kedua variasi konsentrasi awal air limbah tidak dapat dideteksi dengan alat AAS, sehingga diasumsikan bahwa seluruh ion logam Zn telah teradsorpsi ke dalam adsorben kulit pisang. Karena itu, persamaan kinetika logam Zn yang dihasilkan dari Pseudo Orde 2 tidak dapat digunakan. Model kinetika yang

digunakan untuk menggambarkan laju kinetika pada adsorpsi logam Zn adalah Model Pseudo Orde 1, karena nilai k yang lebih besar dan nilai R^2 yang cukup mendekati 1, yaitu 0,5714.

Pada proses adsorpsi, adsorbat akan bergerak ke arah permukaan adsorben. Pergerakan adsorbat ini akan terus terjadi sampai seluruh konsentrasi adsorbat teradsorpsi ke dalam adsorben. Saat kondisi kesetimbangan tercapai, perpindahan adsorbat ke dalam adsorben akan berhenti. Pada kondisi ini, dapat dihitung besarnya distribusi solut yang teradsorpsi antara fase padat dan cair. Besarnya distribusi ini dinyatakan dengan efisiensi adsorpsi adsorbat oleh adsorben. Kecepatan adsorpsi dapat terjadi karena pengaruh difusi eksternal, difusi internal, atau kombinasi antara keduanya. Difusi eksternal merupakan perpindahan adsorbat dari larutan ke dalam fase cair lapisan adsorben. Difusi internal akan mengontrol perpindahan adsorbat dari permukaan luar adsorben ke dalam permukaan dalam adsorben yang berupa pori-pori adsorben (Karthikeyan, *et al.*, 2010). Melalui hasil perhitungan menggunakan model kinetika *Intra Particle Diffusion Model* (IPDM), dapat diketahui bahwa proses adsorpsi yang berlangsung pada adsorben kulit pisang dipengaruhi oleh adanya difusi partikel adsorbat ke dalam adsorben yang terjadi baik difusi eksternal maupun difusi internal. Model kinetika IPDM dapat digunakan untuk menggambarkan mekanisme difusi yang terjadi di dalam partikel adsorben saat proses adsorpsi berlangsung.

3.7. Studi Isoterm Adsorpsi

Regresi linear paling sering digunakan dalam menentukan isoterm yang paling baik untuk dijadikan model adsorpsi (Ho, 2006). Pada pemilihan model isoterm adsorpsi logam Cr total dan Zn dengan kulit pisang ini menggunakan metode mencari nilai koefisien regresi atau R^2 yang paling mendekati angka 1.

Tabel 3. Nilai R^2 Masing-Masing Persamaan Isoterm

Persamaan Isoterm	Nilai R^2 Adsorpsi Cr	Nilai R^2 Adsorpsi Zn
Freundlich	0,1395	0,7923
Langmuir-1	0,1308	0,3153
Langmuir-2	0,0305	0,1940
Langmuir-3	0,0122	0,0159
Langmuir-4	0,0122	0,0159
BET	0,5336	0,8914

R^2 yang dihasilkan dari masing-masing persamaan memiliki nilai yang berbeda-beda, hal ini dikarenakan setiap persamaan isoterm mempunyai asumsi yang berbeda-beda tentang mekanisme adsorpsi yang terjadi antara logam Cr total dan Zn pada adsorben kulit pisang. Berdasarkan Tabel 2., nilai R^2 terbesar untuk logam Cr total dan Zn diperoleh melalui persamaan isoterm BET, dengan nilai masing-masing 0,5336 dan 0,8914, sehingga isoterm BET dapat menggambarkan mekanisme adsorpsi yang lebih baik dibandingkan persamaan isoterm lainnya. Berdasarkan hal tersebut, maka persamaan yang akan dipilih untuk dijadikan model adsorpsi adalah isoterm BET. Dengan dipilihnya isoterm BET sebagai model adsorpsi, maka proses adsorpsi logam Cr total dan Zn dari air limbah elektroplating dengan menggunakan kulit pisang terjadi secara multilayer, dimana akan terbentuk lebih dari satu layer pada permukaan adsorben. Selain itu, terbentuknya lapisan multilayer juga menandakan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara fisika, hal ini juga ditandai dengan adanya gaya Van-Der-Waals yang menyebabkan terbentuknya lapisan adsorbat kedua, ketiga, dan seterusnya pada permukaan adsorben. Karena proses adsorpsi terjadi secara fisika, maka energi yang menyebabkan ikatan antara adsorbat dengan adsorben relatif lemah, sehingga menyebabkan kemungkinan terjadinya desorpsi pada beberapa bagian permukaan adsorben. Proses adsorpsi juga akan berlangsung lebih baik pada temperatur yang rendah dan tekanan yang lebih tinggi (Christmann, 2010).

Tabel 4. Model Adsorpsi dari Isoterm BET

Model Adsorpsi		q_e (mg/g)
Logam Cr total	$q_e = \frac{5,7240 \cdot 8,2019 \cdot C_e}{(C_0 - C_e)[1 + (8,2019 - 1) \left(\frac{C_e}{C_0}\right)]}$	0,514
Logam Zn	$q_e = \frac{2,8369 \cdot 54,2308 \cdot C_e}{(C_0 - C_e)[1 + (54,2308 - 1) \left(\frac{C_e}{C_0}\right)]}$	2,377

Sedangkan untuk uji kontinyu, pemilihan model isoterm untuk menggambarkan mekanisme proses adsorpsi yang baik dilakukan dengan menentukan nilai R^2 yang paling besar. Berikut ini adalah nilai R^2 dari masing-masing persamaan.

Tabel 5. Nilai R^2 Masing-Masing Persamaan

	Cr Total	Zn
Debit 60 mL/menit		
Thomas	0,0008	0,5406
Adam-Bohart	0,3013	0,5244
Yoon-Nelson	0,0008	0,5406
Debit 75 mL/menit		
Thomas	0,6223	0,538
Adam-Bohart	0,0228	0,5241
Yoon-Nelson	0,6223	0,538
Debit 90 mL/menit		
Thomas	0,1567	0,473
Adam-Bohart	0,0902	0,3329
Yoon-Nelson	0,1567	0,3365

Berdasarkan hasil pemetaan grafik persamaan isoterm Thomas, Adam-Bohart, dan Yoon-Nelson untuk adsorpsi logam Cr total dan Zn pada variasi debit 60 mL/menit, 75 mL/menit, dan 90 mL/menit, maka didapatkan hasil bahwa nilai R^2 paling besar dihasilkan melalui persamaan Thomas dan Yoon-Nelson, untuk adsorpsi logam Cr total dan Zn, masing-masing pada variasi debit 60 mL/menit dan 75 mL/menit. Pemilihan model persamaan berdasarkan nilai R^2 yang paling besar, karena nilai R^2 yang besar dan mendekati 1 dapat menggambarkan mekanisme proses adsorpsi yang lebih baik. Namun, nilai R^2 terbesar dari persamaan Thomas nilainya sama dengan R^2 yang dihasilkan dari persamaan Yoon-Nelson. Menurut Sekhula, et al (2012), isoterm Thomas adalah persamaan yang paling sering digunakan sebagai model performa adsorpsi dalam kolom. Selain itu, dalam perancangan desain reaktor untuk aplikasi adsorpsi diperlukan hasil perhitungan berupa massa adsorben yang dibutuhkan, sehingga persamaan yang digunakan adalah isoterm Thomas. Model persamaan terpilih untuk adsorpsi logam Cr total dan Zn adalah sebagai berikut.

Tabel 6. Model Persamaan Uji Kontinyu

	Persamaan
Cr Total	$\ln \left[\frac{C_o}{C_e} - 1 \right] = \frac{4,539 \cdot 10^{-5} \cdot 4,074 \cdot X}{Q} - \frac{kT \cdot C_o}{Q} \cdot V_{Ef}$
Zn	$\ln \left[\frac{C_o}{C_e} - 1 \right] = \frac{2,230 \cdot 10^{-3} \cdot 0,388 \cdot X}{Q} - \frac{kT \cdot C_o}{Q} \cdot V_{Ef}$

KESIMPULAN

Adsorben yang diaktivasi selama 24 jam mampu menyisihkan logam lebih baik daripada adsorben yang hanya diaktivasi selama 8 jam dan 16 jam dengan kemampuan adsorpsi maksimal sebesar 60,90% untuk logam Cr total dan 100% untuk logam Zn.

Sedangkan debit aliran akan mempengaruhi waktu breakthrough pada uji kontinyu. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa waktu breakthrough paling cepat terjadi dengan debit 90 mL/menit pada menit ke 510.

Persamaan isoterm yang dipilih sebagai model adsorpsi untuk uji batch adalah isoterm BET, sedangkan untuk uji kontinyu adalah isoterm Thomas. Berikut ini adalah model persamaan yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bernard, E., & Jimoh, A. (2013). *Adsorption Of Pb , Fe , Cu , And Zn From Industrial Electroplating Wastewater By Orange Peel Activated Carbon*. International Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 4 no. 2, hal. 95–103. ISSN: 2305-8269
- Budiono & Sumardiono, Siswo. (2013). *Teknik Pengolahan Air*. Graha Ilmu: Semarang
- Eckenfelder, W. Wesley. (2000). *Industrial Water Pollution Control 3rd Edition*. McGraw Hill: Singapore
- Hartanto, S., & Ratnawati. (2010). *Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia*. Jurnal Sains Materi Indonesia Vol. 12 no. 1, hal. 12–16. ISSN: 1411-1098
- Ho, Y. S. (2006). *Isotherms For The Sorption Of Lead Onto Peat: Comparison Of Linear And Non-Linear Methods*. Polish Journal of Environmental Studies Vol. 15 no. 1, hal. 81-86.
- Holmberg, Jenny Perez. (2006). *Competitive Adsorption and Displacement Behaviour of Heavy Metals on Peat*. Master's Thesis, Division of Water Environment Technology, Chalmers University of Technology. Göteborg: Sweden
- Hossain, M. a, Ngo, H. H., Guo, W. S., & Nguyen, T. V. (2012). *Removal Of Copper From Water By Adsorption Onto Banana Peel As Bioadsorbent*. International Journal of Geomate, Japan Vol. 2 no. 2, hal. 227–234. ISSN: 2186-2982
- Ju, & Ibe Uzuma, O. (2014). *Adsorption Studies of Heavy Metals by Low-Cost Adsorbents*. Journal of Application Environmental Management, Vol. 18 (3), 443-448, ISSN: 1119-8362
- Karthikeyan, S., Sivakumar, B., & Sivakumar, N. (2010). *Film and Pore Diffusion Modeling for Adsorption of Reactive Red 2 from Aqueous Solution on to Activated Carbon Prepared from Bio-Diesel Industrial Waste*. E-Journal of Chemistry, 7(s1), S175–S184, ISSN: 0973-4945
- Lestari, S. (2010). *Pengaruh Berat Dan Waktu Kontak Untuk Adsorpsi Timbal (II) Oleh Adsorben Dari Kulit Batang Jambu Biji (Psidium Guajava L.* Jurnal Kimia Mulawarman, Vol. 8 (1), ISSN: 1693-5616.
- Manocha, S. M. (2003). *Porous Carbons*. *Sadhana Journal*, Vol. 28 no. 1-2, hal. 335–348. India
- Metcalfe & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse 4th Edition*. McGraw Hill Companies, USA
- Montgomery, James M. & Consulting Engineers, Inc. (1985). *Water Treatment Principles and Design*. John Wiley & Sons, Inc. USA
- Republik Indonesia. (1995). *Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri*. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup: Kep-51/MENLH/10/1995
- Reynolds, Tom D., & Richards, Paul A. (1996). *Unit Operations and Process in Environmental Engineering 2nd Edition*, PWS Publishing Company, Boston, MA: USA
- Rocha, P. D., Franca, A. S., & Oliveira, L. S. (2015). *Batch and Column Studies of Phenol Adsorption by an Activated Carbon Based on Acid Treatment of Corn Cobs*. IACSIT International Journal of Engineering and Technology Brazil, Vol. 7 no. 6, hal. 456-464.
- Salimin, Z., Nurifitriyani, I., & Nurhasni. (2013). *Pengolahan Limbah Industri Elektroplating dengan Proses Koagulasi Flokulasi*. Jurnal Valensi Vol. 3 no. 1, hal. 305–314, ISSN: 1978-8193.
- Sari, Y. A. (2011). *Teknik Pengolahan Limbah Elektroplating dengan Pemanfaatan Kembali Limbah Elektroplating*. Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta
- Sathasivam, K., & Haris, M. R. H. M. (2010). *Banana Trunk Fibers As An Efficient Biosorbent For The Removal Of Cd(II), Cu(II), Fe(II) And Zn(II) From Aqueous Solutions*. Journal of the Chilean Chemical Society, Vol. 55 no. 2, hal. 278–282. Penang: Malaysia
- Sekhula, M. M., Okonkwo, J. O., Zvinowanda, C. M., Agyei, N. N., & Chaudhary, A. J. (2012). *Chemical Engineering & Process Technology Fixed bed Column Adsorption of Cu (II) onto Maize Tassel-PVA Beads*. Journal of Chemical Engineering & Process Technology, Vol. 3 no. 2, hal. 2–6. ISSN: 2157-7049 JECPT
- Sri Wahyuni Nasir, N., Nurhaeni, & Musafira. (2014). *Pemanfaatan Arang Aktif Kulit Pisang Kepok (Musa Normalis) Sebagai Adsorben untuk Menurunkan Angka Peroksida dan Asam Lemak Bebas Minyak Goreng*. Online Journal of Natural Science, Vol. 3 no. 1, hal. 18–30, ISSN: 2338-0950