

## PENGARUH VARIASI UKURAN ADSORBEN DAN DEBIT ALIRAN TERHADAP PENURUNAN KHROM (Cr) DAN TEMBAGA (Cu) DENGAN ARANG AKTIF DARI LIMBAH KULIT PISANG PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI PELAPISAN LOGAM (ELEKTROPLATING) KROM

Rahma Shafirinia \*), Irawan Wisnu Wardana\*\*), Wiharyanto Oktiawan\*\*)

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Sudarto, SH Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

Email: [rahmashafirinia@yahoo.co.id](mailto:rahmashafirinia@yahoo.co.id)

### Abstrak

Industri elektroplating yang menghasilkan limbah logam berat, salah satunya adalah logam berat Cu dan Cr. Pembuangan limbah logam berat Cu dan Cr ke lingkungan dengan konsentrasi yang besar, sangat membahayakan bagi lingkungan. Adsorpsi adalah salah satu metode yang efektif untuk mengolah logam berat. Kulit pisang yang tidak digunakan membuat kulit pisang bernilai rendah sehingga sangat efektif digunakan sebagai bahan utama karbon aktif dan memiliki kandungan karbon yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui persen penurunan kandungan logam berat Cu dan Cr dengan proses batch dan kontinyu. Pada proses batch digunakan variasi konsentrasi limbah logam berat (25% dan 100%), ukuran media adsorben (10-40; 40-100; dan 100-200 mesh). Sedangkan pada proses kontinyu digunakan variasi debit aliran (50; 75 dan 100 mL/menit). Pada proses batch menggunakan jarrest dengan kecepatan 90 rpm selama 60 menit, didapat penurunan paling efektif pada ukuran media adsorben 40-100 mesh dengan efisiensi penyisihan sebesar 35-72% pada logam berat Cr, sedangkan pada logam berat Cu penyisihan sebesar 85-96%. Pada proses kontinyu dengan tinggi media adsorben pada kolom setinggi 65 cm dan diameter 1 inch, didapat penyisihan paling efektif terjadi pada kolom dengan debit 50 mL/menit, yaitu sebesar 58% pada logam berat Cr, dan 96% untuk penurunan logam berat Cu.

**Kata Kunci:** air limbah industri elektroplating, Tembaga, Khromium, Adsorpsi, Kulit Pisang

### Abstract

[The Effect of Adsorbent Size and Flow Rate to Reduce Cr and Zn Using Banana Peel Activated Carbon from Electroplating Wastewater]. Electroplating industries generating heavy metal waste, one of which is a heavy metal Cu and Cr. Waste disposal of heavy metals Cu and Cr into the environment with great concentration, very harmful for the environment. Adsorption is one of the effective methods for treating heavy metals. Unused banana peels make low-value banana peel so it is effectively can be used as the main material and the active carbon comprises has a high carbon precentage. The purpose of this study was to determine the percent reduction in heavy metal content of Cu and Cr with batch and continuous processes. In the batch process is used variations in the concentration of heavy metal waste (25% and 100%), adsorbent media size (10-40; 40-100; and 100-200 mesh). While in the continuous process used variations of flow (50; 75 and 100 mL / min). In the batch process using jarrest at a speed of 90 rpm for 60 minutes, gained the most effective decrease in size of 40-100 mesh adsorbent media with removal efficiency of 35-72% on heavy metals Cr, whereas the heavy metals Cu allowance amounting to 85-96%. In the continuous process with high adsorbent media in the column height 65 cm and a diameter of 1 inch, the most effective elimination occurs in the debit column of 50 mL / min, 58% on heavy metals Cr, and 96% to the decline of heavy metals Cu.

**Keywords:** industrial waste water electroplating, copper, chromium, Adsorption, Banana Peel

### I. PENDAHULUAN

Industri pelapisan logam (Elektroplating) Krom merupakan salah satu industri yang menghasilkan limbah berupa logam berat Logam berat banyak digunakan karena sifatnya yang dapat menghantarkan listrik dan panas serta dapat membentuk logam paduan dengan logam lain. Pada industri pelapisan logam (elektroplating), salah satu

limbah logam beratnya adalah Khrom (Cr) dan Tembaga (Cu).

Salah satu alternatif lain dalam pengolahan limbah yang mengandung logam berat adalah penggunaan bahan-bahan biologis sebagai adsorben. Keuntungan penggunaan proses adsorpsi diantaranya adalah biaya yang relatif murah, efisiensi tinggi pada larutan encer, minimalisasi

pembentukan lumpur, serta kemudahan proses regenerasinya (Ashraf, 2010; Kurniasari 2014)

Limbah produk pertanian merupakan limbah organik yang tentunya akan sangat mudah ditemukan dalam jumlah besar. Pemanfaatan dan penggunaan limbah pertanian sebagai bahan baku adsorpsi selain dapat membantu mengurangi volume limbah juga dapat memberdayakan limbah menjadi suatu produk yang mempunyai nilai jual. Oleh karena itu, potensi limbah pertanian sangat besar untuk digunakan sebagai bahan baku biosorben logam berat (Kurniasari, 2010). Dalam penelitian ini, adsorben yang akan digunakan adalah adsorben dengan metode karbon aktif yang terbuat dari limbah kulit pisang.

### Tujuan Penelitian

1. Menganalisis persen efektifitas penurunan kandungan logam berat Tembaga (Cu) dan Krom (Cr) pada limbah cair industri pelapisan logam (Elektroplating) Krom dengan menggunakan proses adsorpsi media kulit pisang.
2. Menganalisis pengaruh variasi jenis ukuran media, konsentrasi air limbah dan dosis adsorben pada adsorpsi limbah kulit pisang terhadap penurunan kandungan logam berat Tembaga (Cu) dan Krom (Cr) pada limbah cair industri pelapisan logam (Elektroplating) Krom pada proses batch.
3. Menganalisis pengaruh variasi debit aliran pada adsorpsi limbah kulit pisang terhadap penurunan kandungan logam berat Tembaga (Cu) dan Krom (Cr) pada limbah cair industri pelapisan logam (Elektroplating) Krom pada proses kontinyu.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### Kulit Pisang

Menurut Hanifah dalam Tyas 2008, pisang (*Musa paradisiaca L*) merupakan tanaman buah-buahan yang tumbuh dan tersebar di seluruh Indonesia.

Pemilihan kulit pisang didasari karena buah pisang merupakan buah yang mudah untuk didapatkan di Indonesia dan kulit pisang adalah salah satu bagian yang tidak digunakan oleh masyarakat. Kulit pisang yang tidak digunakan membuat kulit pisang bernilai rendah sehingga sangat efektif digunakan sebagai bahan utama karbon aktif. Disamping itu, kulit pisang merupakan bahan organik di alam, sehingga 100%

*biodegradable* dan ramah lingkungan. Paling terpenting adalah, kulit pisang memiliki kandungan karbon yang sangat tinggi, sehingga dapat memproduksi karbon aktif untuk mengurangi limbah logam berat maupun minyak dan lemak pada limbah industri (Memon, et al, 2008; Hoong, 2013)

### Adsorpsi

Adsorpsi merupakan terjerapnya suatu zat (molekul atau ion) pada permukaan adsorben. Mekanisme penyerapan tersebut dapat dibedakan menjadi dua yaitu, jerapan secara fisika (fisisorpsi) dan jerapan secara kimia (kemisorpsi).

Pada proses fisisorpsi gaya yang mengikat adsorbat oleh adsorben adalah gaya van der Waals. Sedangkan pada proses adsorpsi kimia, interaksi adsorbat dengan adsorben melalui pembentukan ikatan kimia. Kemisorpsi terjadi diawali dengan adsorpsi fisik, yaitu partikel-partikel adsorbat mendekati ke permukaan adsorben melalui gaya van der Waals atau melalui ikatan hidrogen. Kemudian diikuti oleh adsorpsi kimia yang terjadi setelah adsorpsi fisika. Dalam adsorpsi kimia partikel melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia (biasanya ikatan kovalen), dan cenderung mencari tempat yang memaksimalkan bilangan koordinasi dengan substrat (Atkins 1999; Sukarta, 2008)

Adsorpsi fisik dapat meningkat dengan semakin tingginya konsentrasi, tetapi akan semakin kecil jika suhu dinaikkan. Pada *chemisorpsi* mencakup pembentukan ikatan kimia. Oleh karena itu sifatnya lebih spesifik daripada adsorpsi fisik. Pada adsorpsi ini ikatannya sangat ketat sehingga spesies aslinya tak dapat ditemukan. Laju adsorpsi dapat cepat atau lambat tergantung pada energi aktivasi. Adsorpsi fisik suatu zat dapat terjadi pada suhu rendah dan zat dapat ter-*chemisorpsi* bila suhu dinaikkan (Alwathan, 2013).

### Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi menunjukkan bagaimana terjadinya adsorpsi molekul yang terdistribusi antara fase padat dan fase cair sewaktu proses adsorpsi mencapai kesetimbangan (Rahmadani, 2013). Dalam menentukan isoterm adsorpsi dapat digunakan beberapa model diantaranya Isoterm Langmuir, Isoterm Freundlich dan Isoterm BET

### Isoterm Langmuir

Isoterm adsorpsi ini mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (monolayer) adsorbat dipermukaan

adsorben dan tempat adsorpsi bersifat homogen (Murdika, 2009).

Persamaan untuk isoterm adsorpsi Langmuir dapat ditulis sebagai berikut (Rahmadani, 2013):

$$qe = \frac{qm \cdot Ka \cdot Ce}{1 + Ka \cdot Ce} \text{ atau } \frac{Ce}{qe} = \frac{1}{qm} Ce + \frac{1}{Ka \cdot qm}$$

Dimana:

$qe$  atau  $x/m$  = kapasitas adsorpsi (mg/g)  
 $qm$  = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)  
 $K$  = Konstanta kesetimbangan Langmuir (L/mg)  
 $Ce$  = konsentrasi pada saat setimbang (mg/L)

#### Isoterm Freundlich

Isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa terdapat lebih dari satu lapisan permukaan (multilayer) dan *site* bersifat heterogen, yaitu adanya perbedaan energi pengikat pada tiap-tiap *site*, dan tiap molekul mempunyai potensi penyerapan yang berbeda-beda (Murdika, 2009)

Persamaan untuk isoterm adsorpsi Freundlich dapat ditulis sebagai berikut (Tandy, 2012):

$$q = Kf \cdot Ce^{\frac{1}{n}} \text{ atau } \log(qe) = \log(Kf) + 1/n \cdot \log(Ce)$$

Dimana:

$X/m$  atau  $q$  = kapasitas adsorpsi (mg/g)  
 $K$  = Konstanta Freundlich  
 $c$  = Konsentrasi adsorbat dalam larutan pada saat kesetimbangan (mg/L)  
 $1/n$  = Ketidakinieran (tanpa satuan)

#### Isoterm BET (Brunauer, Emmet and Teller)

Persamaan BET mendekati asumsi pada model persamaan Langmuir, namun proses adsorpsi tidak hanya terjadi secara *monolayer* tetapi juga *multilayer*, molekul yang terserap tidak berpindah ke permukaan, untuk memulai pada lapisan yang lain, lapisan sebelumnya tidak harus penuh. Adsorpsi pada lapisan pertama terjadi dengan energi dari persamaan adsorpsi sesuai dengan isoterm Langmuir, sedangkan pada lapisan berikutnya pada lapisan pertama terjadi melalui kondensasi.

Isoterm BET memiliki persamaan:

$$qe = \frac{qs \cdot CBET \cdot Ce}{(Co - Ce)[1 + (CBET - 1)(\frac{Ce}{Co})]}$$

dengan bentuk linear:

$$\frac{Ce}{qe(Co - Ce)} = \frac{1}{qs \cdot CBET} + \frac{(CBET - 1)}{qs \cdot CBET} \cdot \frac{Ce}{Co}$$

Dimana:

$C_{BET}$  = adsorpsi isoterm BET (L/mg)  
 $Co$  = konsentrasi awal larutan (mg/L)  
 $Ce$  = konsentrasi kesetimbangan sebuah larutan (mg/L)  
 $qs$  = kapasitas isoterm (mg/g)  
 $qe$  = kapasitas isoterm kestimbangan (mg/g)

#### Isoterm Thomas

Persamaan Thomas merupakan penurunan dari rumus Bohart dan Adams (1920). Berikut adalah rumus Thomas untuk kolom adsorpsi (Reynold, 1982; Hadiwidodo, 2008):

$$\frac{C}{Co} = \frac{1}{1 + e^{kT/Q(qo \cdot M - Co \cdot V)}}$$

Dimana:

$C$  = Konsentrasi efluen (mg/L)  
 $Co$  = Konsentrasi Influen (mg/L)  
 $k_T$  = Konstanta kecepatan adsorpsi (m/mg.s)  
 $M$  = Massa adsorben (gr)  
 $V$  = volume total efluen (L)  
 $Q$  = Laju air limbah (ml/s)  
 $qo$  = kapasitas jerap (mg/g)

#### Isoterm Yan

Menurut Pokhrel and Viraraghvan (2008) dalam Prasetya (2013), model Yan merupakan suatu persamaan empiris yang bisa mengatasi kelemahan Model Thomas khususnya dalam mempredikso konsentrasi limbah pada waktu nol. Model Yan dituliskan sebagai berikut:

$$\ln \left[ \frac{Ce}{Co - Ce} \right] = a \ln V - a \ln f$$

Dengan:

$$f = \frac{k_y \cdot x \cdot q_y \cdot x \cdot W}{Q} \text{ dan } a = \frac{k_y \cdot x \cdot Co}{Q}$$

Dimana:

$V$  = Volume limbah (mL)  
 $k_y$  = konstanta kinetika pada model Yan (mL/mg/menit)  
 $q_y$  = kapasitas adsorpsi pada model Yan (mg/g)  
 $Q$  = Debit cairan yang melewati kolom (mL/menit)  
 $Co$  = Konsentrasi awal limbah sebelum adsorpsi (mg/L)  
 $Ce$  = konsentrasi limbah setelah melewati kolom adsorpsi (mg/L)  
 $W$  = Massa adsorben (gram)

#### Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon,

dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Karbon aktif selain digunakan sebagai bahan bakar, juga dapat digunakan sebagai adsorben (penyerap). Daya serap ditentukan oleh luas permukaan partikel dan kemampuan ini dapat menjadi lebih tinggi jika terhadap karbon aktif tersebut dilakukan aktivasi dengan aktif faktor bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi (Jayaswabowo, 2008).

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### Proses Karbonisasi

Berikut prosedur kerja pembuatan arang kulit pisang (Lestari, 2011; Nasir, 2014):

1. Kulit pisang yang berasal dari sumber dikumpulkan dan kemudian dibersihkan dengan air bersih.
2. Kulit pisang yang telah dibersihkan kemudian dipotong kecil-kecil dan dikeringkan dibawah sinar matahari selama  $\pm 3$  hari.
3. Setelah kulit pisang dikeringkan, tahap selanjutnya adalah kulit pisang dibungkus ke dalam *aluminium foil* yang dibungkus dengan rapat agar tidak ada celah yang dapat mengganggu proses karbonisasi. Kemudian kulit pisang yang telah terbungkus *aluminium foil* dimasukkan ke dalam furnace selama 2 jam pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$ , sampai kulit pisang berubah menjadi arang

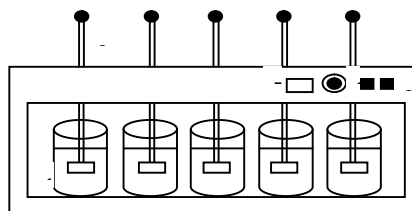
#### Proses Pengaktifan Adsorben

1. Arang kulit pisang yang telah di karbonisasi disimpan dan didinginkan didalam desikator sebelum digunakan.
2. Setelah disimpan di dalam desikator, kemudian arang dihaluskan dengan lumpang dan alu, setelah arang halus kemudian arang diayak menggunakan ayakan dengan ukuran yang bervariasi, yaitu 10-40 mesh; 40-100 mesh; dan 100-200 mesh. Pengayakan 10-40 mesh menggunakan arang yang lolos pada ukuran 10 mesh dan tertahan pada ukuran 40 mesh, ukuran pada arang ini berbentuk *granular*. Pada pengayakan 40-100 mesh dan 100-200, kedua ukuran arang ini berbentuk *powder*.
3. Tahap selanjutnya adalah arang diaktivasi dengan larutan NaOH 1 N dengan cara pengadukan antara arang aktif dengan larutan NaOH kemudian direndam selama 24 jam.
4. Setelah di aktivasi selama 24 jam, arang kemudian kemudian dicuci dengan akuades

hingga pH netral karena pH arang aktif terlalu basa, lalu disaring dengan kertas saring sehingga adsorben tidak ikut terbawa dengan air cucian.

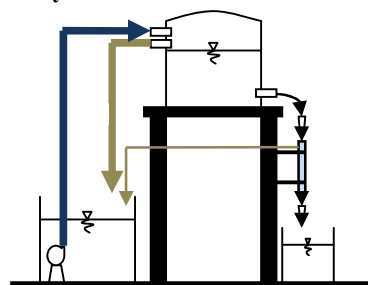
5. Setelah proses netralisasi, arang dikeringkan dalam oven pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$  untuk mengurangi kadar airnya dan disimpan lagi dalam desikator.

#### Uji Batch



1. Siapkan arang aktif dengan 3 variasi ukuran media adsorben (10-40 mesh; 40-100 mesh; dan 100-200 mesh) kedalam 12 gelas beker tersebut sebanyak 2,5 gram
2. Masukkan air limbah dengan konsentrasi 25% dan 100% sebanyak 250 ml ke dalam masing-masing 12 gelas beker yang berukuran 500 ml
3. Lakukan pengadukan dengan menggunakan jartest selama 60 menit dengan kecepatan pengadukan sebesar 90 rpm (Rahmadani, 2013)
4. Lalu pengambilan sample sebanyak 25 ml dengan selang waktu 30 menit selama 3 jam dilakukan dengan metode duplo. Saring sampel menggunakan kertas saring, lalu uji dengan menggunakan AAS

#### Uji Kontinyu

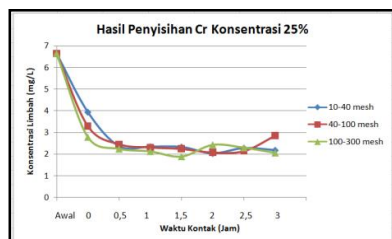


1. Penelitian menggunakan 3 buah kolom
2. Kolom-kolom dengan ketinggian 100 cm diisi dengan adsorben setinggi 65 cm. Hal ini didasarkan pada kriteria desain dimana diameter minimum 1 inchi (2,54 cm) dan ketinggian kolom minimum 24 inchi (60,96) (Reynolds, 1982).

3. Alat dioperasikan dengan mengalirkan sampel limbah dengan konsentrasi 100% secara gravitasi kebawah secara terus menerus dari bak penampung umpun.
4. Sampel diambil dengan volume 25 mL dalam selang 30 menit sekali selama 5 jam
5. Pada setiap pengambilan sampel, larutan sampel terlebih dahulu disaring menggunakan kertas saring. Lakukan pengukuran sample dengan menggunakan AAS.

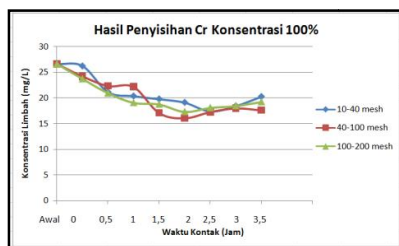
#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Uji Batch Cr



Gambar 4.1

##### Grafik Hasil Penyisihan Logam Berat Cr pada Konsentrasi Limbah 25%



Gambar 4.2

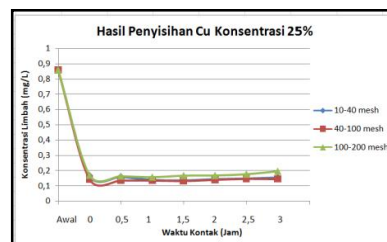
##### Grafik Hasil Penyisihan Logam Berat Cr pada Konsentrasi Limbah 100%

Berdasarkan Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 diatas, grafik tersebut menunjukkan pada konsentrasi air limbah 6,65 mg/L memiliki hasil penyisihan logam berat Cr yang lebih kecil daripada penyisihan pada konsentrasi limbah 100%, yaitu penyisihan sebesar 4,76 mg/L pada konsentrasi limbah 6,65 mg/L dan 10,52 mg/L pada konsentrasi limbah 26,6 mg/L. Titik optimum pada limbah dengan konsentrasi 6,65 mg/L lebih cepat terjadi daripada titik optimum pada limbah dengan konsentrasi 26,6 mg/L. Pada konsentrasi limbah 6,65 mg/L, titik optimum terjadi pada menit ke 90 dengan efisiensi penyisihan sebesar 71,6%, sedangkan pada konsentrasi limbah 26,6 mg/L, titik optimum terjadi pada menit ke 120 dengan efisiensi penyisihan sebesar 34,9%.

Dilihat dari Gambar 4.1 dan Gambar 4.2, penyisihan tertinggi pada limbah dengan konsentrasi 6,65 mg/L terjadi pada ukuran media 100-200 mesh yaitu sebesar 71,6%. Hal ini terjadi dikarenakan semakin kecil ukuran media karbon aktif, maka luas permukaan kontak antara karbon aktif dengan ion dalam logam berat semakin besar, sehingga makin banyak ion-ion yang tersisihkan (Rahmawati, 2009). Kecepatan tingkat adsorpsi juga berpengaruh terhadap ukuran media. Pada ukuran media 100-200 mesh, memiliki kecepatan adsorpsi lebih tinggi daripada ukuran media 10-40 mesh dan 40-100 mesh. Penyisihan tertinggi pada adsorben dengan ukuran media 100-200 mesh terjadi pada waktu kontak ke- 90 menit. Sedangkan pada ukuran media 10-40 dan 40-100 mesh, penyisihan tertinggi terjadi pada waktu kontak ke-120 menit.

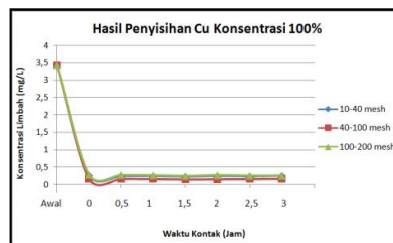
Menurut Eckenfelder (2000) dalam Hadiwidodo (2008) pada proses adsorpsi, 50% kesetimbangan akan terjadi setelah 2 jam. Lebih dari 2 jam dapat dipastikan lebih dari 90% kesetimbangan sudah terbentuk. Adsorpsi dibagi menjadi 2 tahap, yaitu; tahap pertama adalah tahap yang secara kuantitatif dominan dan biasanya terjadi diawal proses adsorpsi. Laju proses adsorpsi cepat dan biasanya terjadi pada 15 menit pertama. Sedangkan tahap kedua adalah tahap yang lebih lambat dan secara kuantitatif tidak signifikan, apabila diteruskan maka presentasi adsorpsi akan menurun (Satasivam dan Haris, 2010; Kurniasari, 2014)

##### Uji Batch Cu



Gambar 4.3

##### Grafik Hasil Penyisihan Logam Berat Cu pada Konsentrasi Limbah 25%





**Gambar 4.4**  
**Grafik Hasil Penyisihan Logam Berat Cu pada**  
**Konsentrasi Limbah 100%**

Limbah dengan konsentrasi 25% memiliki konsentrasi awal sebesar 0,86 mg/L, sedangkan limbah dengan konsentrasi 100% memiliki konsentrasi awal sebesar 3,43 mg/L. Berdasarkan Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 diatas, grafik tersebut menunjukkan pada konsentrasi air limbah 0,86 mg/L memiliki hasil penyisihan logam berat Cu yang lebih kecil daripada penyisihan pada konsentrasi limbah 3,43 mg/L, yaitu penyisihan sebesar 0,72 mg/L pada konsentrasi limbah 0,86 mg/L dan 3,28 mg/L pada konsentrasi limbah 3,43 mg/L. Titik optimum pada limbah dengan konsentrasi 0,86 mg/L relatif sama dengan limbah di konsentrasi 3,43 mg/L. Pada konsentrasi limbah 0,86 mg/L, titik optimum terjadi pada menit ke 90 dengan efisiensi penyisihan sebesar 84,5%, begitu juga dengan titik optimum pada limbah dengan konsentrasi 3,43 mg/L, titik optimum terjadi pada menit ke 90 dengan efisiensi penyisihan sebesar 95,7%.

Dilihat dari Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, penyisihan tertinggi pada limbah dengan konsentrasi 0,86 mg/L terjadi pada ukuran media 40-100 mesh yaitu sebesar 84,5%. Hal ini terjadi dikarenakan luas area yang terlalu besar menyebabkan berkurangnya kekuatan fisik bahan, sehingga dapat membatasi pemanfaatan. Luas area yang terlalu besar menyebabkan banyaknya mikropori, mikropori inilah yang akan menghambat adsorpsi molekul yang berukuran besar, sehingga penyisihan logam berat Cu dengan konsentrasi limbah 0,86 mg/L lebih besar terjadi pada ukuran media 40-100 mesh, karena ukuran media 100-200 mesh terlalu besar sehingga penyisihan yang terjadi menjadi kurang efektif. Begitu juga dengan ukuran media 10-40 mesh yang terlalu kecil luas areanya sehingga penyisihan kandungan logam berat Cu tidak se-optimal pada ukuran 40-100 mesh.

**Pemilihan Isoterm Adsorpsi**

**Tabel 4.1 Pemilihan Nilai R<sup>2</sup>**

Persamaan Isoterm	Nilai R <sup>2</sup> Adsorpsi Cr	Nilai R <sup>2</sup> Adsorpsi Cu
Freundlich	0,709	0,919
Langmuir-1	0,725	0,843
Langmuir-2	0,631	0,761
Langmuir-3	0,895	0,982
Langmuir-4	0,895	0,982
BET	0,382	0,343

**Isoterm Logam Berat Cr Total**

1. Isoterm Langmuir 3  
 $y = 9,353x + 0,304$   
 $qe = y ; \frac{qe}{Ce} = x$   
 $qm = 0,304$   
 $Ka = 0,1069$

Penentuan Kapasitas Adsorpsi:

$$qe = \frac{qm \cdot Ka \cdot Ce}{1 + Ka \cdot Ce}$$

$$qe = \frac{0,304 \times 0,1069 \times Ce}{1 + 0,1069 \times Ce}$$

**Isoterm Logam Berat Cu**

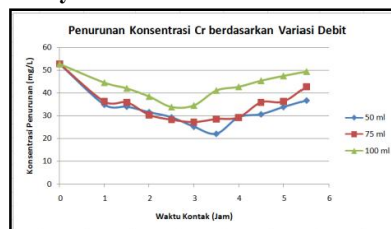
1. Isoterm Langmuir 4  
 $y = 0,368x + 0,080$   
 $\frac{qe}{Ce} = y ; qe = x$   
 $Ka = 0,368$   
 $qm = 0,217$

Penentuan Kapasitas Adsorpsi:

$$qe = \frac{qm \cdot Ka \cdot Ce}{1 + Ka \cdot Ce}$$

$$qe = \frac{0,2176 \times 0,368 \times Ce}{1 + 0,368 \times Ce}$$

**Uji Kontinyu Cr Total**



**Gambar 4.6**

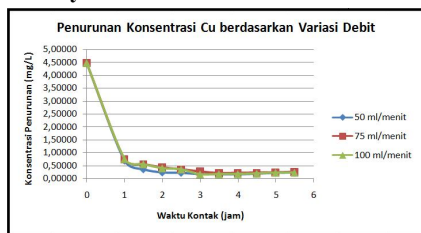
**Penurunan Konsentrasi Logam Berat Cr Total**  
**berdasarkan Variasi Debit**

Dari grafik diatas menggambarkan penurunan kandungan logam berat Cr Total dengan menggunakan 3 (tiga) variasi debit. Pada variasi debit 50 mL/menit menyebutkan bahwa penurunan logam berat Cr Total mengalami peningkatan terus menerus hingga jam ke 3,5 atau menit ke 210 dengan penurunan sebesar 30,6 mg/L atau 58,2% dari konsentrasi awal logam berat Cr Total. Sedangkan pada menit selanjutnya mengalami penurunan adsorpsi sehingga penurunan konsentrasi logam berat Cr Total tidak optimum lagi. Pada variasi debit 75 mL/menit, penurunan logam berat Cr Total tidak selama pada debit aliran 50 mL/menit. Pada debit aliran 75 mL/menit waktu optimumnya jatuh pada jam ketiga atau menit ke-180, yaitu penurunan sebesar 25,5 mg/L atau sebesar 48,3% dari konsentrasi awal logam berat Cr

Total. Dan pada menit selanjutnya, penyerapan ion logam berat Cr Total sudah ridak se-optimum pada menit ke-180. Sedangkan pada variasi debit aliran 100 mL/menit, waktu optimum penurunan konsentrasi logam berat Cr Total lebih cepat daripada debit aliran 50 mL/menit dan 75 mL/menit. Penurunan logam berat Cr Total optimum jatuh pada waktu kontak ke-2,5 jam atau menit ke-150, yaitu penurunan konsentrasi Cr Total sebanyak 19 mg/L atau sebesar 36% dari konsentrasi awal logam berat Cr Total. Dari grafik dapat dilihat bahwa semakin lama waktu adsorpsi, kadar logam Cr Total yang keluar dari kolom semakin naik. Hal ini disebabkan karena adsorben yang digunakan semakin lama akan menjadi jenuh, sehingga kemampuan adsorben untuk menyerap logam berat Cr Total menjadi berkurang. Apabila percobaan ini dilanjutkan dalam waktu yang lebih lama, maka tidak akan ada lagi logam Cr Total yang terjerap atau dengan kata lain konsentrasi logam berat Cr Total pada saat keluar kolom adsorben sama dengan konsentrasi logam berat Cr Total ketika masuk kolom adsorben (Danarto, 2007)

Menurut Mc Cabe (1990) dalam Rahmawati (2009) waktu yang terjadi untuk sampai pada titik tembus biasanya tercapai pada saat  $C_e/C_0 = 0,05$  sedangkan waktu untuk sampai pada titik jenuh pada saat  $C_e/C_0 = 0,95$ , berdasarkan gambar 4.18, pada debit limbah 50 mL/menit titik tembus terjadi pada waktu ke 240 menit sedangkan titik jenuh terjadi setelah waktu 330 menit. Pada debit limbah 75 mL/menit titik tembus terjadi pada waktu 210 menit sedangkan titik jenuh terjadi setelah waktu 330 menit. Pada debit limbah 100 mL/menit titik tembus waktu 180 menit sedangkan titik jenuh terjadi setelah waktu 330 menit. Pada keadaan ini, adsorben belum mencapai kondisi jenuh. Hal ini disebabkan karena terjadinya *channeling* dan/atau pada percobaan ini proses yang terjadi adalah multikomponen.

#### Uji Kontinyu Cu



Gambar 4.7

#### Penurunan Konsentrasi Logam Berat Cu berdasarkan Variasi Debit

Dari grafik diatas menggambarkan penurunan kandungan logam berat Cu dengan menggunakan 3 (tiga) variasi debit. Pada variasi debit 50 mL/menit menyebutkan bahwa penurunan logam berat Cu mengalami peningkatan terus menerus hingga jam ke 4 atau menit ke 240 dengan penurunan sebesar 4,30934 mg/L atau 96,3028% dari konsentrasi awal logam berat Cu. Sedangkan pada menit selanjutnya mengalami penurunan adsorpsi sehingga penurunan konsentrasi logam berat Cu tidak optimum lagi. Pada variasi debit 75 mL/menit, penurunan logam berat Cu tidak selama pada debit aliran 50 mL/menit. Pada debit aliran 75 mL/menit waktu optimumnya jatuh pada jam ke-3,5 atau menit ke-210, yaitu penurunan sebesar 4,26709 mg/L atau sebesar 95,3585% dari konsentrasi awal logam berat Cu. Dan pada menit selanjutnya, penyerapan ion logam berat Cu sudah tidak se-optimum pada menit ke-210. Sedangkan pada variasi debit aliran 100 mL/menit, waktu optimum logam berat Cu lebih cepat daripada debit aliran 50 mL/menit dan 75 mL/menit. Penurunan logam berat Cu optimum jatuh pada waktu kontak ke-3 jam atau menit ke-180, yaitu penurunan konsentrasi Cu sebanyak 4,30598 mg/L atau sebesar 96,22% dari konsentrasi awal logam berat Cu.

Menurut Mc Cabe (1990) dalam Rahmawati (2009) waktu yang terjadi untuk sampai pada titik tembus biasanya tercapai pada saat  $C_e/C_0 = 0,05$  sedangkan waktu untuk sampai pada titik jenuh pada saat  $C_e/C_0 = 0,95$ , berdasarkan gambar, pada debit limbah 50 mL/menit titik tembus terjadi pada waktu 270 menit sedangkan titik jenuh pada waktu ke 330 menit. Pada debit limbah 75 mL/menit titik tembus terjadi pada rentang waktu 240 menit sedangkan titik jenuh terjadi pada waktu 330 menit. Pada debit limbah 100 mL/menit titik tembus terjadi pada rentang waktu 210 menit sedangkan titik jenuh terjadi pada waktu 330 menit. Pada keadaan ini, adsorben belum mencapai kondisi jenuh. Hal ini disebabkan karena terjadinya *channeling* dan/atau pada percobaan ini proses yang terjadi adalah multikomponen. Setiap senyawa yang terkandung memiliki kecepatan adsorpsi ke dalam adsorben yang berbeda, sehingga zona transfer massa yang terbentuk menjadi sangat lebar (Prasetya, 2013)

### Penentuan Isoterm Adsorpsi

Tabel 4.2 Pemilihan Nilai R<sup>2</sup>

Persamaan Isoterm		Nilai R <sup>2</sup> Adsorpsi Cr	Nilai R <sup>2</sup> Adsorpsi Cu
Thomas	50 ml/min	0,076	0,608
	75 ml/min	0,305	0,731
	100ml/min	0,615	0,712
Yan	50 ml/min	0,06	0,871
	75 ml/min	0,224	0,931
	100ml/min	0,535	0,898

### Isoterm Kontinyu Logam Berat Cr

#### 1. Model Isoterm Thomas

$$\ln \left[ \frac{C_o}{C_e} - 1 \right] = \frac{kT \cdot q_o \cdot X}{Q} - \frac{kT \cdot C_o}{Q} \cdot V_{Ef}$$

#### Debit Aliran 50 mL/menit

$$y = -0,017x - 0,138$$

$$k_T = 2,68 \times 10^{-4} \text{ ml/mg.s}$$

$$q_o = 2,84 \text{ mg/g}$$

#### Debit Aliran 75 mL/menit

$$y = -0,030x - 0,075$$

$$k_T = 7,1 \times 10^{-4} \text{ ml/mg.s}$$

$$q_o = 0,093 \text{ mg/g}$$

#### Debit Aliran 100 mL/menit

$$y = -0,060x - 0,229$$

$$k_T = 1,9 \times 10^{-3} \text{ ml/mg.s}$$

$$q_o = 1,28 \text{ mg/g}$$

### Isoterm Kontinyu Logam Berat Cu

#### 1. Model Isoterm Yan

$$\ln \left[ \frac{C_e}{C_o - C_e} \right] = a \ln V - a \ln f$$

#### Debit Aliran 50 mL/menit

$$y = -1,218x - 0,152$$

$$k_y = 0,22 \frac{\text{mL}}{\text{mg}} \cdot \text{s}$$

$$q_y = 0,028 \text{ mg/g}$$

#### Debit Aliran 75 mL/menit

$$y = -1,060x + 0,199$$

$$k_y = 0,29 \frac{\text{mL}}{\text{mg}} \cdot \text{s}$$

$$q_y = 0,034 \text{ mg/g}$$

#### Debit Aliran 100 mL/menit

$$y = -1,047x + 0,356$$

$$k_y = 0,39 \frac{\text{mL}}{\text{mg}} \cdot \text{s}$$

$$q_y = 0,04 \text{ mg/g}$$

### V. PENUTUP

#### Kesimpulan

1. Efisiensi penyisihan kandungan logam pada limbah cair industri pelapisan logam (Elektroplating) Krom dengan menggunakan proses adsorpsi media kulit pisang pada logam berat Cr sebesar 40-69%, sedangkan pada logam berat Cu sebesar 85-96% pada proses batch, sedangkan pada proses kontinyu, penyisihan logam berat Cr sebesar 35-58%, sedangkan pada logam berat Cu sebesar 96%.

#### 2. Percobaan Batch

- Ukuran media optimum yang didapat dari percobaan batch ini adalah media dengan ukuran sebesar 40-100 mesh
- Penyisihan logam berat terbesar terjadi pada limbah dengan konsentrasi tertinggi, yaitu limbah dengan konsentrasi 3,43 mg/L pada logam berat Cu dan 26,6 mg/L pada logam berat Cr.
- Pada dosis adsorben, setiap terjadi penambahan dosis adsorban, maka semakin besar penurunan terhadap logam berat Cr dan Cu.

Untuk logam berat Cr Total menggunakan persamaan Langmuir, dengan model sebagai berikut:

$$q = \frac{0,304x0,1069xCe}{1 + 0,1069xCe}$$

Untuk logam berat Cu menggunakan persamaan Langmuir, dengan model sebagai berikut:

$$q = \frac{0,2176x0,368xCe}{1 + 0,368xCe}$$

#### 3. Percobaan Kontinyu

- Debit aliran terkecil pada logam berat Cr dan Cu, yaitu 50 mL/menit memiliki kapasitas adsorpsi terbesar, tetapi memiliki kecepatan adsorpsi terkecil dibandingkan dengan debit yang lainnya, yaitu 75 mL/menit dan 100 mL/menit.
- Untuk logam berat Cr Total menggunakan persamaan Thomas, dengan model sebagai berikut:

$$\frac{C}{C_o} = \frac{1}{1 + e^{\frac{0,000268}{Q(2,84 \cdot M - C_o \cdot V)}}}$$

Untuk logam berat Cu menggunakan persamaan Yan, dengan model sebagai berikut:



$$\frac{C_e}{C_0} = 1 - \frac{1}{1 + \left( \frac{Q^2 t}{0,22x0,028xm} \right)^{\frac{0,22xC_0}{Q}}}$$

### Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan waktu kontak yang lebih lama untuk menentukan titik jenuh sebuah adsorben
2. Perlu adanya berbagai variabel yang digunakan dalam penelitian berikutnya, sehingga dapat dihasilkan model adsorpsi yang lebih akurat

### DAFTAR PUSTAKA

- Alwathan, dkk.. 2013. *Pengurangan Kadar H<sub>2</sub>S dari Biogas Limbah Cair Rumah Sakit dengan Metode Adsorpsi*. Samarinda: Politeknik Negeri Samarinda
- Danarto, Y.C dan A. Nur. 2007. *Adsorpsi Kadmium dengan Biomassa Bekas Fermentasi Pabrik Alkohol*. Surakarta. Universitas Sebelas Maret
- Hadiwidodo, Mochtar. 2008. *Penggunaan Abu Sekam Padi sebagai Adsorben dalam Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Logam Cu*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Hoong, Phoon Kok. 2013. *Biosorption of Heavy Metal Ions from Industrial Waster Water by Banana Peel Based Biosorbent*. Bandar Seri Iskandar: Universiti Teknologi Pertronas
- Jayaswabowo, Nurkholis. 2008. *Desain Sistem Pendingin dengan Sistem Adsorpsi untuk Kapal Nelayan Menggunakan Karbon Aktif*. Depok: Universitas Indonesia
- Kurniasari, Laeli. 2010. *Aktivasi Zeolit Alam sebagai Adsorben Uap Air pada Alat Pengering Bersuhu Rendah*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Kurniasari, Laeli dkk. 2014. *Aplikasi Low Methoxyl Pectin (LMP) Kulit Pisang Sebagai Biosorben Logam Kadmium*. Semarang: Universitas Wahid Hasyim
- Murdika, Alti. 2009. *Aplikasi Teknik Komninas Adsorpsi dan Elektrolisis untuk Menurunkan Kandungan Fenol dalam Limbah Industri Bahan Kimia Sanitasi*. Depok: Universitas Indonesia
- Nasir, N.S.W, dkk. 2014. *Pemanfaatan Arang Aktif Kulit Pisang Kepok sebagai Adsorben untuk Menurunkan Angka Peroksida dan Asam Lemak Bebas Minyak Goreng Bekas*. Palu: Universitas Tadulako
- Prasetya, Agus., dkk. 2013. *Pemodelan Matematis Pengurangan COD dalam Air Limbah Industri Penyamakan Kulit secara Adsorpsi Kontinyu Menggunakan Abu Terbang Bagas*. Yogyakarta; Universitas Gadjah Mada
- Rahmadani, Ayu, dkk. 2013. *Penyerapan Ion Logam Cd (II) dan Zn (II) dari Larutan Menggunakan Biji Buah Sirsak*. Padang: Universitas Andalas
- Rahmawati, Dessy, dkk. 2009. *Penurunan Kandungan Phospat pada Limbah Cair Industri Pencucian Pakaian Menggunakan Karbon Aktif dari Sampah Plastik dengan Metode Batch dan Kontinyu*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Sukarta, Nyoman. 2008. *Adsorpsi Ion Cr<sup>3+</sup> oleh Serbuk Gergaji Kayu Albizia*. Bogor: Institut Pertanian Bogor
- Tandy, Edward., dkk. 2012. *Kemampuan Adsorben Limbah Lateks Karet Alam terhadap Minyak Pelumas dalam Air*. Medan: Univeritas Sumatera Utara
- Tyas, Ina N. 2008. *Pemanfaatan Kulit Pisang sebagai Bahan pembawa Inokulum Bakteri Pelaryt Fosfat*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret