



ISSN: 1693-4393

**SEMINAR NASIONAL  
TEKNIK KIMIA “KEJUANGAN”  
2012**

***Pengembangan Teknologi Kimia  
untuk Pengolahan Sumber Daya  
Alam Indonesia***

**6 Maret 2012**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UPN “VETERAN” YOGYAKARTA**

- H07 **Pengaruh Konsentrasi Nitrogen Terhadap Pengomposan Serat Buah Sawit dengan Teknologi Biofertilizer**  
*Adrianto Ahmad<sup>1</sup>, Khairat<sup>1</sup> dan Tirta Mailinda<sup>2</sup>*  
<sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau  
<sup>2</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau  
Jl. HR Subrantas Km 12,5Kampus Bina Widya Panam Pekanbaru 28293
- H08 **Pengaruh Jenis dan Konsentrasi Hole Scavenger terhadap Efektivitas Pengolahan Limbah Kromium Heksavalen Industri Elektroplating dengan Fotokatalisis UV/TiO<sub>2</sub>**  
*Tedi Hudaya<sup>1</sup>, Shierin, dan David Andrean*  
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan  
Jalan Ciumbuleuit 94, Bandung 40141
- H09 **Pemanfaatan Limbah Daun Kering Menjadi Briket**  
*Purwo Subagyo, Siti Diyar Kholisoh, Ira Purnama Sari, dan Rita Sejati*  
Program Studi Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta  
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Condong Catur, Yogyakarta 55283, Telp/Fax. 0274-486889  
*E-mail: subagyo\_p@yahoo.com, diyar.kholisoh@upnyk.ac.id, pedrosa26\_hp48@yahoo.co.id, dan tha\_thae@yahoo.com*
- H10 **Efektivitas Zeolit pada Pengolahan Limbah Cair Cu dengan Proses Adsorpsi Sistem Kontinyu**  
*Rudi Hartono<sup>1)</sup>, Dhena Ria Barleany<sup>1)</sup>, Iqbal Ramadhany<sup>2)</sup>, Rozak<sup>2)</sup>*  
<sup>1)</sup>Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jl. Jend. Sudirman Km.3 Cilegon – Banten  
<sup>2)</sup>Alumni Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
*E-mail: dbarleany@yahoo.com*

**Indeks Penulis Makalah**  
**Indeks Kata Kunci**



## Efektivitas Zeolit pada Pengolahan Limbah Cair Cu dengan Proses Adsorpsi Sistem Kontinyu

Rudi Hartono<sup>1)</sup>, Dhena Ria Barleany<sup>1)</sup>, Iqbal Ramadhany<sup>2)</sup>, Rozak<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jl. Jend. Sudirman Km.3 Cilegon – Banten

<sup>2)</sup>Alumni Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
E-mail: [dbarleany@yahoo.com](mailto:dbarleany@yahoo.com)

### Abstract

Waste contain heavy metal, for example cuprum (Cu), at high concentration level can cause toxic effect and dangerous for life, if it is charged to the environment without correct treatment. Adsorption is one of physical system of waste water treatment that can be used to handle Cu. Some adsorbant usually used are activated carbon, mangan oxyde, clay, and others. The goal of this research is to obtain the effect of bed height on Cu waste water treatment with continue system of adsorption using zeolite, and to obtain breakpoint on breakthrough curve. This research was started with preparation of adsorbant. Zeolite were grinded and then screened so that the size was 20 mesh. Zeolite was then activated using NaCl solution and heated on temperature 100°C. Adsorption process was held in adsorption column filled with zeolite, and the variation of bed heights are 10 cm and 20 cm. 16, 5 ppm concentration of waste water was flewed from the top of column with flowrate 60 ml/minute continuesly for 120 minutes operation. The results of this research shows that the effectivity of adsorbant to adsorp Cu effected by bed height inside column. Column using 10 cm height of bed give higher effectivity than 20 cm height of bed, Adsorption effectivity using height of bed 10 cm and 20 cm are 0,15 mg Cu/mg adsorbant and 0,0724 mg Cu/mg adsorbant. Breakpoint was obtain on 100 menit operation and  $c/C_0$  0,0515,  $H_{BUD}$  6,66 cm,  $H_B$  3,34 cm.

**Keywords:** continue adsorption, Cu waste, zeolite, breakthrough curve

### Pendahuluan

Limbah cair industri merupakan salah satu cairan buangan yang dapat menimbulkan pencemaran bagi lingkungan hidup. Beberapa jenis industri seperti industri alat listrik, industri pelapisan logam (*electroplating*), industri penyamakan kulit, industri tekstil dan industri cat merupakan industri penghasil limbah yang mengandung logam berat seperti Cu, Cr, Fe, Ni dan Zn. Bila kandungan logam berat dengan konsentrasi yang tinggi dibuang ke badan air tanpa pengolahan air buangan, maka akan menimbulkan efek *toxic* yang sangat berbahaya bagi lingkungan.

Proses penanganan limbah dapat dilaksanakan dengan beberapa cara, antara lain secara fisika, kimia, biologi, atau dapat juga diaplikasikan bersama-sama (kombinasi). Pemilihan proses didasarkan pada sifat, jumlah, jenis limbah dan karakteristik lingkungan dari badan penerima limbah.

Salah satu alternatif yang dilakukan dalam pengolahan limbah cair terutama yang mengandung Cu adalah melalui proses fisika, yaitu dengan cara adsorpsi. Cara adsorpsi dipilih karena limbah industri Cu berbentuk cairan yang mempunyai partikel (molekul) yang sangat kecil. Dengan adsorpsi, molekul tersebut dapat terpisahkan dari pelarutnya dan terserap pada permukaan media penyerap (*adsorbant*).

Proses adsorpsi dapat dijalankan secara *batch* atau kontinyu. Proses adsorpsi secara kontinyu memiliki banyak kelebihan dibandingkan sistem *batch* dari segi kapasitas operasi. Adsorpsi secara kontinyu dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya ukuran *adsorbant*, jumlah *adsorbant*, dan waktu proses. *Adsorbant* yang umum digunakan yaitu karbon aktif, namun penggunaan *adsorbant* ini memiliki beberapa kendala dan kelemahan, diantaranya proses yang cukup sulit, produk yang didapat mengalami kekeruhan, serta biaya yang cukup mahal. Dalam penelitian ini digunakan zeolit sebagai *adsorbant* karena prosesnya lebih mudah dan biaya relatif murah.

Adsorpsi adalah suatu fenomena sifat permukaan yang timbul jika dua fase zat terjadi kontak. Pada peristiwa tersebut terjadi proses pemisahan dimana komponen tertentu dari suatu fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap. Bahan yang dijerap disebut *adsorbat* dan bahan yang berfungsi sebagai penyerap disebut *adsorbant* (Mc. Cabe, 1990).

Ada dua sifat penting dari adsorben (*adsorbant*) yaitu luas permukaan dan ukuran pori-pori yang berhubungan dengan luas permukaan dan memiliki peranan penting untuk menentukan laju perpindahan yang akan dijerap dari permukaan luar *adsorbat* ke dalam permukaan *adsorbant*. Adsorpsi dapat terjadi karena adanya energi permukaan dan gaya tarik-

menarik permukaan. Sifat dari masing-masing permukaan berbeda, tergantung pada susunan dalam molekul-molekul zat. Setiap molekul dalam interior dikelilingi oleh molekul-molekul lainnya, sehingga gaya tarik menarik antar molekul akan sama besar, setimbang ke segala bagian. Sedangkan untuk molekul di permukaan hanya mempunyai gaya tarik ke arah dalam. Secara garis besar mekanisme adsorpsi dapat berlangsung dalam tiga tahap, yaitu :

- 1). Molekul-molekul *adsorbat* berpindah dari fase *bulk liquid* ke permukaan *adsorbant* melalui lapisan film yang mengelilingi lapisan *adsorbant*. Proses ini disebut sebagai *film diffusion*.
- 2). Molekul *adsorbat* terjerap ke dalam permukaan dalam (interior) atau permukaan pori dari *adsorbant*. Proses ini disebut dengan *pore diffusion*.
- 3). Molekul *adsorbat* dapat menempel pada permukaan *adsorbant*.

Zat padat sebagai *adsorbant* diklasifikasikan sebagai *adsorbant* polar dan non polar. *Adsorbant* polar antara lain: Alumina, Barium sulfat, Calcium karbonat, Resin (*Ion exchange*), Silica gel, Titanium dioxide dan Zeolite. Sedangkan *Adsorbant* non polar antara lain: *carbon black*, *charcoal*, *graphite*, resin organik, plastik dan parafin.

Molekul *solute (adsorptive)* dan *solvent* juga dapat diklasifikasikan polar dan non polar. Adsorpsi yang polar akan cenderung memilih fase yang lebih polar dan sebaliknya. Dalam proses adsorpsi jika laju sorpsi sebanding dengan laju adsorpsinya, maka kesetimbangan dan kapasitas adsorpsi telah dicapai.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi, yaitu proses pengadukan, karakteristik *adsorbant*, kelarutan *adsorbant*, dan ukuran molekul *adsorbat*.

#### 1). Kecepatan Pengadukan

Kecepatan adsorpsi selain dipengaruhi oleh *film diffusion* dan *pore diffusion* juga dipengaruhi oleh pengadukan. Jika proses pengadukan relatif kecil, maka *adsorbat* sukar menembus lapisan film yang mengelilingi *adsorbant*. Jika pengadukan sesuai maka akan meningkatkan *film diffusion* dan *pore diffusion*.

#### 2). Karakteristik *Adsorbant*

Adsorpsi dipengaruhi oleh dua sifat permukaan yaitu energi permukaan dan gaya tarik permukaan, sehingga sifat fisik yaitu ukuran partikel dan luas permukaan merupakan sifat yang terpenting dari bahan yang akan digunakan sebagai *adsorbant*.

#### 3). Kelarutan *Adsorbant*

Proses adsorpsi dapat terjadi pada molekul-molekul yang ada di dalam larutan jika molekul tersebut berpisah dari cairannya dan berikatan dengan permukaan *adsorbant*. Sifat unsur yang terlarut mempunyai gaya tarik menarik terhadap cairannya yang lebih kuat bila dibandingkan dengan unsur yang sukar larut. Dengan demikian, unsur yang

terlarut akan lebih sulit terjerap pada *adsorbant* dibandingkan dengan unsur yang tidak larut.

#### 4). Ukuran Molekul *Adsorbat*

Ukuran molekul-molekul *adsorbat* berpengaruh terhadap proses adsorpsi karena molekul tersebut masuk ke dalam pori-pori *adsorbant* dan terjadi penyerapan.

Proses pengoperasian adsorpsi dapat dilakukan dengan sistem *batch* dan sistem kontinyu. Pada skala laboratorium, sistem *batch* dilakukan dengan mencampurkan antara *adsorbant* dan *adsorbat* yang tersuspensi dan dilakukan pengadukan agar terjadi kontak antara *adsorbant* dengan suspensi secara merata. Sistem ini sangat sederhana, mudah dilakukan, dan biaya operasinya juga relatif kecil. Pada operasi menggunakan sistem kontinyu dapat dilakukan secara *fixed bed flow*, *counter current moving bed*, dan *expanded/ fluidized bed*. Sistem *Fixed Bed* dan *Counter Current* lebih sering digunakan karena lebih dapat mengolah limbah cair dengan kuantitas yang lebih besar. Pada skala laboratorium, melalui sistem *fixed bed* aliran kontinyu akan didapatkan data-data yang digunakan untuk dasar dalam desain suatu pengolahan limbah.

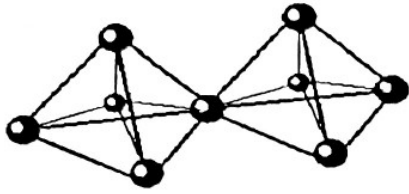
Tembaga dengan nama kimia *cuprum* dilambangkan Cu, unsur logam ini berbentuk kristal dengan warna kemerahan dengan nomor atom 29 dan mempunyai berat atom 63,546. Secara kimia senyawa yang dibentuk oleh logam Cu mempunyai bilangan valensi +1 dan +2, berdasarkan pada bilangan valensi yang dibawanya, logam Cu dinamakan juga *Cupro* untuk yang bervalensi 1 dan *Cupri* untuk yang bervalensi 2.

Secara fisika logam Cu digolongkan dalam logam pengantar listrik yang baik setelah perak. Dalam bidang industri Cu banyak digunakan pada industri cat sebagai anti *fouling*, insektisida, fungisida.

Mineral zeolit telah dikenal sejak tahun 1756 oleh Cronstedt ketika menemukan *stilbit* yang bila dipanaskan seperti batuan mendidih (*boiling stone*) karena dehidrasi molekul air yang dikandungnya. Pada tahun 1954 zeolit diklasifikasi sebagai golongan mineral tersendiri, yang saat itu dikenal sebagai *molecular sieve materials*.

Zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Ion-ion logam tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara reversibel. Zeolit biasanya ditulis dengan rumus kimia oksida atau berdasarkan satuan sel kristal  $M_{2n}O$   $Al_2O_3$   $a$   $SiO_2$   $b$   $H_2O$  atau  $M_{c/n} \{(AlO_2)_c(SiO_2)_d\} b H_2O$ . Dimana  $n$  adalah valensi logam,  $a$  dan  $b$  adalah molekul silikat dan air,  $c$  dan  $d$  adalah jumlah tetrahedra alumina dan silika. Rasio  $d/c$  atau  $SiO_2/Al_2O_3$  bervariasi dari 1-5. Zeolit tidak dapat diidentifikasi hanya berdasarkan analisa

komposisi kimianya saja, melainkan harus dianalisa strukturnya.



Gambar 1. Tetrahedra alumina dan silika (TO<sub>4</sub>) pada struktur zeolit

Kemampuan pertukaran ion (adakalanya dengan istilah kemampuan penyerapan ion atau sorpsi) zeolit merupakan parameter utama dalam menentukan kualitas zeolit yang akan digunakan, biasanya dikenal sebagai KTK (kemampuan tukar kation). KTK adalah jumlah meq ion logam yang dapat diserap maksimum oleh 1 g zeolit dalam kondisi kesetimbangan. Kemampuan tukar kation (KTK) dari zeolit bervariasi dari 1,5 sampai 6 meq/g. Nilai KTK zeolit ini banyak tergantung pada jumlah atom Al dalam struktur zeolit, yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan KTK batuan lempung, seperti kaolinit (0,03-0,15 meq/g), bentonit (0,80-1,50 meq/g) dan vermikulit (1-1,50 meq/g).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan pengaruh tinggi unggun pada proses pengolahan limbah cair Cu dengan sistem adsorpsi secara kontinyu, serta untuk mendapatkan titik tembus (*breakpoint*) pada kurva *breakthrough*.

Hasil dari penelitian ini dapat memberikan beberapa manfaat, diantaranya informasi ketinggian unggun *adsorbant* zeolit yang memberikan kapasitas penyerapan terbaik pada pengolahan limbah cair Cu. Dari kurva *breakthrough* juga dapat ditentukan tinggi unggun terpakai ( $H_B$ ) dan tinggi unggun tidak terpakai ( $H_{UNB}$ ) sehingga menjadi dasar perancangan kolom adsorpsi yang ideal.

### Landasan Teori

Dalam menentukan kinerja dari adsorpsi dapat diramalkan dengan menggunakan kurva konsentrasi vs waktu, dinamakan kurva terobosan (*breakthrough curve*), pada waktu  $t_1$  dan  $t_2$  konsentrasi praktis nol. Bila konsentrasi telah mencapai nilai batas yang diizinkan atau titik tembus *breakpoint*, titik ini biasanya diambil konsentrasi relatif 0,05 atau 0,10 dan karena hanya bagian akhir saja dari fluida yang diolah yang mempunyai konsentrasi tertinggi, fraksi zat terlarut rata-rata yang dipisahkan sejak awal sampai titik tembus ini kadang-kadang mencapai 0,99 atau lebih.

Menurut Geankoplish (1993), fenomena yang terjadi dapat dijadikan sebagai dasar untuk menghitung tinggi kolom adsorpsi menggunakan kurva *breakthrough* dengan persamaan (1) sebagai berikut:

$$t_t = \int_0^{\infty} \left(1 - \frac{C}{C_0}\right) dt \quad (1)$$

dimana  $t_t$  adalah total waktu ekuivalen keseluruhan proses untuk mendapatkan nilai  $C/C_0$  mendekati 1 dengan integrasi waktu dari 0 sampai  $\infty$ . Sedangkan untuk menghitung waktu efisiensi *adsorbant* operasi ( $t_u$ ) dari titik waktu 0 ke  $t_b$  adalah dengan menggunakan persamaan (2):

$$t_u = \int_0^{t_b} \left(1 - \frac{C}{C_0}\right) dt \quad (2)$$

Maka ketinggian kolom efisien yang digunakan untuk mencapai *breakpoint* adalah sesuai dengan persamaan (3):

$$H_B = \frac{t_u}{t_t} \cdot H_T \quad (3)$$

Tinggi kolom adsorpsi yang tidak terpakai (*High Unused Bed : UNB*) ditunjukkan pada persamaan (4) dan persamaan (5):

$$H_{UNB} = H_T - H_B \quad (4)$$

$$H_{UNB} = H_T - H_T \frac{t_u}{t_t} = \left(1 - \frac{t_u}{t_t}\right) H_T \quad (5)$$

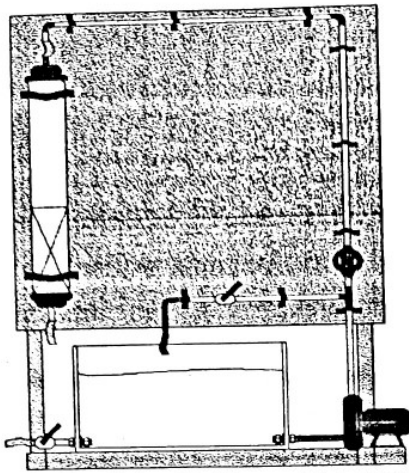
### Metodologi

Penelitian ini dilaksanakan melalui 2 tahap percobaan, yaitu tahap pendahuluan dan tahap percobaan utama. Tahap pendahuluan adalah persiapan bahan baku zeolit menjadi *adsorbant* untuk proses pengolahan limbah cair Cu.

Prosedur penelitian pada tahap pendahuluan dimulai dengan proses *size reduction (grinding)* zeolit kemudian dilanjutkan dengan pengayakan dengan ukuran *adsorbant* homogen yaitu 20 mesh. Zeolit kemudian dicampur dengan larutan NaCl 3 M dengan perbandingan 1 gram zeolit / 2 ml larutan NaCl. Campuran tersebut kemudian dilakukan pemanasan untuk proses aktivasi zeolit sebagai *adsorbant*. Proses pemanasan disertai pengadukan dilakukan pada suhu 100°C selama 4 jam untuk membuka pori zeolit. Setelah aktivasi, dilanjutkan dengan penyaringan secara gravimetri dan pembilasan *adsorbant* menggunakan *aquadest*. *Adsorbant* dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 110°C hingga berat konstan, kemudian dilanjutkan tahap percobaan utama.

Tahap percobaan utama adalah pengolahan limbah cair Cu dengan proses adsorpsi sistem kontinyu menggunakan zeolit sebagai *adsorbant*.

Pada tahap percobaan utama, proses pengolahan limbah cair Cu dilakukan di dalam kolom adsorpsi secara kontinyu, dengan laju alir limbah 60 ml/menit dan 120 menit waktu operasi. Variabel berubah dalam penelitian ini adalah ketinggian unggun di dalam kolom, yaitu 10 cm (103,5 gram zeolit) dan 20 cm (227,5 gram zeolit). Rangkaian alat percobaan yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Alat Proses Adsorpsi Sistem Kontinyu

Pada penelitian ini, pengukuran dan analisa kadar Cu pada limbah dilakukan dengan instrumen laboratorium yaitu ICP (*Inductively Coupled Plasma*) yang mampu menganalisa kandungan logam berat seperti  $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Co}^+$ ,  $\text{Pb}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , dan logam berat lainnya yang termasuk unsur lantanida dan aktinida, dengan tingkat akurasi tinggi.

#### Hasil dan Pembahasan

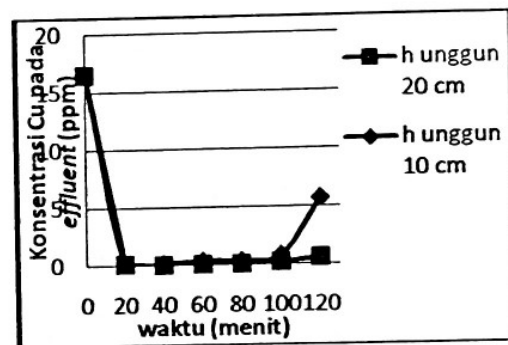
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, dengan kandungan Cu awal di dalam limbah cair sebesar 16,5 ppm. Pengoperasian perlakuan kontinyu dilakukan dengan menggunakan sistem *fixed bed flow*, dimana limbah Cu dialirkan menuju puncak kolom dengan menggunakan pompa, kemudian dengan memanfaatkan gaya gravitasi tercipta aliran *down flow* melalui *packing*. Zeolit disusun sebagai bahan isian di dalam kolom dengan variasi ketinggian yaitu 10 cm dan 20 cm. Masa zeolit yang diisikan ke dalam kolom juga dilakukan penimbangan, dimana pada ketinggian unggun 10 dan 20 cm masing-masing memiliki masa 103,5 gram dan 227,5 gram zeolit.

#### Pengaruh Ketinggian Unggun terhadap Konsentrasi Cu pada Effluent

Hasil penelitian pada Gambar 3 menunjukkan bahwa selama 120 jam waktu operasi, terjadi penurunan konsentrasi Cu pada limbah cair untuk variasi ketinggian unggun 10 dan 20 cm. Penurunan konsentrasi Cu sangat signifikan terjadi pada waktu operasi 20 menit untuk ketinggian unggun 10 dan 20 cm, kemudian relatif stabil pada waktu ke 40 menit sampai 120 menit. Hal ini menunjukkan bahwa *adsorbant* telah mengalami kejenuhan dan tidak mampu lagi menyerap *adsorbat*. Kondisi *breakpoint* terjadi apabila konsentrasi telah mencapai nilai batas yang diijinkan (Mc Cabe, 1993). Pada penggunaan ketinggian unggun 10 cm, setelah 100 menit operasi

terjadi kenaikan konsentrasi Cu yang cukup signifikan.

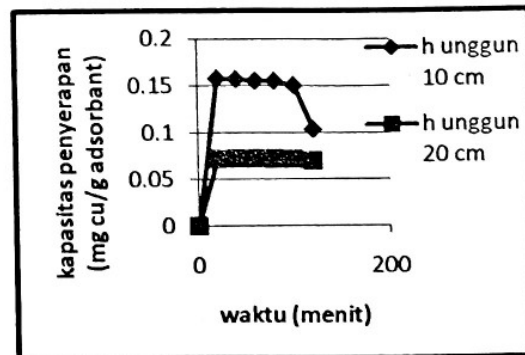
Tinggi unggun 20 cm lebih baik dalam mendegradasi limbah Cu dibandingkan tinggi unggun 10 cm, hal ini disebabkan perbedaan jumlah massa *adsorbant* didalam kolom untuk masing-masing ketinggian, sehingga jumlah *adsorbat* yang terjerap berbeda. Pada tinggi unggun 10 cm, konsentrasi Cu terendah sebesar 0,14 ppm dicapai pada menit ke-20. Nilai ini sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi terendah yang dicapai pada penggunaan tinggi unggun 20 cm yaitu sebesar 0,03 ppm pada menit ke-40. Standar baku mutu limbah Cu adalah antara 2-3 ppm, sehingga pada penelitian ini diperoleh keluaran proses pengolahan limbah yang sesuai baku mutu, baik untuk tinggi unggun 10 dan 20 cm.



Gambar 3. Hubungan waktu operasi (menit) dengan konsentrasi Cu keluaran (ppm) pada variasi ketinggian unggun

#### Pengaruh Ketinggian Unggun terhadap Kapasitas Penyerapan (q)

Untuk mendapatkan efisiensi pengolahan limbah cair Cu dengan proses adsorpsi menggunakan zeolit, maka dilakukan evaluasi terhadap kapasitas penyerapan pada variasi ketinggian unggun. Kapasitas penyerapan ( $q$ ) diartikan sebagai banyaknya *adsorbat* yang terjerap pada setiap masa *adsorbant*.

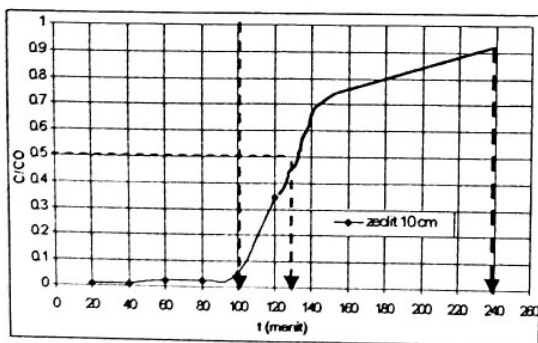


Gambar 4. Hubungan waktu operasi (menit) dengan kapasitas penyerapan (mg Cu/g adsorbant) pada variasi ketinggian unggun

Gambar 4 menunjukkan bahwa kapasitas penyerapan untuk tinggi unggun 10 dan 20 cm mengalami kenaikan hingga waktu ke 20 menit, kemudian cenderung stabil hingga 120 menit operasi. Kapasitas penyerapan pada tinggi unggun 10 cm lebih tinggi dibandingkan dengan tinggi unggun 20 cm. Hal ini menunjukkan bahwa tinggi unggun 10 cm lebih efisien dibandingkan tinggi unggun 20 cm. Hasil pengolahan limbah menggunakan tinggi unggun 20 cm dapat menghasilkan keluaran dengan konsentrasi Cu lebih rendah dibandingkan penggunaan tinggi unggun 10 cm, tetapi selisihnya tidak cukup signifikan sehingga kapasitas penyerapannya kecil. Banyaknya masa adsorbant di dalam kolom dapat menyebabkan posisi penyusunan partikel yang rapat sehingga porositas unggun kecil. Porositas unggun yang kecil menyebabkan kontak antara limbah dengan adsorbant tidak sempurna.

#### Kurva Terobosan (Breakthrough Curve)

Dalam Sundstrom (1979) disebutkan bahwa konsentrasi suatu spesi yang diadsorpsi dalam *effluent* selama beberapa waktu pertama menunjukkan kecenderungan konstan, setelah unggun spesi mulai jenuh barulah konsentrasi spesi tersebut meningkat tajam, pada kondisi ini kurva yang terjadi berbentuk huruf "S". Titik dimana konsentrasi dalam *effluent* mulai meningkat disebut titik tembus (*breakpoint*). Gambar 5 menunjukkan kurva terobosan (*Breakthrough Curve*) proses adsorpsi limbah Cu menggunakan zeolit dengan tinggi unggun 10 cm.



Gambar 5. Kurva Terobosan (*Breakthrough Curve*)

Dari kurva *breakthrough* pada zeolit dengan tinggi unggun 10 cm, *breakpoint* terjadi pada menit ke-100 dengan konsentrasi C/Co adalah 0,0515. Sebelum terjadi *breakpoint*, konsentrasi cenderung konstan, dan jika adsorpsi diteruskan sampai melewati titik tembus maka konsentrasi akan

meningkat dengan cepat, diperkirakan mencapai 0,5 dan kemudian dengan agak lebih lambat sampai 1,0. Luas daerah yang mencapai titik tembus  $t_b$  menunjukkan kuantitas sebenarnya proses adsorpsi, zona perpindahan massa sempit lebih dikehendaki agar pemakaian adsorbant lebih efisien, disamping mengurangi biaya energi.

Dalam kasus ideal, di mana tidak ada tahanan perpindahan masa dan tidak ada tahanan dispersi aksial, zona perpindahan masa itu akan mempunyai lebar infinitesimal, dan kurva terobosan akan merupakan garis 0 sampai dengan 1,0 bila seluruh adsorbant jenuh (Mc Cabe, 1993).

Dengan membuat kurva waktu *versus* konsentrasi C/Co, dapat ditentukan nilai tinggi kolom adsorpsi yang tidak terpakai (*high unused bed*) dan nilai tinggi kolom terpakai (*high used bed*). Pada penelitian ini diperoleh *high unused bed*  $H_{UBD}$  6,66 cm dan *high used bed*  $H_B$  3,34 cm dari ketinggian aktual bed setinggi 10 cm. Prosedur desain kolom bergantung pada kondisi operasi di dalam laboratorium (Geankoplish, 1993).

#### Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa pada proses adsorpsi kontinyu pengolahan limbah cair Cu menggunakan zeolit, diperoleh kapasitas penyerapan terbaik pada ketinggian unggun 10 cm. Titik tembus atau *breakpoint* terjadi pada menit ke-100 dan konsentrasi C/Co 0,0515.  $H_{UBD}$  6,66 cm dan  $H_B$  3,34 cm dari ketinggian aktual bed setinggi 10 cm.

#### Daftar Pustaka

- Coulson, J. M, Richardson, J.F, " Chemical Engineering Particle Technology And Separation Process", Vol 2,4<sup>th</sup> Ed, Pergamon Press Ltd, Headington Hill, Oxford, OX 3 OBW, England, 1991
- Freeman, H.M., "Standard Hand Book Of Hazardous Waste Treatment And Disposal"; Second Edition; Mc. Graw Hill; New York.
- Mc.Cabe, W. L., " Unit transportation Of Chemical Engineering ". Fifth Ed, McGraw Hill Book Co, Singapore, 1993
- Metcalf, E., Inc, " Waste Water Engineering Treatment Disposal Reuse ", 2<sup>nd</sup> Ed, Mc Graw Hill Publishing Company Ltd, New Delhi
- Perry, J. H, "Chemical Engineering Handbook", 6<sup>th</sup> Ed, Mc Graw Hill, New York, 1984
- Tedi, W. R.; "Uji Kelayakan Pengolahan Limbah Cair Organik Dengan Metode Adsorpsi Karbon Aktif"; Teknik Kimia FT. UNTIRTA; 2004
- Geankoplish, C. J., "Transport Processes and Unit Operation", 3<sup>rd</sup> Ed, University of minnesota, 1993