



## PROSIDING

### SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA III

"Teori dan Aplikasi Sains dalam Isu Globalisasi Lingkungan, Profesionalisasi Pembelajaran dan Kewirausahaan"

Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS

Surakarta, 7 Mei 2011



MAKALAH PENDAMPING

KIMIA FISIKA  
(Kode : C-10)

ISBN : 978-979-1533-85-0

## PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TEMBAGA DENGAN MEMANFAATKAN ADSORBEN ZEOLIT ALAM YANG TERIMPREGNASI

**Daniel Indrayana Satyaputra\***

\*Staf Pengajar Program Studi Kimia, Universitas Kristen Satya Wacana  
Korespondensi: 08175025350, [dainsat@yahoo.com](mailto:dainsat@yahoo.com)

### Abstrak

Sumber utama limbah tembaga berasal dari industri pencucian penggaraman dan pelapisan logam. Produksi zeolit alam di dunia diperkirakan lebih dari 3 juta ton, dimana sejumlah kecilnya terdapat di Indonesia. Penelitian ini menggunakan zeolit alam sebagai adsorben. Tujuan penelitian yaitu: 1) mengetahui pengaruh zeolit yang terimpregnasi dalam pengolahan limbah tembaga terhadap efisiensi; 2) memerikan proses adsorpsi ion dalam pengolahan limbah tembaga; 3) memerikan kinetika dan isoterm reaksi dari pengolahan limbah tembaga menggunakan zeolit yang terimpregnasi. Zeolit yang dipakai berukuran 60 mesh. Dilakukan berbagai perlakuan asam menggunakan  $H_2SO_4$  6M dan HCl 6M serta  $KMnO_4$ . Proses impregnasi menggunakan 2-merkaptobenzotiazol (MBT). Larutan tembaga yang digunakan yaitu larutan limbah artifisial tembaga sulfat dan limbah asli tembaga. Proses adsorpsi dilakukan dengan cara memasukan 10 gram zeolit-MBT ke dalam 100 ml larutan limbah kemudian diaduk menggunakan alat flokulator dengan berbagai kecepatan. Efisiensi penyisihan untuk zeolit-MBT 8%, 15%, dan kontrol yaitu 92%, 87,3%, dan 21,6%. Efisiensi penyisihan dengan menggunakan limbah asli sebesar 85,7% dan jika tanpa pengadukan sebesar 12,8%. Energi adsorpsi yang dihasilkan sekitar  $(-8402,9) - (-11203,5)$  J/mol dan kapasitas adsorpsi berkisar 0,04 – 144,16 mg/gr. Waktu kontak zeolit-MBT 8%, 15%, dan kontrol yaitu 5,88; 7,16; dan 60,55 menit. Sedangkan waktu adsorben menggunakan limbah asli 16,15 menit dan tanpa pengadukan 106,3 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa impregnasi meningkatkan efisiensi penyisihan. Harga energi yang negatif menunjukkan bahwa proses adsorpsi berjalan secara spontan tanpa pengadukan. Pengadukan yang dilakukan membantu mempercepat proses adsorpsi. Proses adsorpsi yang terjadi merupakan proses adsorpsi fisik dengan pola adsorpsi *favorable* sehingga lebih mudah diregenerasi. Ikatan yang terbentuk yaitu ikatan hidrofobik dan ikatan van der Waals. Proses adsorpsi fisik memungkinkan zeolit diregenerasi dan tembaga dipergunakan kembali dalam industri.

**Kata kunci :** adsorpsi fisika, energi adsorpsi, impregnasi, kapasitas adsorpsi, MBT.

### PENDAHULUAN

Teknologi dewasa ini semakin berkembang dengan pesat, terbukti dengan berdirinya industri dimana-mana. Setiap produk yang dihasilkan selalu mempunyai hasil sampingan, dapat bersifat membahayakan maupun tidak membahayakan bergantung pada proses yang dilakukan mulai dari awal sampai akhir. Hasil sampingan industri yang membahayakan disebut dengan limbah. Limbah terdiri dari berbagai macam senyawa kimia baik senyawa organik maupun senyawa anorganik.

Bahan buangan anorganik pada umumnya berupa limbah yang tidak dapat membusuk dan sulit dibiodegradasi oleh mikroorganisme. Apabila bahan buangan anorganik ini masuk ke lingkungan air maka akan terjadi peningkatan jumlah ion logam di dalam air terutama ion-ion logam berat. Bahan buangan anorganik biasanya berasal dari industri yang melibatkan penggunaan unsur logam seperti Timbal (Pb), Arsen (As), Kadmium (Cd), Air Raksa (Hg), Krom (Cr), Nikel (Ni), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Kobalt (Co), Perak (Ag), Tembaga (Cu), dll. Industri

elektronika, elektroplating dan industri kimia banyak menggunakan logam di atas [1]

Sumber utama limbah tembaga berasal dari industri proses logam pencucian asam dan pencucian pelapisan. Pengolahan dasar limbah tembaga biasanya menggunakan beberapa metode, yaitu: presipitasi, penguapan, pertukaran ion, dan elektrodialisis [2]. Metode presipitasi merupakan metode yang menggunakan prinsip pengendapan, yaitu ion tembaga direaksikan dengan ion lain sehingga mengendap. Metode ini membutuhkan larutan kimia yang sangat banyak sehingga tidak efisien. Metode pertukaran ion menggunakan suatu media yang permukaannya dapat menyerap senyawa tembaga. Media yang dipakai biasanya karbon aktif, akan tetapi hasilnya kurang maksimal. Metode elektrodialisis cukup efektif dalam pengolahan limbah tembaga namun penggunaan listrik membutuhkan biaya yang cukup tinggi.

Produksi zeolit alam di dunia diperkirakan lebih dari 3 juta ton. Jumlah zeolit terbesar berada di Cina yaitu sebesar 2,5 juta ton. Sejumlah besar zeolit terdapat di Bulgaria (2000 ton), Kanada (4000 ton), Kuba (500000 – 600000 ton), Hungaria (10000 – 20000 ton), Italia (4000 ton), Jepang (140000 – 160000 ton), Slowakia (12000 ton), Afrika Selatan (1000 – 2000 ton), Amerika Serikat (30100 ton), dan bekas Uni Soviet (10000 ton). Selain itu sejumlah kecil zeolit alam juga terdapat di Argentina, Australia, Jerman, dan Indonesia [3].

Mencermati berbagai kekurangan dari metode tersebut dan jumlah zeolit yang cukup melimpah, dalam penelitian ini dicoba menggunakan suatu media yang bernama zeolit dengan metode adsorpsi. Penggunaan zeolit akan memberikan efisiensi biaya dan teknik, karena alat-alat yang digunakan juga tidak terlalu rumit.

Pada umumnya zeolit alam mempunyai sifat kristal/kristalinitas yang rendah dan biasanya

ditemukan dalam keadaan tercampur dengan mineral-mineral tanah yang lain. Keadaan ini menyebabkan kemampuan zeolit alam sebagai penukar ion, adsorben dan katalis menjadi relatif rendah (Gottardi, 1976 dalam [4]). Melihat struktur zeolit alam terutama dalam sifat porositas maupun unsur-unsur penyusunnya, khususnya silika, maka selain sebagai adsorben dan penukar ion dimungkinkan zeolit alam dapat pula berfungsi sebagai pendukung dalam proses impregnasi.

Impregnasi pada dasarnya merupakan suatu proses dimana suatu material melapisi adsorben sehingga gugus aktif dari material tersebut juga mampu mengikat senyawa logam. Material yang digunakan dapat material organik maupun material anorganik. Material anorganik yang biasanya digunakan yaitu perak. Hoskins[5], menggunakan perak untuk mengimpregnasi karbon aktif untuk penyisihan iodida.

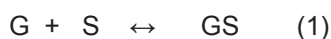
Impregnasi molekul-molekul organik pada suatu permukaan padatan berbeda dengan proses organofungsionalisasi yang melibatkan ikatan kimia, sedangkan pada proses impregnasi melibatkan interaksi fisika. Pembuatan adsorben dengan proses impregnasi material organik pada padatan pendukung pada dasarnya adalah melapisi permukaan padatan pendukung tersebut dengan material organik sehingga diharapkan gugus aktif dari material organik yang berfungsi sebagai adsorben. Impregnasi dapat menggunakan senyawa 2-merkaptobenzotiazol (MBT), 2-merkaptobenzimidazol (MBI), dan 2,5-dimerkapto-1,3,4-tiadiazol (DMT), dimana bentuk strukturnya dapat dilihat pada gambar 1, 2, dan 3. MBT mempunyai gugus aktif  $-SH$  yang diharapkan berfungsi efektif sebagai adsorben untuk mengadsorpsi  $Cu(II)$  dengan interaksi kovalen (Filho dkk, 1995 dalam [4]).

Zeolit alam mempunyai sifat polar, karena kandungan alumunium yang tinggi menyebabkan tingginya karakter negatif dari zeolit dan

menyebabkan tingginya sifat asam Bronsted. Proses masuknya tembaga dalam zeolit – MBT dapat dilihat pada gambar 4.

Sementara MBT merupakan senyawa aromatis yang non-polar, sehingga kurang memungkinkan untuk impregnasi langsung. Polistirena yang mempunyai sifat non-polar dan kaya akan gugus aromatis dipilih sebagai jembatan. Dealuminasi akibat perlakuan asam diharapkan menurunkan kepolaran zeolit sehingga mempermudah interaksinya dengan polistirena yang selanjutnya menentukan keberhasilan impregnasi.

Langmuir [6] menjelaskan bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan. Penerapan isoterm Langmuir berdasarkan pada asumsi bahwa [7]: a) adsorpsi hanya berlangsung pada monomolekuler, b) adsorpsi terlokalisasi, dan c) panas sorpsi tidak bergantung pada lapisan permukaan. Keadaan paling sederhana terjadi bila atom-atom atau molekul-molekul gas mengisi situs permukaan padatan. Proses adsorpsi-desorpsinya dapat dinyatakan dalam bentuk [8]:



G adalah atom/molekul gas adsorbat, S adalah situs permukaan padatan yang belum terisi, dan GS adalah atom atau molekul gas yang teradsorpsi pada permukaan adsorben. Apabila  $GS \approx \theta$  adalah fraksi situs yang terisi adsorbat dan  $S \approx \theta_0$  adalah fraksi situs yang belum terisi adsorbat, maka  $\theta + \theta_0 = 1$  atau  $\theta_0 = 1 - \theta$ . Laju adsorpsinya adalah  $r_{ads} = k_1 \cdot p(S)$  atau  $r_{ads} = k_1 \cdot p(1-\theta)$ . Laju desorpsinya adalah  $r_{des} = k_{-1} \cdot (GS)$  atau  $r_{des} = k_{-1} \cdot (\theta)$ . Pada kesetimbangan lajunya adalah  $r_{ads} = r_{des}$  sehingga didapatkan:

$$\frac{\theta}{1-\theta} = \frac{k_1}{k_{-1}} \cdot p = b \cdot p \quad (2)$$

dengan  $b = k_1/k_{-1}$  dimana b adalah suatu konstanta dan p adalah tekanan, persamaan (2) tersebut dapat ditulis:

$$\theta = \frac{b \cdot p}{1 + b \cdot p} \quad (3)$$

karena  $\theta = q_e/Q^\circ$  dengan  $q_e$  adalah konsentrasi situs permukaan yang terisi adsorbat (jumlah adsorbat yang teradsorpsi),  $q_0$  adalah konsentrasi situs permukaan yang belum terisi adsorbat dan yang terisi adsorbat adalah  $q_e + q_0 = Q^\circ$ , maka persamaan (3) menjadi:

$$q_e = \frac{Q^\circ \cdot b \cdot p}{1 + b \cdot p} \quad (4)$$

Suatu plot b terhadap p ditunjukkan pada gambar 5.

Untuk adsorpsi suatu zat dalam larutan maka persamaan (4) dikoreksi dengan cara mengkonversi p menjadi konsentrasi molar  $C_e$ , yaitu konsentrasi adsorbat saat setimbang, sehingga diperoleh:

$$q_e = \frac{Q^\circ \cdot b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e} \quad (5)$$

Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir tersebut di atas dapat disajikan dalam bentuk persamaan linear:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b \cdot Q^\circ} + \frac{C_e}{Q^\circ} \quad (6)$$

$q_e$  adalah jumlah logam yang teradsorpsi per gram adsorben pada konsentrasi  $C_e$ , b adalah suatu konstanta kesetimbangan Langmuir. Plot  $C_e/q_e$  terhadap  $C_e$  akan diperoleh konstanta kesetimbangan b dan kapasitas adsorpsi  $Q^\circ$  dari intersep dan slop [9]

Hall (1966, dalam [10]) memperkenalkan suatu variabel tak berdimensi R yang dikenal sebagai faktor pemisah untuk menunjukkan pola adsorpsi. Faktor pemisah, R, dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$R = \frac{1}{1 + b.C_0} \quad (7)$$

Di mana  $C_0$  merupakan konsentrasi awal larutan. Tabel dan gambar dari pola adsorpsi dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 6.

Dengan menggunakan suatu persamaan kesetimbangan massa, dapat diperoleh suatu variabel yang dapat digunakan untuk mendesain suatu reaktor.

*Jumlah yang teradsorpsi = jumlah awal adsorbat – jumlah akhir adsorbat*

$$q_e \cdot m = V C_0 - V C_e$$

Pada saat kesetimbangan  $q_e$  dapat digantikan dengan variabel  $Q^0$ , dimana merupakan kapasitas adsorpsi. Dengan mengetahui kapasitas adsorpsi suatu adsorben dapat diperoleh variabel yang penting untuk mendesain suatu reaktor. Persamaan kesetimbangan massa dapat juga dalam bentuk

$$\frac{V}{m} = \frac{Q^0}{C_0 - C_e} \quad (8)$$

Variabel  $V/m$  mempunyai satuan L/gr. Dengan diketahuinya  $V/m$ , dapat diketahui seberapa besar volume reaktor yang dibutuhkan [11].

Lagergren mengembangkan model pertama untuk kinetika adsorpsi berdasarkan laju reaksi orde pertama dan diperoleh bentuk sebagai berikut (Lagergren, 1898, h.33 dalam [10] dan Ho, 1999 dalam [12]):

$$\frac{dq_t}{dt} = K_L (q_e - q_t) \quad (9)$$

Bentuk di atas dapat di integrasi untuk kondisi batas  $q_t = 0$  pada  $t = 0$  dan  $q_t = q_t$  pada  $t = t$  sehingga

$$\text{didapatkan: } \log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{K_L}{2,303} \cdot t$$

(10)

dimana:  $K_L$  = Konstanta laju adsorpsi Lagergren ( $\text{menit}^{-1}$ )

$q_e$  = jumlah ion logam yang teradsorpsi pada kesetimbangan (mg/gr)

$q_t$  = jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg/gr) pada saat  $t$  (menit)

Dari konstanta Lagergren ( $K_L$ ), dapat juga diketahui waktu adsorben ( $t$ ) di dalam larutan [11]. Waktu adsorben adalah waktu di mana adsorben sudah berada dalam kondisi jenuh. Dengan menggunakan persamaan kesetimbangan massa dapat diketahui waktu adsorben.

*Jumlah yang teradsorpsi = aliran masuk – aliran keluar*

$$m \cdot q_e = Q \cdot C_0 \cdot t - Q \cdot C_e \cdot t$$

$$m \cdot q_e = t(Q \cdot C_0 - Q \cdot C_e)$$

$$t = \frac{q_e}{\frac{(Q \cdot C_0 - Q \cdot C_e)}{m}}$$

dimana  $\frac{(Q \cdot C_0 - Q \cdot C_e)}{m}$  merupakan konstanta laju

reaksi dari awal reaksi sampai akhir reaksi yang dapat diwakili dengan konstanta laju adsorpsi Lagergren. Sehingga diperoleh persamaan waktu adsorben ( $t$ ) sebagai berikut:

$$t = \frac{q_e}{K_L} \quad (11)$$

Dalam setiap reaksi kimia terjadi perubahan energi. Dalam keadaan kesetimbangan, perubahan energi reaktan sama dengan perubahan energi produk reaksi. Jika adsorpsi dianggap suatu model reaksi kesetimbangan maka energi adsorpsinya adalah:

$$\Delta G_r = \Sigma \text{ energi bebas produk} - \Sigma \text{ energi bebas reaktan} = 0$$

Perubahan energi bebas reaksi dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta G_r = \Delta G_r^0 + RT \ln K$$

Pada saat kesetimbangan  $\Delta G_r = 0$ , maka:

$$\Delta G_r^0 = - RT \ln K$$

dimana  $\Delta G_r^\circ$  adalah perubahan energi bebas adsorpsi pada 25°C, tekanan 1 atm. Selanjutnya energi adsorpsi dapat dinyatakan sebagai:

$$E_{\text{ads}} = -\Delta G_r^\circ = RT \ln K \quad (12)$$

Dengan demikian energi adsorpsi dapat dihitung dari harga konstanta kesetimbangan (K) yang diperoleh dari persamaan linear isotherm Langmuir [13].

Penentuan energi adsorpsi, juga dapat digunakan untuk menentukan jenis adsorpsi yang terjadi apakah adsorpsi fisika, adsorpsi kimia, dan adsorpsi elektrostatis (pertukaran ion). Adsorpsi fisika memiliki besaran energi 5-10 kJ/mol; adsorpsi kimia memiliki besaran energi 100-400 kJ/mol; dan adsorpsi elektrostatis memiliki besaran energi sekitar 200 kJ/mol [9]

## PROSEDUR PERCOBAAN

Diagram alir pada gambar 7 menunjukkan bagaimana urutan penelitian dilakukan. Adapun urutannya yaitu perlakuan asam, proses impregnasi dan proses adsorpsi.

Perlakuan asam dengan tujuan dealuminasi ini dilakukan dengan 3 metode, dimana 3 metode diantaranya berdasar pada metode Filho dkk tahun 1995 (dalam [4]) yang ditunjukkan dalam tabel 2.

Impregnasi MBT dilakukan pada zeolit alam hasil perlakuan asam A,B,C, dan D dengan metode sebagai berikut:

30 gram dicelupkan 90 ml larutan kloroform berisi polistirena (0,25% b/v) sambil diaduk rata. Selanjutnya solven dibiarkan menguap pada temperatur ruang. Setelah kering padatan dicelupkan dalam 45 ml larutan aseton yang berisi MBT (8% dan 15% b/v) diaduk rata. Solven dibiarkan menguap pada suhu kamar. Setelah kering padatan dicuci sampai akuades jernih. Keringkan 1 jam dalam oven 80° C (Filho, 1995 dalam [4]).

Proses adsorpsi dalam penelitian ini menggunakan gelas piala yang diisi dengan adsorben dan larutan limbah. Proses adsorpsi meliputi zeolit kontrol, zeolit terimpregnasi, dan pada saat menggunakan limbah asli. Proses adsorpsi dilakukan secara curah. Dibuat seri larutan yang mengandung Cu (II) 50, 100 dan 150 mg/L. sebanyak 100 ml larutan kemudian dimasukkan dalam botol yang berisi 10 gram adsorben. Adsorpsi dilakukan dengan sistem pengadukan selama 60 menit. Larutan di atas permukaan adsorben (supernatan) dalam botol diambil 10 ml tiap 10 menit kemudian disentrifugasi dan diukur menggunakan metode spektrometri.

Zeolit kontrol yang dimaksud adalah zeolit alam yang telah dilakukan perlakuan asam tanpa adanya proses impregnasi. Proses adsorpsi dilakukan secara curah dalam gelas piala dengan bantuan flokulator menggunakan larutan limbah tembaga dengan konsentrasi 50, 100, dan 150 ppm dengan kecepatan pengadukan 100 rpm. Larutan limbah artifisial menggunakan larutan tembaga sulfat. Penentuan konsentrasi menggunakan metode spektrofotometri. Proses adsorpsi secara curah dapat dilihat pada gambar 8

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara garis besar hasil penelitian dapat diuraikan seperti berikut. Zeolit alam yang digunakan berukuran 60 mesh dengan perlakuan asam menggunakan asam klorida (HCl). Pemurnian selain menggunakan asam klorida, juga digunakan oksidator  $\text{KMnO}_4$  dan pemanasan. Kandungan alumunium setelah direndam dengan menggunakan asam klorida mengalami penurunan. Adapun rasio Si/Al sebelum dan sesudah perlakuan yaitu 5,63 menjadi 5,82.

Proses impregnasi melibatkan pelarut organik kloroform dan aseton. Kloroform berfungsi

untuk melarutkan polistirena yang berfungsi sebagai senyawa jembatan antara zeolit dengan MBT. Sedangkan aseton berfungsi untuk melarutkan MBT. Komposisi MBT di dalam zeolit dengan perlakuan asam menggunakan HCl sebesar 68%.

Dari data-data yang terdapat pada tabel 3 diperoleh harga dari beberapa variabel, yaitu kapasitas adsorpsi ( $Q^0$ ), konstanta Langmuir ( $b$ ), energi adsorpsi ( $E_{ad}$ ), volume spesifik ( $V/m$ ), faktor pemisah ( $R$ ), konstanta Lagergren ( $K_L$ ), dan waktu kontak adsorben ( $t$ ). Data-data tersebut diperoleh dengan menggunakan persamaan Langmuir (6), persamaan faktor pemisah (7), persamaan kesetimbangan massa (8), persamaan energi adsorpsi (12), persamaan Lagergren (10), dan persamaan waktu adsorben (11). Volume spesifik dan waktu kontak adsorben merupakan *loading factor* dari suatu pemilihan reaktor.

Kapasitas adsorpsi mempunyai harga mulai dari 0,18 – 144,16 mg/gr. Zeolit MBT 8% dengan kecepatan pengadukan 100 rpm memiliki kapasitas adsorpsi lebih besar daripada yang lain. Kapasitas adsorpsi zeolit meningkat dari 0,893 menjadi 144,16 mg/gr pada saat dilakukan impregnasi dengan menggunakan adsorbat larutan tembaga artifisial. Akan tetapi pada saat menggunakan limbah asli tembaga terjadi penurunan kapasitas adsorpsi dibanding dengan zeolit kontrol. Penurunan ini dimungkinkan karena sifat larutan limbah asli tembaga yang heterogen. Walaupun kapasitas adsorpsinya kecil namun efisiensinya tetap tinggi. Kapasitas adsorpsi dapat digunakan untuk mengetahui seberapa volume reaktor yang dibutuhkan untuk proses adsorpsi. Terlihat bahwa semakin besar kapasitas adsorpsi semakin besar pula volume reaktor.

Faktor pemisah ( $R$ ) pada saat menggunakan zeolit MBT 8% dan ketika menggunakan limbah asli tembaga bernilai positif

sehingga pola adsorpsinya *favorable*. Sedangkan pada zeolit kontrol dan zeolit MBT 15% bernilai negatif. Nilai negatif ini dikarenakan harga konstanta Langmuir yang juga bernilai negatif. Dengan diketahuinya faktor pemisah, dapat diketahui jenis adsorben mana yang baik untuk digunakan dalam proses adsorpsi.

Waktu kontak adsorben juga mengalami peningkatan dari 60,55 menit untuk zeolit kontrol menjadi di bawah 20 menit untuk zeolit MBT. Ketika menggunakan limbah asli waktu kontak adsorben sebesar 16,15 menit. Terlihat bahwa dengan adanya impregnasi, maka waktu kontak adsorben dapat menjadi lebih cepat dibanding zeolit kontrol. Waktu kontak adsorben yang cepat membuat proses adsorpsi di dalam zeolit-MBT juga menjadi lebih cepat. Akan tetapi waktu kontak adsorben dalam proses adsorpsi tanpa pengadukan cukup lambat sekitar 106,29 menit. Dapat terlihat bahwa proses pengadukan cukup mempengaruhi waktu kontak adsorben. Dengan waktu yang cepat dan efisiensi yang tinggi, maka zeolit-MBT dapat digunakan sebagai alternatif media untuk proses adsorpsi selain menggunakan karbon aktif.

Energi yang dihasilkan mempunyai harga mulai (-8402,9) – (-11167,6) J/mol. Nilai energi yang negatif (-) berarti bahwa proses adsorpsi terjadi secara spontan. Namun karena waktu kontak adsorben yang dihasilkan jika tidak menggunakan pengadukan berkisar 106,29 menit, maka pengadukan berfungsi untuk membantu mempercepat proses adsorpsi yang terjadi. Terlihat bahwa walaupun proses adsorpsi berlangsung secara spontan, namun bila tidak dilakukan pengadukan maka waktu kontak adsorben menjadi cukup lama. Reaktor yang digunakan dapat berupa reaktor *fluidized bed*. Proses adsorpsi yang terjadi merupakan proses adsorpsi fisika (*physisorption*) dengan ikatan yang

terbentuk yaitu ikatan hidrofobik dan ikatan van der Waals.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan, sebagai berikut :

1. Kapasitas adsorpsi zeolit kontrol yang menggunakan limbah tembaga artifisial sebesar 0,893 mg/gr dapat ditingkatkan menjadi 144,16 mg/gr dengan adanya impregnasi. Adanya logam lain di dalam limbah asli tembaga mempengaruhi nilai kapasitas adsorpsi zeolit yaitu sebesar 0,1796 mg/gr akan tetapi efisiensi penyisihannya masih tetap tinggi.
2. Energi adsorpsi yang dihasilkan berkisar antara (-8402,9) – (-11203,5) J/mol. Waktu kontak adsorben berubah lebih cepat dari 60,6 menit untuk zeolit kontrol menjadi 16,15 menit untuk zeolit-MBT 8% dengan limbah asli. Sedangkan jika tanpa pengadukan, waktu kontak adsorben cukup lambat sebesar 106,3 menit. Harga energi yang negatif menunjukkan bahwa proses adsorpsi dapat berjalan secara spontan namun tetap membutuhkan pengadukan yang dapat mempercepat proses adsorpsi.
3. Proses adsorpsi yang terjadi merupakan proses adsorpsi fisik dengan pola adsorpsi yang *favorable* untuk zeolit-MBT 8% dengan kecepatan pengadukan 100 rpm. Ikatan yang terbentuk yaitu ikatan hidrofobik dan ikatan van der Waals. Proses adsorpsi fisik dapat memungkinkan zeolit diregenerasi dan tembaga dipergunakan kembali dalam industri.

## DAFTAR RUJUKAN

[1] Wardhana, W.A. (2004), *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Andi Offset, Yogyakarta

- [2] Eckenfelder Jr., W.W. (2000), *Industrial Water Pollution Control*, McGraw-Hill, Inc., Singapore
- [3] Virta, R.L. 1997. Zeolites, *U.S. Geological Survey – Mineral Information p. 1–3*
- [4] Sriyanti. 2000. *Impregnasi 2-merkartobenzotiol Zeolit Alam dan Pemanfaatannya Pada Adsorpsi Selektif Cadmium (II) dan Besi (III) Dalam Media Air*, Tesis Program Magister Jurusan Kimia, Universitas Gadjah Mada.
- [5] Hoskins, J.S., Karanfil, T., and Serkiz, S.M. (2002), Removal and Sequestration of Iodide Using Silver-Impregnated Activated Carbon, *Environ. Sci. Technol*, **36**, 784-789.
- [6] Oscik, J. 1982. *Adsorption*, John Wiley and Sons, Chisester.
- [7] Shaw, D.J. 1983. *Introduction to Colloid and Surface Chemistry*, Butterworth & Co., Ltd., New York
- [8] Leidler. 1980. *Chemical Kinetics*, McGraw Hill Publishing Co, Ltd., New Delhi.
- [9] Weber Jr., W.J., DiGiano, F.A. (1996), *Process Dynamics In Environmental Systems*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [10] Akinbiyi, A. 2000. *Removal of Lead From Aqueous Solutions by Adsorption Using Peat Moss*, A Thesis: Environmental System Engineering, Faculty of Graduate Studies and Research, University of Regina, Canada.
- [11] Metcalf and Eddy, Inc. 2003. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse (4<sup>th</sup> edition)*, McGraw-Hill, Inc., New York.
- [12] Gupta, V.K., and Sharma, S. 2002. Removal of Cadmium and Zinc from Aqueous Solution Using Red Mud, *Environ. Sci. Technol*, **36**, 3612-3617.
- [13] Stumm, W. and Morgan, J.J. 1981. *Aquatic Chemistry*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

## LAMPIRAN

**Tabel 1.** Faktor Pemisahan dan Pola Adsorpsi

Harga R	Pola Adsorpsi
$R > 1$	<b>Unfavorable</b>
$R = 1$	<i>Linier</i>
$0 < R < 1$	<i>Favorable</i>
$R = 0$	<i>Irreversible</i>

**Tabel 2.** Proses Perlakuan Asam Terhadap Zeolit Alam

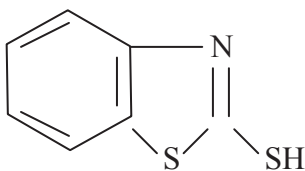
Zeolit	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 6M	HCl 6M	KMnO <sub>4</sub> 0,5M	Pengadukan	Pencucian	Pengeringan
<b>A</b>	+	-	+	4 jam 80°C	Sampai netral	Temperatur kamar semalam
<b>B</b>	+	-	+	4 jam 80°C	Sampai netral	80°C selama 12 jam
	+	-	-	5 jam 80°C	Sampai netral	-
	-	+	-	3 jam 80°C	Sampai netral	80° selama 12 jam
<b>C</b>	-	+	+	4 jam 80°C	Sampai netral	80° selama 12 jam

Keterangan: Untuk Zeolit C, proses berlangsung secara kontinu dari baris pertama sampai baris ketiga.

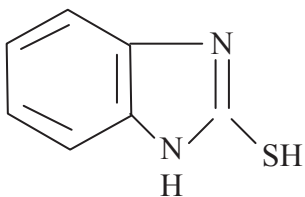
**Tabel 3.** Tabulasi Hasil Penelitian

Variasi Zeolit	Q <sup>o</sup> (mg/gr)	b x 100 (L/gr)	E <sub>ad</sub> (J/mol)	R <sup>(1)</sup>	V/m <sup>(1)</sup> (L/gr)	K <sub>L</sub> <sup>(1)</sup> (mg/gr.menit)	t <sup>(1)</sup> (menit)	η <sup>(1)</sup> (%)
Zeolit (Kontrol)	0,893	-80,9	-	-0,016	0,011	0,02	60,55	21,6
Zeolit (8%, 50 rpm)	120,20	53,5	-9925,2	0,022	1,5	0,054	1,56	93,1
Zeolit (8%, 100 rpm)	144,16	88,0	-11167,6	0,013	1,8	0,034	0,75	92
Zeolit (8%, 150 rpm)	122,26	29,0	-8402,9	0,04	1,5	0,038	15,34	83,3
Zeolit (15%, 100 rpm)	86,98	-13,6	-	-0,102	1,1	0,023	7,16	87,3
Zeolit (LA, 100 rpm)	0,18	89,3	-11203,5	0,007	0,001	0,039	16,15	85,7
Zeolit (LA, 0 rpm)	0,038	-1,005	-	-0,006	0,0003	0,017	106,29	12,8

Keterangan: 1 = merupakan rata-rata dari konsentrasi larutan 50, 100, dan 150 ppm; sedangkan untuk limbah asli merupakan rata-rata dari konsentrasi limbah asli

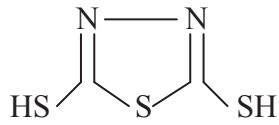


**Gambar 1.** Struktur Senyawa 2-merkaptobenzotiazol (MBT)

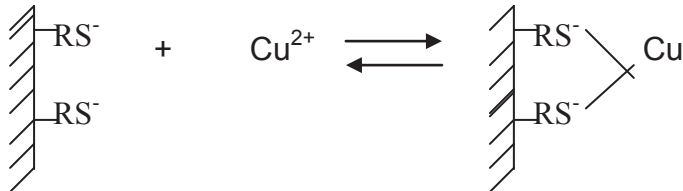




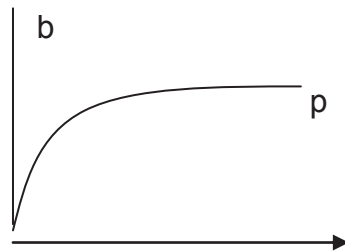
**Gambar 2.** Struktur Senyawa 2-merkaptobenzimidazol (MBI)



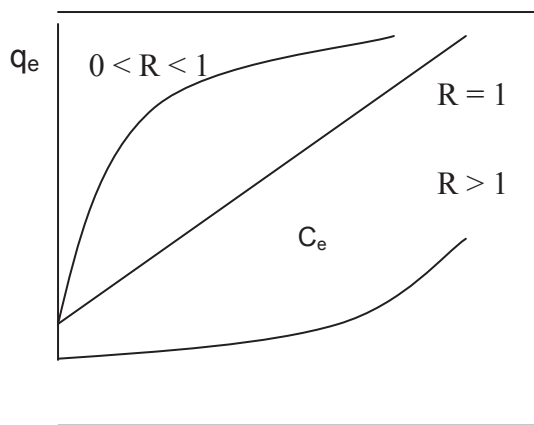
**Gambar 3.** Struktur Senyawa 2,5-dimerkapto-1,3,4-tiadiazol (DMT)



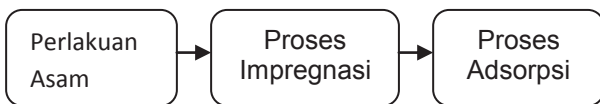
**Gambar 4.** Proses Masuknya Cu Dalam Zeolit-MBT



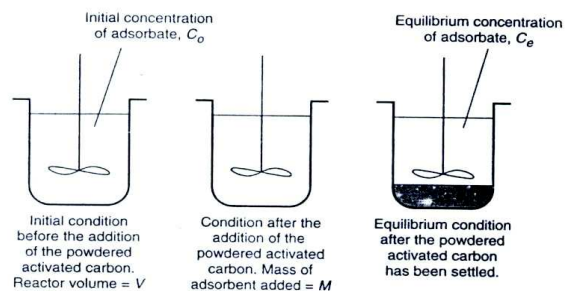
**Gambar 5.** Isoterm Adsorpsi Langmuir



**Gambar 6.** Gambaran Pola Adsorpsi [11]



**Gambar 7.** Diagram Alir Penelitian



**Gambar 8.** Proses Adsorpsi Secara Curah