

TINJAUAN KESETIMBANGAN ADSORPSI TEMBAGA DALAM LIMBAH PENCUCI PCB DENGAN ZEOLIT

NOOR ANIS KUNDARI*, SLAMET WIYUNIATI**

*Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008, DIY 55010
Telp. 0274.489716, Faks.489715

**Pusat Pendidikan dan Latihan-BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440
Telp.021.7659409, Faks 7659408

Abstrak

TINJAUAN KESETIMBANGAN ADSORPSI TEMBAGA DALAM LIMBAH PENCUCI PCB DENGAN ZEOLIT. Zeolit alam mempunyai potensi sebagai penjerap logam berat dalam pengolahan limbah cair yang disebabkan oleh kapasitas penjerapan dan selektivitasnya tinggi, berumur panjang, dan jumlahnya melimpah di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model kesetimbangan adsorpsi yang sesuai pada penjerapan Cu pdalam limbah pencuci PCB dengan zeolit alam. Penelitian dilakukan secara batch dengan menggunakan penangas air. Variabel yang diteliti adalah konsentrasi awal limbah, suhu, dan pH proses. Analisis dilakukan secara titrasi menggunakan EDTA dan indikator murrexid. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi dapat diwakili dengan model persamaan kesetimbangan adsorpsi Langmuir dengan nilai koefisien korelasi (R^2) dan nilai kapasitas maksimum zeolit (q^0 , gCu/gZeolit) untuk suhu 33 °C, 39 °C, dan 43 °C masing-masing sebesar 0,9977, 0,9961 dan 0,9852 dan 0,650, 0,689, 0,735. Dari percobaan kesetimbangan diketahui energi pertukaran ion dalam larutan Cu sebesar 3,9187 kJ/mol. Keasaman proses yang menghasilkan penjerapan maksimum adalah pada pH 7, dengan kandungan Cu dalam efluen 8,89 mg/L. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat digunakan sebagai acuan untuk pengolahan limbah pencuci PCB.

Kata kunci: zeolit, limbah pencuci PCB, kesetimbangan adsorpsi

Abstract

ADSORPTION EQUILIBRIA OF COPPER IN LIQUID WASTE TREATMENT OF PCB WASHING PROCESS BY USING ZEOLITIES. Natural Zeolite are capable of removing quantities of heavy metals from wastewaters, that they have potential properties as adsorbent for their lifetime, capacity, and selectivity. Meanwhile, Indonesia has wide and large-scale distribution of zeolite. It give easy access to these minerals for characterization with respect to their function as adsorbent. The objective of the experiment is to know maximum zeolite capacity to liquid waste containing Cu^{2+} ion and heat of ion exchange in adsorption equilibrium observed. This experiment was carry out in a batch by using water bath. The variables studied in this experiments were concentration of waste, temperature, and pH. Analysis with titration method using EDTA and murrexide as indicator. The result showed good agreement with Langmuir adsorption equilibrium with correlation coefficient (R^2) and maximum zeolite capacity (q^0 , gCu/gZeolite) at temperature 33 °C, 39 °C, and 43 °C were 0,9977, 0,9961, and 0,9852 and 0,650, 0,689, 0,735. Heat of ion exchange which was determined by equilibrium data for Cu was 3, 9187 kJ/mol. The optimum pH adsorption was 7, with contains of Cu in effluent was 8,89 mg/L. The research result could be used to treat the waste PCB washing process.

Keywords: Zeolite, PCB washing Process, adsorption equilibrium

PENDAHULUAN

Salah satu komponen utama peralatan elektronik adalah *Printed Circuit Board (PCB)*. Pada proses pembuatan PCB ini, digunakan beberapa bahan kimia yang akan bereaksi dengan lapisan tembaga pada PCB untuk menghilangkan tembaga yang tidak termasuk dalam susunan sirkuit. Bahan-bahan kimia itu antara lain gas klor, natrium khlorat, hidrogen peroksid, atau amoniak. Senyawa tembaga yang terbentuk dari reaksi ini merupakan limbah dan jenisnya tergantung pada bahan kimia yang digunakan. Limbah yang diolah dalam penelitian ini merupakan hasil proses pencucian PCB yang menggunakan hidrogen peroksid. Dalam pemakaiannya proses ini memerlukan asam khlorid agar bereaksi dengan tembaga sehingga menghasilkan kupri khlorid dan air. Limbah yang dihasilkan terdiri atas kupri khlorid dan asam khlorid yang berasal dari sisa pereaksi. Kandungan kupri khlorid dalam cairan itu sekitar 120-140 g/L dan asam klorid 50 – 60 g/L^[1]. Melihat besarnya kandungan tembaga dan asam di dalamnya, limbah ini harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Standar bagi pembuangan limbah cair yang mengandung tembaga ke lingkungan adalah kandungan tembaga tidak lebih dari 1 bpj^[2].

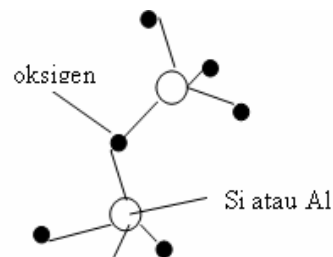
Tersebarinya logam Cu di atas ambang batas yang diizinkan akan menimbulkan keracunan pada manusia dan dapat menyebabkan kematian. Oleh karena itu, diperlukan usaha-usaha yang serius untuk menanggulangi masalah pencemaran agar konsentrasi Cu dalam air limbah dalam batas aman. Usaha-usaha pengendalian dan pengolahan limbah logam belakangan ini semakin berkembang, yang mengarah pada upaya-upaya pencarian metode-metode baru yang murah, efektif, dan efisien.

Peristiwa adsorpsi merupakan suatu fenomena permukaan, yaitu terjadinya penambahan konsentrasi komponen tertentu pada permukaan antara dua fase. Adsorpsi dapat dibedakan menjadi adsorpsi fisis (*physical adsorption*) dan adsorpsi kimia (*chemical adsorption*). Secara umum adsorpsi fisis mempunyai gaya intermolekular yang relatif lemah, sedangkan pada adsorpsi kimia terjadi pembentukan ikatan kimia antara

molekul adsorbat dengan molekul yang terikat pada permukaan adsorben.

Pertukaran ion adalah suatu fenomena atau suatu proses yang melibatkan pertukaran dapat balik antara ion-ion dalam larutan dengan ion yang terikat dalam bahan penukar ion. Pada proses itu, tidak ada perubahan secara permanen dalam struktur padatan. Mekanisme pertukaran ini didasarkan pada sifat *sorptif* dari tempat yang bermuatan negatif dalam adsorben terhadap ion bermuatan positif yang terjadi karena interaksi gaya Coulomb. Pertukaran ion dapat dikategorikan juga sebagai proses *sorption* seperti halnya adsorpsi, yaitu sejumlah tertentu bahan terlarut (*solute*) di fase fluida secara selektif tertransfer ke dalam suatu partikel yang tak larut. Pertukaran ion kadang disebut juga *counterion adsorption*^[3].

Unit pembentuk utama yang membangun struktur mineral Zeolit adalah SiO_2 dan Al_2O_3 yang membentuk tetrahedral dimana setiap atom oksigen menempati/berada pada keempat sudutnya. Struktur yang terbentuk adalah jaringan tiga dimensi dengan setiap atom oksigen digunakan bersama oleh dua tetrahedral seperti dalam gambar berikut ini.



Gambar 1. Unit Penyusun Zeolit

Struktur rangka utama zeolit ditempati oleh atom silikon atau aluminium dengan empat atom oksigen di setiap sudutnya. Ini merupakan sisi aktif Zeolit yang menyebabkan zeolit memiliki kemampuan sebagai penukar ion, adsorben, dan katalis. Atom oksigen yang terdapat dalam struktur zeolit tersebut terbagi antara dua tetrahedral, sehingga membentuk suatu rangka yang bersambung. Penggantian Si^{4+} dengan Al^{3+} dalam kerangka zeolit menyebabkan kerangka bermuatan negatif. Karena Zeolit bermuatan negatif maka perlu diaktifkan terlebih dahulu dengan menggunakan kation untuk menyeimbangkan muatan. Proses pengaktifan Zeolit dapat menggunakan asam seperti HCl atau garam seperti NaCl dan NH_4Cl .^[4]

Tembaga (Cu) adalah logam dengan nomor atom 29, massa atom 63,546, titik lebur 1083 °C, titik didih 2310 °C, jari-jari atom 1,173 Å dan jari-jari ion Cu²⁺ 0,96 Å. Tembaga adalah logam transisi (golongan I B) yang berwarna kemerahan, mudah regang dan mudah ditempa. Tembaga bersifat racun bagi makhluk hidup. Isoterm adsorpsi merupakan suatu keadaan kesetimbangan yaitu tidak ada lagi perubahan konsentrasi adsorbat baik di fase terjerap maupun pada fase gas atau cair. Isoterm adsorpsi biasanya digambarkan dalam bentuk kurva berupa plot distribusi kesetimbangan adsorbat antara fase padat dengan fase gas atau cair pada suhu konstan. Isoterm adsorpsi merupakan hal yang mendasar dalam penentuan kapasitas dan afinitas adsorpsi suatu adsorbat pada permukaan adsorben.

Kurva isoterm untuk adsorpsi logam dalam sistem cair-padat didasarkan pada pengukuran konsentrasi logam di fase cair pada kesetimbangan, sedangkan konsentrasi logam pada fase padat diperoleh dari neraca massa menggunakan larutan pada saat awal dan akhir waktu percobaan dengan persamaan berikut.

$$q_e = (C_o - C_e)v/m \quad (1)$$

dengan :

- q_e = Jumlah adsorbat terserap per massa padatan pada kesetimbangan, Mek/g
- C_o = Konsentrasi awal larutan, Mek/L
- C_e = Konsentrasi larutan pada kesetimbangan, Mek/L
- m = Massa Zeolit, g
- v = Volume larutan pada percobaan, L

Dalam penelitian ini akan digunakan 2 model kesetimbangan sebagai pendekatan untuk menggambarkan perilaku kesetimbangan adsorpsi ion Cu²⁺ dalam limbah cair bekas pencuci PCB dengan Zeolit .

Langmuir mengembangkan suatu model kuantitatif untuk menjelaskan fenomena isoterm adsorpsi dengan pendekatan kinetika^[5]. Analog dari penurunan persamaan adsorpsi pada gas, Langmuir mengasumsikan bahwa pada permukaan adsorben terdapat situs-situs aktif yang proporsional dengan luas permukaan.

Penurunan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir sistem cair-padat didasarkan pada kesetimbangan proses adsorpsi dan desorpsi adsorbat dipermukaan padatan:

$$r_{ads} = r_{des} \quad (2)$$

$$q_e = q^\circ K C_e / (K C_e + 1) \quad (3)$$

dalam bentuk persamaan linier,

$$C_e/q_e = 1/(q^\circ K) + C_e/q \quad (4)$$

dengan mengambil $C_e/q_e = Y$, $1/(q^\circ K) = A$, $C_e/q^\circ = B$ dan $C_e = X$, maka

$$Y = A + BX \quad (5)$$

Konstanta-konstanta pada persamaan (3) diselesaikan dengan cara kuadrat terkecil.

Boudecker pada tahun 1895 mengusulkan suatu persamaan empiris untuk peristiwa isoterm adsorpsi berbentuk^[6]

$$q_e = K_f C_e^n \quad (6)$$

Dengan K_f dan n adalah suatu tetapan. Persamaan ini dikenal dengan persamaan isoterm adsorpsi Freundlich.

Perhitungan tetapan K_f dan n dapat diperoleh dari logaritmiknya berupa,

$$\log q_e = \log K_f + n \log C_e \quad (7)$$

Konstanta pada Persamaan (6) dapat ditentukan dengan metode kuadrat terkecil.

Perhitungan energi pertukaran ion berdasarkan persamaan Langmuir dengan kurva *isotherm*^[7].

Persamaan Langmuir:

$$C_q = \frac{C_{q \max} b(T)}{1 + b(T)C_e} \quad (8)$$

dengan

$$b(T) = b_0 \cdot e^{-Q/RT} \quad (9)$$

Dari uraian di atas dapat diduga bahwa :
1) Limbah cair bekas pencuci PCB yang sudah diolah dengan proses pengendapan masih mengandung logam Cu di atas nilai batas ambang yang diizinkan sehingga perlu diolah lebih lanjut; 2) Adsorpsi dengan zeolit diharapkan mampu menurunkan kandungan Cu didalam limbah hasil olahan sampai batas aman. 3) Model kesetimbangan reaksi pada pengolahan limbah cair bekas pencuci PCB dengan zeolit diharapkan sesuai dengan model kesetimbangan yang diajukan. Dengan variasi

konsentrasi awal dapat dibuat kurva kesetimbangan adsorpsi Langmuir dan Freundlich.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan adalah limbah cair bekas pencuci PCB yang mengandung ion Cu^{2+} yg diperoleh dari Pabrik Elektronik HITACHI CHEMICAL PRODUCT INDONESIA, Cikarang, Jawa Barat. Aquades (H_2O), Zeolit alam jenis Modernite, diperoleh dari PT Purosani Karya Wiguna, Jl. Wates Km 7,5 Yogyakarta, dianalisis kadar Cu dan asam bebasnya dengan cara titrasi. Bahan yang digunakan untuk pengaktifan Zeolit : NH_4Cl dan Kertas pH. Bahan yang digunakan untuk analisis (titrasi) : NH_4Cl ; NH_4OH ; Murrexid; Kertas pH dan EDTA

Alat

Peralatan untuk pengaktifan zeolit, meliputi: cawan porselin, ayakan lolos 0,250mm dan tertahan 0,125mm, peralatan gelas (beaker gelas, gelas ukur, pipet volum), timbangan, pemanas (oven). Alat percobaan pada proses adsorpsi menggunakan penangas air. Peralatan yang digunakan untuk analisis (titrasi) meliputi: peralatan gelas (buret; pipet tetes; pipet volum; beaker gelas; erlenmeyer; gelas ukur), dan timbangan analitis.

CARA PENELITIAN

Aktivasi Zeolit

Zeolit yang berasal PT Purosani Karya Wiguna, digerus dan diayak hingga memperoleh ukuran butir $-125+250$ mm (standar ASTM 11) kemudian ditimbang sebanyak 15 g, dicuci dengan aquades dan dikeringkan dalam oven pada suhu $110 - 120$ °C selama 2 jam. Setelah itu Zeolit dimasukkan ke dalam larutan NH_4Cl 1N dengan perbandingan 1 gram Zeolit dalam 10 ml larutan dan

direndam selama 48 jam, lalu disaring dan di cuci dengan aquades sampai netral, keringkan dalam oven pada suhu $110 - 120$ °C selama 3 jam. Zeolit ini telah aktif dan siap digunakan sebagai pengadsorpsi.

Percobaan Adsorpsi

Limbah cair diencerkan sehingga memiliki konsentrasi 10, 20, 30, 40, 60, 100, 200, 500, 1000, 2000 dan 3000 ppm. Masing-masing diambil sebanyak 100 mL dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL dan masing-masing ditambah 0,3 g Zeolit aktif lalu dimasukkan ke dalam penangas air yang suhunya sudah diatur seperti yang dikehendaki. Erlenmeyer itu didiamkan dalam penangas air 24 jam agar mencapai kesetimbangan. Setelah itu, larutan disaring dan filtratnya dianalisis dengan cara titrasi. Untuk variasi pH digunakan konsentrasi awal 200 ppm dan pH larutan diatur hingga pH menjadi 4, 6, 7, 8, 10 dan 11, sedangkan proses selanjutnya sama.

Analisis Hasil

Filtrat dari seluruh sampel dianalisis dengan cara titrasi menggunakan EDTA dengan indikator murrexid prosedurnya adalah sebagai. Sejumlah volume tertentu filtrat diambil (diperkirakan konsentrasi Cu dalam batas ukur analisis menggunakan EDTA), lalu dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250mL, ditambah aquades hingga volume 100 mL. Larutan diatur pH-nya menjadi 8 dengan cara menambahkan NH_4Cl (1N) atau NH_4OH (1:5, di dalam aquades). Setelah itu ditambah beberapa tetes Murexid (1 g dilarutkan dalam beberapa mL aquades, diambil beningannya dan harus baru), lalu ditrasi menggunakan EDTA 0,1N satu (1)mL EDTA 0,1 N setara dengan 0,635 mg Cu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian pengaruh konsentrasi limbah dan suhu proses dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh Konsentrasi Awal Limbah dan Suhu Proses

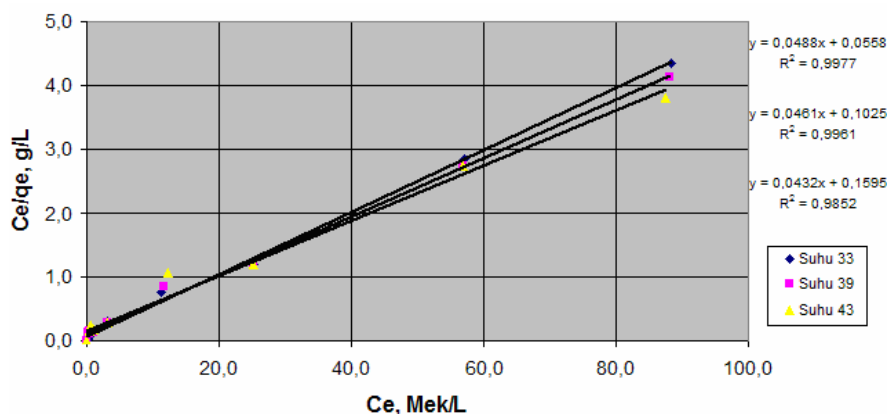
	C_o		C_e , Mek/L, pada suhu, °C			q_e , Mek/g, pada suhu, °C		
	Mg/L	Mek/L	33	39	43	33	39	43
10		0,3150	0,0000	0,0000	0,0000	1,0499	1,0499	1,0499
20		0,6299	0,0000	0,0000	0,0000	2,0997	2,0997	2,0997
30		0,9449	0,0800	0,3000	0,3200	2,8829	2,1496	2,0829
40		1,2598	0,1200	0,4400	0,5600	3,7995	2,7328	2,3328
60		1,8898	0,3400	0,4800	0,7200	5,1659	4,6992	3,8992
100		3,1496	0,8200	1,0000	1,1200	7,7654	7,1654	6,7654
200		6,2992	3,1600	3,0400	3,0400	10,4640	10,8640	10,8640
500		15,7480	11,3000	11,6000	12,3000	14,8268	13,8268	11,4934
1000		31,4961	25,2000	25,2000	25,2000	20,9869	20,9869	20,9869
2000		62,9921	57,0000	56,8000	56,8000	19,9738	20,6404	20,6404
3000		94,4882	88,4000	88,1000	87,6000	20,2940	21,2940	22,9606

Dari Tabel 1 dapat dilihat kolom q_e yaitu jumlah adsorbat terjerap per berat padatan pada kesetimbangan (Mek/g). Semakin tinggi konsentrasi awal limbah (C_o) nilai q_e semakin besar hingga pada C_o 31,4961 Mek/L atau 1000 mg/L dan/atau yang lebih besar lagi, nilai q_e relatif tetap. Hal ini karena kemampuan menjerap zeolit terhadap ion Cu^{2+} sudah maksimum dengan kata lain kapasitas jerap maksimum zeolit sudah tercapai.

Fenomena tersebut terjadi pada tiga suhu proses yang berbeda. Dari Tabel 1 dapat dilihat juga semakin besar suhu proses nilai q_e semakin

kecil. Ini berarti semakin tinggi suhu operasi semakin sedikit ion Cu yang terjerap oleh zeolit. Hal ini terjadi karena semakin tinggi suhu operasi pergerakan ion semakin cepat sehingga jumlah ion Cu yang terjerap oleh Zeolit semakin berkurang.

Dari data yang didapat dibuat grafik hubungan antara konsentrasi larutan pada kesetimbangan C_e , Mek/L (Sumbu x) versus q_e/C_e , g/L (Sumbu y), sesuai dengan model persamaan kesetimbangan adsorpsi Langmuir pada berbagai suhu proses seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Q_e/C_e Dengan Konsentrasi Larutan Pada Kesetimbangan, C_e , Mek/L, G/L Pada Persamaan Langmuir

Dari Gambar 2 terlihat bahwa grafik yang diperoleh adalah grafik linier dengan persamaan $Y = A+BX$, dengan nilai koefisien korelasi (R^2) mendekati 1 untuk ketiga suhu yang berbeda. Semakin rendah suhu operasi

yang nilai koefisien korelasi semakin mendekati 1, sehingga dapat dikatakan bahwa data-data yang diperoleh dari penelitian sesuai dengan model kesetimbangan adsorpsi Langmuir. Dari persamaan pada Gambar 3, juga dapat diketahui

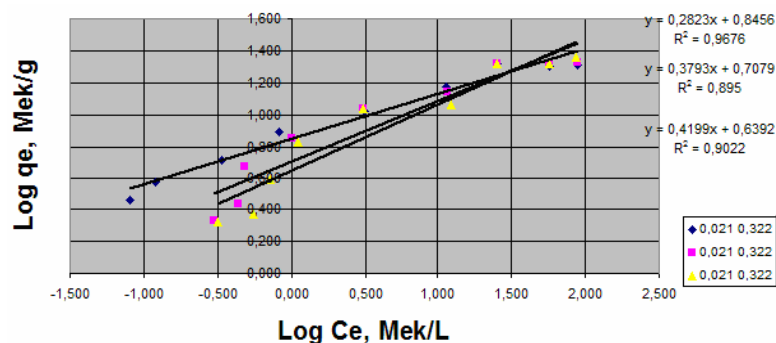
nilai A dan B sehingga dapat dihitung konstanta kesetimbangan persamaan Langmuir (K) dan kapasitas adsorbat maksimum untuk komponen tunggal yang terjerap per berat padatan (q° , Mek/g), dalam penelitian ini adalah kapasitas jerap maksimum 1g Zeolit terhadap ion Cu^{2+} . Setelah diketahui nilai q° dan K seperti terlihat pada Tabel 2 maka dapat diketahui persamaan kesetimbangan adsorpsi Langmuir yang mewakili proses yang terjadi adalah sebagai berikut.

$$\text{Suhu } 33^\circ\text{C} \text{ adalah } q_e = \frac{17,9221C_e}{0,8746C_e + 1} \quad (10)$$

$$\text{Suhu } 39^\circ\text{C} \text{ adalah } q_e = \frac{12,109C_e}{0,4498C_e + 1} \quad (11)$$

$$\text{Suhu } 43^\circ\text{C} \text{ adalah } q_e = \frac{6,2685C_e}{0,2708C_e + 1} \quad (12)$$

Dari data yang didapat, dibuat grafik hubungan antara log konsentrasi larutan pada kesetimbangan, log C_e , Mek/L (Sumbu mendatar) terhadap log Jumlah adsorbat terjerap per berat padatan pada kesetimbangan log q_e , Mek/g (Sumbu tegak), sesuai dengan model persamaan kesetimbangan 'Freundlich' seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Log Q_e , Mek/G Dengan Log C_e , Mek/Gl Pada Persamaan Freundlich

Dari nilai konstanta yang diperoleh dapat ditulis persamaan kesetimbangan adsorpsi Freundlich sebagai berikut.

$$\text{Suhu } 33^\circ\text{C} \text{ } q_e = 7,0081C_e^{0,2823} \quad (13)$$

$$\text{Suhu } 39^\circ\text{C} \text{ } q_e = 5,1039C_e^{0,3793} \quad (14)$$

$$\text{Suhu } 43^\circ\text{C} \text{ } q_e = 4,3571C_e^{0,4199} \quad (15)$$

Tabel 2. Hasil perhitungan model kesetimbangan adsorpsi 'Langmuir' dan 'Freundlich'

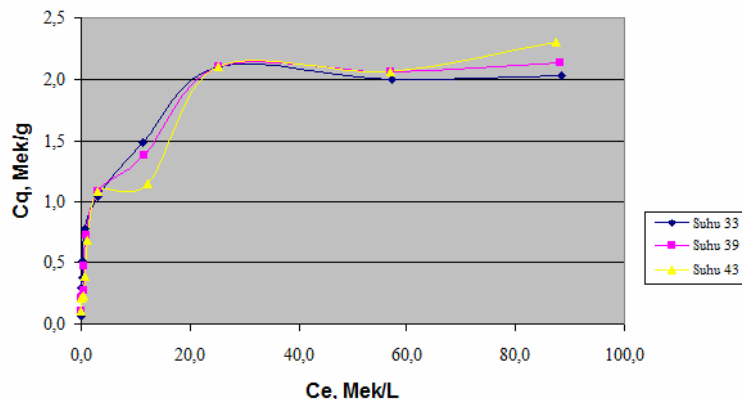
Suhu	Model Kesetimbangan 'Langmuir'			Model Kesetimbangan 'Freundlich'		
	R ²	q°	K	R ²	N	K _f
33	0,9977	20,4918	0,8746	0,9676	0,2823	7,0081
39	0,9961	21,6920	0,4498	0,8950	0,3793	5,1039
43	0,9852	23,1482	0,2708	0,9020	0,4199	4,3571

Dari Tabel 2 dapat dilihat perbandingan nilai koefisien korelasi (R^2) dari persamaan kesetimbangan adsorpsi Langmuir dan Freundlich. Dari nilai R^2 tersebut dapat diketahui model persamaan kesetimbangan mana yang dapat mewakili reaksi yang terjadi pada penelitian ini. Nilai R^2 dari model Langmuir lebih mendekati 1 dibandingkan model Freundlich untuk berbagai suhu. Hal ini menunjukkan bahwa data-data yang diperoleh

lebih mengikuti model persamaan kesetimbangan adsorpsi Langmuir dari pada Freundlich, atau dapat dikatakan bahwa model persamaan kesetimbangan adsorpsi Langmuir dapat mewakili reaksi yang terjadi pada proses pengolahan limbah bekas pencuci PCB yang mengandung logam Cu dengan menggunakan zeolit sebagai pengadsorpsi. Perhitungan energi pertukaran ion dapat didekati dengan persamaan:

$b(T) = b_0 \cdot e^{-Q/RT}$; dengan bentuk linier dari persamaan di atas adalah:

$\ln b = \ln b_0 - Q/RT$; dengan nilai $b(T)$ diperoleh dari grafik isoterm (Gambar 4) dan persamaan Langmuir Persamaan 8.



Gambar 4. Grafik Isoterm Larutan Cu Pada Berbagai Suhu

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa dengan kenaikan konsentrasi Cu pada larutan (C_e) maka konsentrasi Cu pada adsorben (C_q), dalam hal ini zeolit, juga bertambah. Tetapi pada nilai C_e 1000 mg/L atau 31,496 Mek/L dan yang lebih besar nilai C_q relatif konstan untuk ketiga suhu yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan jerap zeolit terhadap ion Cu sudah maksimum.

Dari grafik isoterm diperoleh data konstanta b pada berbagai suhu 33 °C, 39 °C, 43 °C berturut turut adalah 46,698, 2,776, dan 0,4228.

Substitusi nilai-nilai b dan T (°K) di atas ke Persamaan (9) diperoleh nilai energi pertukaran ion Cu sebesar 3,9187 kJ/mol.

Hasil penelitian pengaruh pH dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari Tabel 3 terlihat bahwa nilai efisiensi meningkat dari pH 2 hingga pH 7 dan turun kembali hingga pH 11.

Tabel 3. Pengukuran Kosentrasi Cu Pada Kesetimbangan Dengan Variasi pH, Konsentrasi Awal 200 Mg/L

pH	Vol.EDTA mL	Ce mg/L	Cq mg/g	Efisiensi %
2	30	190,50	31,67	4,75
4	29	184,15	52,83	7,93
6	20	127,00	243,33	36,50
7	1	8,89	637,03	95,56
8	22	139,70	201,00	30,15
10	23	146,05	179,83	26,98
11	22	139,70	201,00	30,15

Fenomena ini disebabkan oleh pada pH kurang dari 7 zeolit lebih mudah mengikat ion H dibanding ion Cu sedangkan pada pH lebih dari 7 zeolit lebih mudah mengikat ion Cl dibanding ion Cu, dan pada pH 7 tidak ada ion H maupun ion Cl yang bebas sehingga zeolit langsung mengikat ion Cu. Oleh karena itu pada pH 7 efisiensi zeolit menyerap ion Cu adalah yang terbesar yaitu 95,56%, dan merupakan pH optimum pada penelitian ini.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Limbah cair yang mengandung kupri khlorid dengan konsentrasi di bawah 30 mg/L dapat diolah dengan menggunakan zeolit, dan menghasilkan larutan dengan kandungan logam Cu di bawah nilai ambang batas (1 bpj). Untuk konsentrasi yang lebih tinggi penggunaan zeolit sebagai penjerap logam Cu kurang efektif.
2. Model yang sesuai dengan percobaan adalah model kesetimbangan adsorpsi Langmuir dengan persamaan dan kapasitas jerap maksimum zeolit (q^0) sebagai berikut:

a. Suhu 33°C adalah $q_e = \frac{17,9221 C_e}{0,8746 C_e + 1}$

$q^0 = 0,650 \text{ gCu/gZeolit}$

b. Suhu 39°C adalah $q_e = \frac{1,2109 C_e}{0,4498 C_e + 1}$

$q^0 = 0,689 \text{ gCu/gZeolit}$

c. Suhu 43°C adalah $q_e = \frac{6,2685 C_e}{0,2708 C_e + 1}$

$q^\circ = 0,735 \text{ gCu/gZeolit}$

3. pH optimum pada penelitian ini adalah pH 7 dengan efisiensi penjerapan 95,56 %, dengan kandungan Cu^{2+} dalam larutan sebesar 8,89 mg/L.
4. Energi pertukaran ion Cu^{2+} terhadap zeolit sebesar 3,9187 kJ/mol.

DAFTAR PUSTAKA

1. ELDA MELWITA, 2003, "Pengolahan Limbah Cair yang Mengandung Kupri Khlrid Dengan Kapur Padam Dalam Reaktor Tangki Berpengaduk Ditinjau Dari Segi Kinetika" Tesis Program Pasca Sarjana, UGM, Yogyakarta
2. KIRK, R.E. and OTHMER, D.F., 1979a, *Encyclopedia Of Chemical Technology*, Vol. 4, pp 432 – 436, John Wiley & Sons, New York
3. FORSTNER, U. and WITTMAN, T.W., 1983, "Metal Pollution in The Aquatic Environment", pp 207 – 213, Springer Verlag, Berlin.
4. MURSI SUTARTI dan MINTA RAHMAWAATI, 1994, 'Zeolit'. Tinjauan Literatur Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah LIPI, Jakarta
5. OSCIK, J., 1982, *Adsorption*, John Wiley & Sons Chi Chester.
6. SHAW, D.J., 1983, *Introduction to Colloid and Surface Chemistry*, Butter worth & Co. Ltd., New York.
7. DO, D.D., 1998, *Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetic's*, Imperial College Press, London.