

## KESETIMBANGAN DAN KINETIKA ADSORPSI ION $Cu^{2+}$ PADA ZEOLIT-H

Lenny Marilyn Estiaty

**ABSTRAK:** Penelitian dilakukan untuk menentukan model kesetimbangan dan kinetika adsorpsi logam tembaga untuk pengembangan material berbasis zeolit. Optimasi impregnasi tembaga ke dalam zeolit merupakan hal yang penting untuk pengembangan tersebut. Penelitian dilakukan dengan pencucian, pemurnian, modifikasi kemudian diikuti dengan impregnasi zeolit dengan variasi waktu impregnasi dan variasi konsentrasi awal ion tembaga. Proses impregnasi dilakukan menggunakan metoda *batch*. Kemudian dilakukan karakterisasi struktur menggunakan metode spektroskopi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), sedangkan terjadinya proses impregnasi ditentukan melalui pengukuran AAS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi awal ion tembaga yang digunakan, semakin banyak ion yang diserap. Proses impregnasi optimum tercapai pada waktu kontak 10 jam dengan konsentrasi larutan  $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$  0,05 N yaitu sebesar 98,69%. Dari spektroskopi FTIR menunjukkan adanya perubahan spektra difraktogram pada zeolit yang telah dimodifikasi, artinya bahwa proses impregnasi ion logam tembaga berhasil dilakukan. Pada penelitian ini proses adsorpsi ion logam tembaga dengan menggunakan zeolit alam mengikuti model persamaan adsorpsi Freundlich dengan nilai koefisien relasi ( $R^2$ ) 0,996. Data kinetika menunjukkan bahwa proses adsorpsi ion tembaga terhadap zeolit mengikuti kinetika reaksi orde ketiga dengan nilai koefisien relasi ( $R^2$ ) 0,6261 dan konstanta laju adsorpsi ( $k_3$ ) -  $1,5 \cdot 10^{-9} \text{ jam}^{-1}$ .

**Kata Kunci:** Zeolit, Adsorpsi, Kinetika, Ion Tembaga, dan Impregnasi.

Naskah masuk : 17 September 2012  
Naskah diterima : 7 November 2012

Lenny Marilyn Estiaty  
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI  
Komplek LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung 40135  
E-mail : lennymarilynestiaty@yahoo.co.id

@2012 Pusat Penelitian Geoteknologi  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

**ABSTRACT:** *The study was conducted to understand the equilibrium and kinetics of adsorption of heavy metals, especially copper metal for the development of based materials from zeolite. Research carried out by leaching, purification, modification followed by impregnating the zeolite with various impregnation time and the initial concentration of copper ion. Impregnation process using the batch method. Structure characterization using FTIR, while the impregnation process determined by AAS measurement. The results showed that the higher concentration of initial copper is used, the more ions are absorbed. Optimum impregnation process was achieved in 10 hours of contact time with the concentration of  $Cu(NO_3)_2$ , 0.05 N, is equal to 98.69%. Diffractogram spectral changes in the modified zeolite, meaning that the copper metal ion impregnation process has been successful. In this study, the copper ion adsorption followed the Freundlich equation model with relation coefficient values ( $R^2$ ) 0.996. Kinetic data indicate that adsorption of copper ion, following the third-order, with a value of relation coefficient ( $R^2$ ) 0.6261 and adsorption rate constant ( $k_3$ ) -  $1,5 \cdot 10^{-9} \text{ hour}^{-1}$*

**Keywords:** *Zeolite, Adsorption, kinetics, copper ion, impregnation*

### PENDAHULUAN

Mineral industri, seperti zeolit alam dapat direkayasa menjadi bahan dasar dalam pembuatan produk obat-obatan, khususnya sebagai obat antiseptik. Zeolit dengan sifat struktur kristalnya dapat berfungsi sebagai *antiseptic carrier*, dimana bahan aktif akan disimpan di dalam struktur kristal zeolit dan pada kondisi tertentu akan berfungsi atau keluar dari kerangka struktur induknya. Zat aktif tersebut berupa logam *inhibitor*, dengan konsentrasi yang sangat rendah mampu bersifat toksik terhadap plasma sel mikroba. Penggunaan zeolit alam sebagai *antiseptic carrier* dengan

logam *inhibitor* Cu belum dikembangkan. Bahan antiseptik tersebut dibuat melalui metode impregnasi, dengan cara *batch*, yaitu memasukkan senyawa atau unsur logam kedalam struktur kristal tanpa merubah struktur kristal tersebut. Teknik impregnasi dilakukan melalui proses pemurnian dan modifikasi zeolit alam menjadi zeolit-H sehingga mudah disubstitusi oleh logam Cu. Dalam kegiatan penelitian ini akan dipelajari kesetimbangan dan kinetika penyerapan ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  oleh zeolit, sehingga dapat menentukan kondisi optimum penyerapan ion  $\text{Cu}^{2+}$  untuk digunakan sebagai bahan dasar material antiseptik. Dengan didapatkannya kondisi optimum pembuatan material antiseptik berbasis zeolit alam dengan logam inhibitor tersebut diharapkan membuka peluang baru dalam pemanfaatan mineral silikat alam khususnya zeolit sebagai *antiseptic carrier*, sehingga akan menaikkan nilai ekonomi dari zeolit (golongan C), serta akan mengurangi ketergantungan impor bahan baku industri farmasi maupun industri kosmetika.

Kinetika adsorpsi logam berat dapat berbeda-beda tergantung kepada logam berat yang akan di adsorpsi dan zeolit yang digunakan pada proses adsorpsi tersebut (Erdem *et al.*, 2004). Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan penyelidikan tentang studi kesetimbangan dan kinetika adsorpsi Ion  $\text{Cu}^{2+}$  pada zeolit-H. Sebagai aplikasi lanjutan, yang dapat diterapkan pada proses impregnasi zeolit untuk pembuatan material antiseptik dengan menggunakan logam tembaga sebagai logam yang diimpregnasi pada zeolit. Secara umum adsorpsi merupakan interaksi antara adsorbat dengan permukaan adsorben yang biasanya merupakan padatan atau cairan. Adsorpsi merupakan reaksi reversibel yang dapat terjadi melalui beberapa mekanisme diantaranya melalui gaya Couloumb, ikatan hidrogen, pertukaran ligan, kemisorpsi, ikatan dipol-dipol, dan ikatan hidrofobik. Istilah yang diberikan untuk zat yang teradsorpsi disebut dengan adsorbat sedangkan zat yang mengadsorpsi adalah adsorben. Adsorpsi secara umum dibagi menjadi dua, yaitu: adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: luas permukaan, ukuran adsorben, sifat adsorben, kelarutan adsorbat, bentuk dan ukuran adsorbat,

konsentrasi  $\text{H}^+$  (derajat keasaman) dan temperatur.

Adsorpsi isoterm menunjukkan banyaknya zat yang teradsorpsi per gram adsorben yang dialirkan pada suhu tetap. Proses adsorpsi terjadi pada batas permukaan dua fase, sebagai contohnya fase cair dengan fase padat. 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 (Kundari & Wiyuniati, 2008)

$$q_e = (C_o - C_e) \times V/m$$

dengan :

$q_e$  = Jumlah adsorbat terserap per massa padatan pada kesetimbangan, mg/g

$C_o$  = Konsentrasi awal larutan, mg/L

$C_e$  = Konsentrasi larutan pada kesetimbangan, mg/L

$m$  = Massa Zeolit, g

$v$  = Volume larutan pada percobaan, L

Untuk mempelajari kinetika adsorpsi yang berlangsung dari suatu reaksi maka dapat digunakan reaktor *batch*. Reaktor *batch* merupakan suatu reaksi, dimana reaksi akan terjadi dengan kondisi sesuai dengan yang diinginkan untuk reaksi tersebut. Ketepatan penggunaan reaktor *batch* diantaranya selama reaksi berlangsung tidak terjadi perubahan temperatur, pengadukan dilakukan secara sempurna, dan konsentrasi disemua titik dalam reaktor adalah sama.

Untuk menentukan besaran tetapan laju reaksi (K) dan orde reaksi (n) pada reaktor ideal tipe reaktor *batch*, dapat digunakan beberapa metode, seperti metode mekanisme reaksi, metode waktu paruh, metode laju awal, metode integrasi, dan metode differensiasi.

Penentuan kinetika adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan metode regresi linear terhadap persamaan orde nol, orde satu, orde dua, dan orde tiga.

Kesetimbangan adsorpsi adalah suatu keadaan dinamis yang tercapai ketika laju partikel yang teradsorpsi ke permukaan sama dengan laju desorpsinya. Model kesetimbangan yang paling

banyak dikenal untuk memahami sistem adsorpsi adalah persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich (Sarjono, 2007).

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Peralatan

#### Bahan

Bahan-bahan yang digunakan untuk keseluruhan penelitian ini yaitu zeolit yang berasal dari Cikancra (Tasikmalaya), asam flourida p.a, asam klorida p.a, ammonium asetat p.a, asam klorida p.a, alkohol 70% teknis, pereaksi nessler, tembaga nitrat ( $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), natrium hidroksida p.a, ammonium hidroksida p.a, dan aquades .

#### Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik, seperangkat alat gelas, reaktor *batch*, *magnetic stirrer*, neraca teknis, pH meter, oven *Memert*, cawan platina, tungku *furnace Stuart*, plat pemanas. Untuk keperluan analisis digunakan instrumen *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)* dan *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*.

Sistematika penelitian ini dibagi dalam empat tahap, yaitu tahap pemurnian dan pencucian zeolit, tahap karakterisasi modifikasi zeolit, tahap impregnasi zeolit, dan tahap uji kinetika zeolit. Filtrat sisa dianalisis menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)* sedangkan tahap karakterisasi oleh *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*.

Secara keseluruhan penelitian dapat digambarkan seperti bagan alir dibawah ini:

### Proses Impregnasi dan Uji Kinetika Adsorpsi Ion Logam $\text{Cu}^{2+}$ oleh Zeolit

Sebelum dilakukan impregnasi ion logam  $\text{Cu}^{2+}$ , zeolit alam dimurnikan terlebih dahulu kemudian di modifikasi menjadi zeolit-H melalui zeolit- $\text{NH}_4$ . Zeolit-H ditambahkan larutan  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  dengan beberapa perbandingan konsentrasi yaitu  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  0,05 N; 0,1 N; 0,15 N; 0,2 N dan waktu kontak yang berbeda-beda yaitu 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 jam pada reaktor *batch* dengan putaran  $\pm 450$  rpm, pH rendah (1), dan suhu larutan  $25^\circ\text{C}$ .

Campuran dipisahkan dengan cara dekantasi atau sentrifugasi. Filtrat ditampung dalam labu ukur, zeolit-Cu dicuci dengan alkohol teknis sampai bebas Cu (filtrat dianalisis menggunakan spektrofotometer serapan atom AA-6501S), keringkan pada suhu  $105^\circ\text{C}$  selama 1 jam, dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu  $300^\circ\text{C}$  selama 2 jam di dalam tungku *furnace*.

### Penentuan Adsorpsi Ion Logam $\text{Cu}^{2+}$

Tahap analisis dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom AA-6501S untuk mengetahui ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  yang terserap oleh zeolit.

Jumlah ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  yang teradsorpsi dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Cu adsorpsi} = \text{Cu awal} - \text{Cu akhir} \quad (1)$$

Konsentrasi  $\text{Cu}^{2+}$  yang terserap oleh zeolit dapat diolah menjadi % teradsorpsi dengan menggunakan rumusan berikut:

$$\% \text{ teradsorpsi} = \frac{\text{Co} - \text{Ce}}{\text{Co}} \times 100\% \quad (2)$$

Selain dalam bentuk % teradsorpsi, konsentrasi ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  yang terserap oleh adsorben juga dapat dinyatakan dengan rumusan:

$$\text{Qe} = (\text{Co} - \text{Ce}) \times \text{V/m} \quad (3)$$

Keterangan:

Qe = Jumlah adsorbat terserap per massa padatan pada kesetimbangan, mg/g

Co = Konsentrasi awal larutan, mg/L

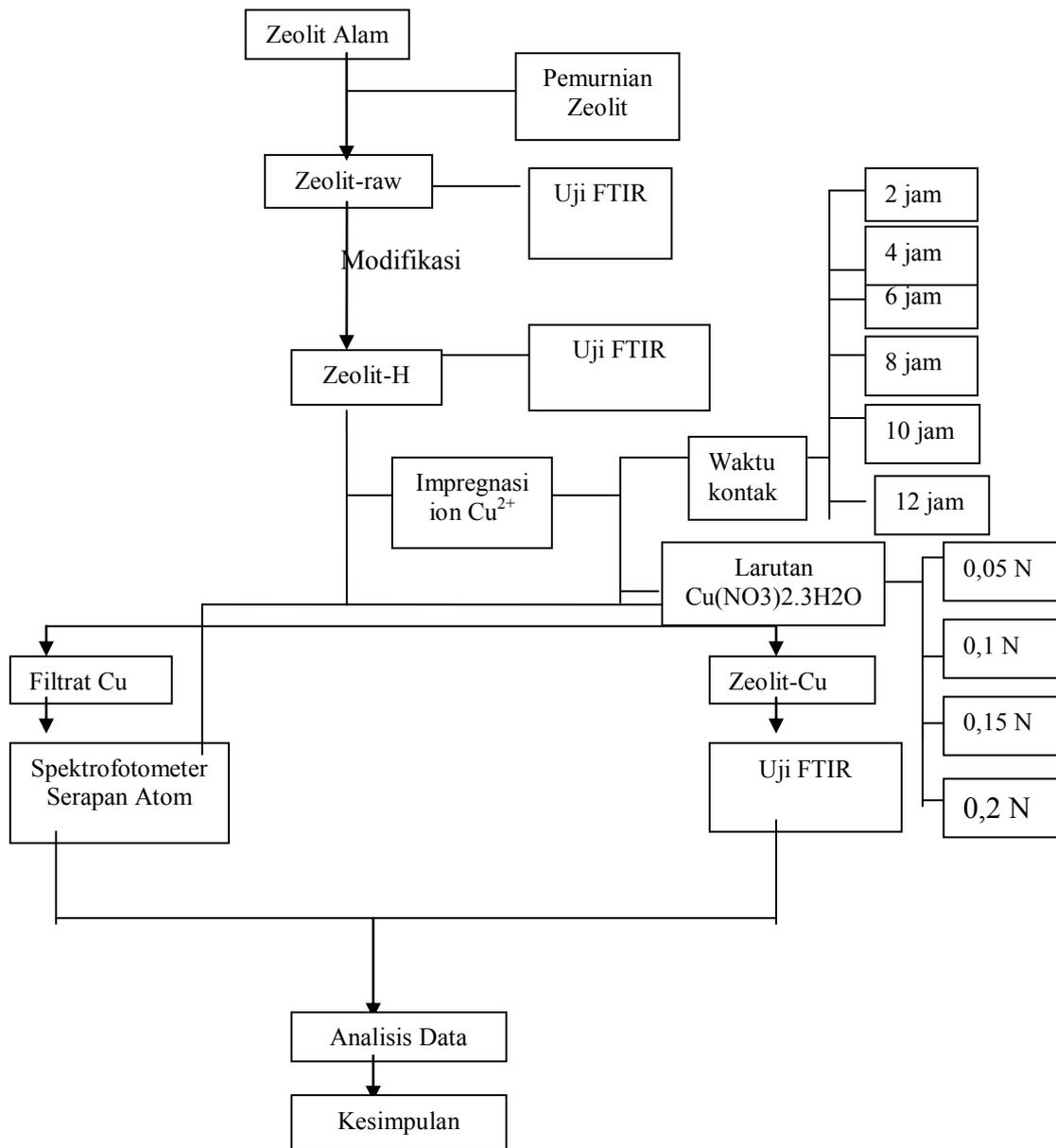
Ce = Konsentrasi larutan pada kesetimbangan, mg/L

m = Massa Zeolit, g

v = Volume larutan pada percobaan, L

### Penentuan Kinetika Adsorpsi

Penentuan kinetika adsorpsi dapat dilakukan dengan menggunakan metode regresi linear terhadap persamaan orde nol, orde satu, orde dua, dan orde tiga.



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

Model kinetika orde ke nol dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C_e = -k_0 t + C_0 \quad (4)$$

Model kinetika orde satu menurut Singh *et al.*, (2008) dirumuskan :

$$\ln C_e = -k_1 t + \ln C_0 \quad (5)$$

Persamaan orde dua menurut Singh *et al.*, (2008) dirumuskan:

$$1/C_e - 1/C_0 = k_2 t \quad (6)$$

Sedangkan untuk persamaan orde ke tiga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{1}{C_e^2} = \frac{1}{C_0^2} + 2k_3 t \quad (7)$$

Melalui pengaluran data  $C_e$ ,  $\ln C_e$ ,  $1/C_e$ ,  $1/C_e^2$  terhadap  $t$  dapat diketahui kesesuaian data terhadap model kinetika, yaitu dari nilai korelasi ( $R^2$ ) sedangkan nilai konstanta reaksi orde 0 ( $k_0$ ),

orde 1( $k_1$ ), orde 2( $k_2$ ) dan orde 3 ( $k_3$ ) diperoleh dari kemiringan (*slope*) dan perpotongan (*intercept*).

**Penentuan Model Isoterm Adsorpsi**

Penentuan model isoterm adsorpsi dilakukan dengan menggunakan metode regresi linear terhadap persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich. Bentuk logaritmik persamaan isoterm Freundlich menurut Panneerselvam *et al.*, (2009) dapat ditulis menjadi (Freundlich, 1906):

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \tag{8}$$

Menurut Panneerselvam, *et al.* (2009) persamaan isoterm Langmuir dapat ditulis sebagai berikut (Langmuir, 1918):

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_o b} + \frac{C_e}{Q_o} \tag{9}$$

Dengan  $q_e$  adalah jumlah adsorbat terserap per massa padatan pada kesetimbangan (mg/g),  $C_e$  adalah konsentrasi larutan pada kesetimbangan (mg/L),  $K_f$  adalah kapasitas adsorpsi relatif adsorben (mg/g),  $\frac{1}{n}$  adalah konstanta indikatif yang menunjukkan intensitas proses adsorpsi,  $Q_o$  adalah kapasitas adsorpsi lapisan tunggal (mg/g) dan  $b$  adalah konstanta yang berhubungan dengan energi adsorpsi adsorpsi lapisan tunggal (mg/g) dan  $b$  adalah konstanta yang berhubungan dengan energi adsorpsi. Dari hasil pengaluran linear  $\log q_e$  terhadap  $\log C_e$  (model Freundlich) dan  $1/q_e$  terhadap  $1/C_e$  (model Langmuir) akan diperoleh nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang menunjukkan kecenderungan pemilihan model isoterm yang sesuai untuk adsorpsi yang terjadi.

**Tahap Karakterisasi**

Tahap karakterisasi zeolit-raw, zeolit-H, dan zeolit-Cu dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer infra merah (FTIR). Spektrofotometer FTIR digunakan untuk menentukan gugus-gugus fungsi yang terdapat dalam zeolit. Selain itu dapat pula digunakan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada zeolit akibat proses modifikasi dan impregnasi oleh ion logam  $Cu^{2+}$  (Zeolit-H dan zeolit-Cu). Analisis FTIR ini dilakukan dengan menggunakan alat FTIR (SHIMADZU, FTIR-8400).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya konsentrasi, maka semakin meningkat pula jumlah  $Cu^{2+}$  yang terserap per gram zeolit. Hal ini menunjukkan penanaman  $Cu^{2+}$  ke dalam struktur zeolit berhasil dilakukan.

Untuk menentukan pada kondisi mana terjadi adsorpsi optimum, maka perlu ditentukan pada kondisi mana terjadi proses adsorpsi paling besar. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan persentase adsorpsi. Menurut Erdem *et al.*, (2004) persentase adsorpsi ion logam dihitung dengan persamaan berikut:

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{C_{awal} - C_{akhir}}{C_{awal}} \times 100\% \tag{10}$$

Hasil perhitungan persentase adsorpsi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengukuran adsorpsi ion Cu oleh zeolit pada waktu kontak 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 secara *batch* dengan variasi konsentrasi larutan

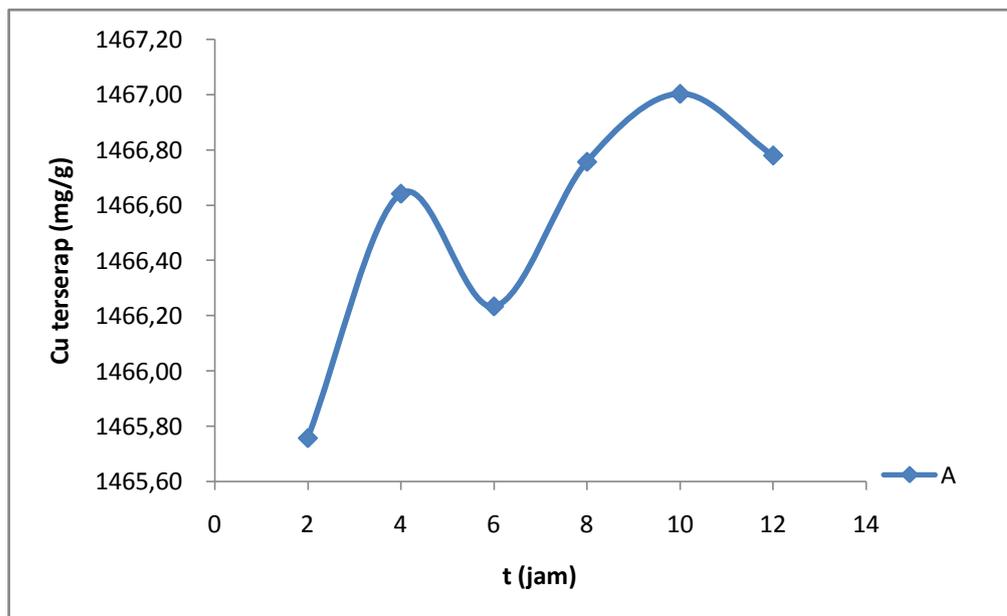
t \ C	2 jam (mg/g)	4 jam (mg/g)	6 jam (mg/g)	8 jam (mg/g)	10 jam (mg/g)	12 jam (mg/g)
0,05 N	9527,42	9533,17	9530,52	9533,92	9535,52	9534,07
0,1N	17366,98	17377,93	17377,53	17373,08	17375,85	17363,87
0,15 N	27246,46	27278,91	27251,06	27228,37	27265,89	27262,49
0,2 N	34667,94	34714,54	34699,64	34670,61	34704,61	34685,19

Seperti diungkapkan oleh Erdem *et al.*, (2004), secara umum semakin rendah konsentrasi logam awal, maka semakin tinggi persentase adsorpsi logam oleh zeolit. Pada konsentrasi tertentu akan tercapai persentase adsorpsi yang konstan karena

zeolit sudah jenuh oleh ion logam yang diadsorpsi (Erdem *et al.*, 2004). Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai persentase adsorpsi pada penelitian ini menunjukkan adanya penurunan persentase adsorpsi seiring dengan

Tabel 2. Hasil perhitungan persentase (%) adsorpsi  $\text{Cu}^{2+}$  pada zeolit

Sampel	% adsorpsi	Sampel	% adsorpsi
2 jam, 0,05 N	98,60	8 jam, 0,05 N	98,67
2 jam, 0,1 N	98,46	8 jam, 0,1 N	98,50
2 jam, 0,15 N	98,51	8 jam, 0,15 N	98,44
2 jam, 0,2 N	98,43	8 jam, 0,2 N	98,43
4 jam, 0,05 N	98,66	10 jam, 0,05 N	98,69
4 jam, 0,1 N	98,53	10 jam, 0,1 N	98,52
4 jam, 0,15 N	98,62	10 jam, 0,15 N	98,58
4 jam, 0,2 N	98,56	10 jam, 0,2 N	98,53
6 jam, 0,05 N	98,64	12 jam, 0,05 N	98,67
6 jam, 0,1 N	98,52	12 jam, 0,1 N	98,45
6 jam, 0,15 N	98,52	12 jam, 0,15 N	98,56
6 jam, 0,2 N	98,52	12 jam, 0,2 N	98,48



Gambar 2. Grafik konsentrasi penyerapan  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  0,05 N terhadap waktu kontak oleh zeolit

meningkatnya konsentrasi logam awal walaupun nilai persentase adsorpsi untuk semua perlakuan relatif sama, yaitu pada kisaran ~98%. Hal ini dikarenakan konsentrasi logam awal paling rendah yang digunakan pada penelitian ini adalah 128.831,25 ppm sehingga tidak teramati adanya perbedaan yang nyata pada nilai persentase adsorpsi, karena konsentrasi logam awal sudah sangat tinggi. Erdem *et al.*, (2004) menggunakan variasi konsentrasi awal tembaga 100-400 ppm sedangkan Kundari & Wiyuniati (2008) menggunakan variasi konsentrasi 10–3000 ppm. Pada penelitian disini, konsentrasi berada dimana akan tercapai persentase adsorpsi yang konstan karena zeolit sudah jenuh oleh ion logam yang diadsorpsi (Erdem *et al.*, 2004).

Namun diantara semua perlakuan, waktu kontak 10 jam dan konsentrasi awal Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0,05 N menunjukkan nilai persentase adsorpsi paling besar, yaitu sebesar 98,69%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa diantara kondisi perlakuan yang dilakukan pada penelitian ini, kondisi optimum adsorpsi ion logam tembaga oleh zeolit tercapai pada waktu kontak 10 jam dan konsentrasi awal Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 0,05 N.

Gambar 2 menunjukkan hasil percobaan penyerapan ion Cu<sup>2+</sup> dengan konsentrasi awal 0,05 N terhadap waktu kontak, disini terlihat bahwa waktu kontak 10 jam menunjukkan

penyerapan konsentrasi Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> yang maksimal.

Gambar 3 menunjukkan hasil percobaan adsorpsi ion Cu<sup>2+</sup> terhadap zeolit-H pada variasi konsentrasi pada waktu kontak 10 jam, disini terlihat bahwa semakin besar konsentrasi Cu<sup>2+</sup> penyerapan Cu<sup>2+</sup> semakin besar pula.

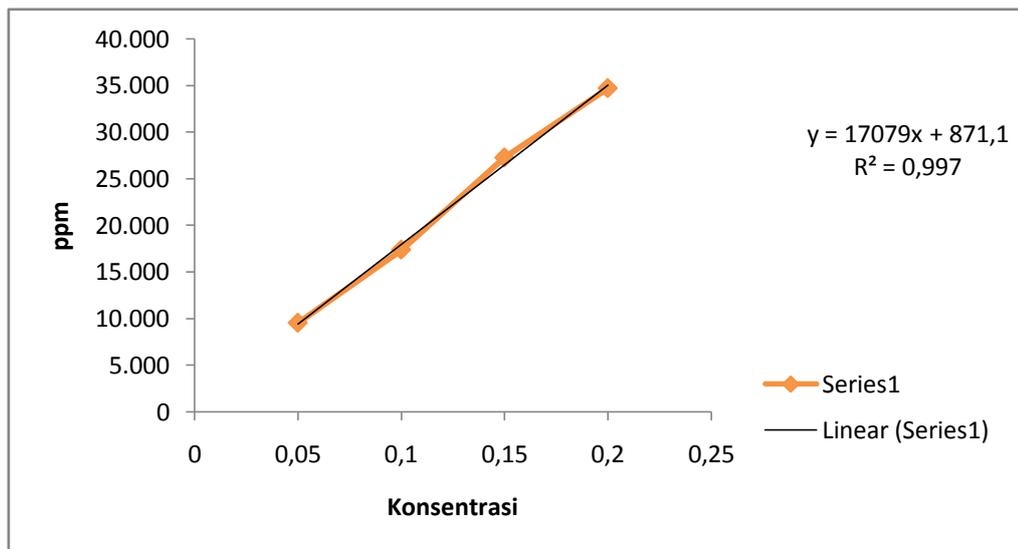
Dari hasil AAS diperoleh data penyerapan Cu<sup>2+</sup> pada kesetimbangan yang disajikan pada Tabel 3.

Pada Tabel 3 ditunjukkan hasil perhitungan konsentrasi Cu<sup>2+</sup> sisa maupun Cu<sup>2+</sup> terserap oleh zeolit yang telah dielusi oleh 75 mL larutan Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.3H<sub>2</sub>O. Untuk mengetahui jumlah adsorbat terserap per massa padatan pada kesetimbangan maka data dari Tabel 3 kemudian diolah dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_e = (C_o - C_e) \times V/m \quad (11)$$

Keterangan:

- Q<sub>e</sub> = Jumlah adsorbat terserap per massa padatan pada kesetimbangan, mg/g
- C<sub>o</sub> = Konsentrasi awal larutan, mg/ L
- C<sub>e</sub> = Konsentrasi larutan pada kesetimbangan, mg/L
- m = Massa Zeolit, g
- v = Volume larutan pada percobaan, L



Gambar 3. Grafik konsentrasi penyerapan Cu<sup>2+</sup> pada Zeolit dengan waktu kontak 10 jam

Tabel 3. Hasil perhitungan penyerapan  $\text{Cu}^{2+}$  pada kesetimbangan

Sampel	ppm awal (Co)	ppm pada kesetimbangan (Ce)
2 jam, 0,05 N	128831,2500	1798,9999
2 jam, 0,1 N	235170,0000	3610,3333
2 jam, 0,15 N	368797,5000	5511,3333
2 jam, 0,2 N	469627,5000	7388,3333
4 jam, 0,05 N	128831,2500	1722,3333
4 jam, 0,1 N	235170,0000	3464,3333
4 jam, 0,15 N	368797,5000	5078,6666
4 jam, 0,2 N	469627,5000	6766,9999
6 jam, 0,05 N	128831,2500	1757,6666
6 jam, 0,1 N	235170,0000	3469,6666
6 jam, 0,15 N	368797,5000	5449,9999
6 jam, 0,2 N	469627,5000	6965,6666
8 jam, 0,05 N	128831,2500	1712,3333
8 jam, 0,1 N	235170,0000	3528,9999
8 jam, 0,15 N	368797,5000	5752,3333
8 jam, 0,2 N	469627,5000	7352,6666
10 jam, 0,05 N	128831,2500	1690,9999
10 jam, 0,1 N	235170,0000	3491,9999
10 jam, 0,15 N	368797,5000	5252,3333
10 jam, 0,2 N	469627,5000	6899,3333
12 jam, 0,05 N	128831,2500	1710,3333
12 jam, 0,1 N	235170,0000	3651,6667
12 jam, 0,15 N	368797,5000	5297,6667
12 jam, 0,2 N	469627,5000	7158,3333

Dengan menggunakan persamaan tersebut, maka dihasilkan perhitungan jumlah  $\text{Cu}^{2+}$  terserap per massa padatan pada kesetimbangan ( $q_e$ ) yang disajikan pada Tabel 4.

Dari Tabel 4 dapat diketahui bahwa harga  $q_e$  (jumlah adsorbat terserap per massa padatan pada kesetimbangan) cenderung semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal larutan tembaga nitrat. Namun,

pada konsentrasi awal tembaga nitrat tertinggi (0,2N), kecenderungan peningkatan harga  $q_e$  relatif kecil. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan zeolit untuk mengadsorpsi ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  masih dapat digunakan sampai dengan di atas konsentrasi yang dilakukan pada penelitian ini.

Pada penelitian ini, selain pengaruh konsentrasi juga ditentukan pengaruh waktu kontak terhadap

Tabel 4. Hasil perhitungan jumlah Cu<sup>2+</sup> terserap per massa padatan pada kesetimbangan

Sampel	qe (mg/g)
2 jam, 0,05 N	1465,7567
2 jam, 0,1 N	2671,8423
2 jam, 0,15 N	4191,7635
2 jam, 0,2 N	5333,5288
4 jam, 0,05 N	1466,6413
4 jam, 0,1 N	2673,5269
4 jam, 0,15 N	4196,7558
4 jam, 0,2 N	5340,6981
6 jam, 0,05 N	1466,2337
6 jam, 0,1 N	2673,4654
6 jam, 0,15 N	4192,4712
6 jam, 0,2 N	5338,4058
8 jam, 0,05 N	1466,7567
8 jam, 0,1 N	2672,7808
8 jam, 0,15 N	4188,9827
8 jam, 0,2 N	5333,9404
10 jam, 0,05 N	1467,0029
10 jam, 0,1 N	2673,2077
10 jam, 0,15 N	4194,7519
10 jam, 0,2 N	5339,1712
12 jam, 0,05 N	1466,7798
12 jam, 0,1 N	2671,3654
12 jam, 0,15 N	4194,2288
12 jam, 0,2 N	5336,1827

kemampuan adsorpsi. Secara perhitungan statistik untuk konsentrasi awal Cu<sup>2+</sup> sebesar 0.05 N, nilai R= 0.7896595, artinya terdapat korelasi positif antara waktu kontak (t) dan qe, namun demikian untuk konsentrasi awal Cu<sup>2+</sup> 0.10 N, 0.15 N dan 0.20 N nilai R berturut-turut

sebesar 0.2391314, 0.055929 dan 0.0774829. Ini berarti tidak terdapat korelasi antara waktu kontak (t) dan qe. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa waktu 2 jam sudah cukup untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi. Selain konsentrasi dan waktu kontak, suhu juga mempengaruhi proses adsorpsi logam tembaga oleh zeolit (Kundari & Wiyuniati, 2008). Namun pada penelitian ini, pengaruh suhu tidak ditentukan.

Distribusi kation logam berat pada saat kesetimbangan dalam adsorben dan larutan sangat penting untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum. Beberapa model isoterm dapat digunakan untuk mendeskripsikan distribusi adsorpsi pada saat kesetimbangan. Model isoterm Freundlich dan Langmuir merupakan model isoterm yang sering digunakan untuk memahami sistem adsorpsi.

Isoterm Freundlich, adalah adsorpsi zat terlarut (dari suatu larutan) pada padatan adsorben. Aplikasi penggunaan prinsip ini antara lain penghilangan warna larutan dan proses pemisahan dengan menggunakan teknik kromatografi. Sedangkan isoterm Langmuir menurunkan teori isoterm adsorpsi dengan menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Namun demikian konsep kimia fisika yang terlibat sangat kompleks dan tidak ada satu pun teori adsorpsi yang telah dikemukakan yang dapat menjelaskan semua sistem. Hampir semua teori adsorpsi dikembangkan untuk sistem padat-gas karena pemahaman gas lebih baik dari keadaan cair. Sampai sekarang teori-teori yang dikembangkan untuk sistem padat-gas diterapkan untuk semua sistem padat-cair. Model kesetimbangan yang paling banyak dikenal untuk memahami sistem adsorpsi adalah persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich.

Bentuk linear dari persamaan isoterm Freundlich adalah:

$$\log q_e = \log K_f + 1/n \log C_e \tag{12}$$

Bentuk linear persamaan isoterm Langmuir adalah:

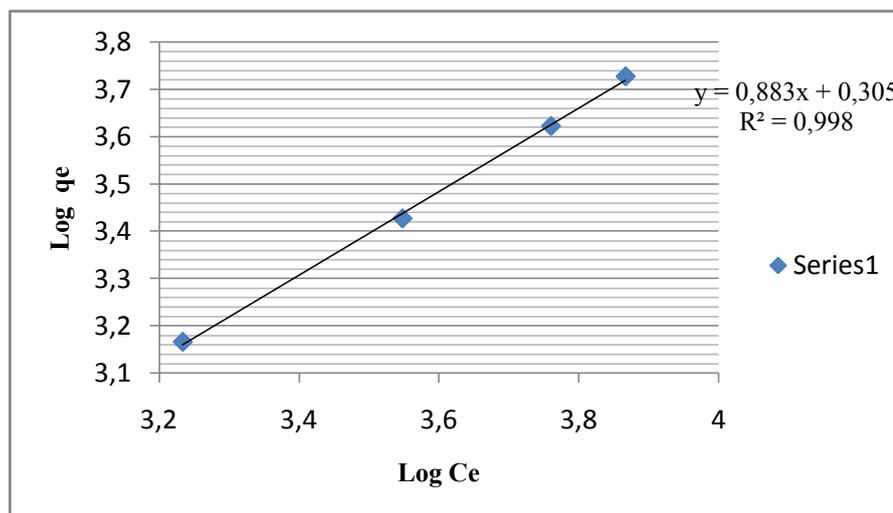
$$C_e/q_e = 1/q_0b + C_e/q_0 \tag{13}$$

Tabel 5. Hasil pengaluran linear terhadap persamaan isoterm Freundlich dan Langmuir

Waktu Kontak	Freundlich		Langmuir	
	Persamaan Linear	R <sup>2</sup>	Persamaan Linear	R <sup>2</sup>
2 jam	$y = 0,925x + 0,148$	0,998	$y = 2E-05x + 1,213$	0,682
4 jam	$y = 0,957x + 0,058$	0,995	$y = 1E-05x + 1,186$	0,217
6 jam	$y = 0,939x + 0,113$	0,999	$y = 2E-05x + 1,195$	0,656
8 jam	$y = 0,883x + 0,305$	0,998	$y = 4E-05x + 1,144$	0,818
10 jam	$y = 0,926x + 0,165$	0,996	$y = 2E-05x + 1,159$	0,469
12 jam	$y = 0,915x + 0,195$	0,992	$y = 2E-05x + 1,175$	0,392

Dimana  $q_e$  merupakan jumlah adsorbat terserap per massa padatan pada kesetimbangan (mg/g),  $C_e$  adalah konsentrasi larutan pada kesetimbangan (mg/L),  $K_f$  merupakan kapasitas adsorpsi relatif adsorben (mg/g),  $1/n$  merupakan konstanta indikatif yang menunjukkan intensitas proses adsorpsi,  $q_0$  merupakan kapasitas adsorpsi lapisan tunggal (mg/g), dan  $b$  adalah konstanta yang berhubungan dengan energi adsorpsi (L/mg). Hasil pengaluran linear log  $q_e$  terhadap log  $C_e$  (Freundlich) dan  $C_e/q_e$  terhadap  $C_e$

Dari Tabel 5 di atas menunjukkan bahwa pada umumnya adsorpsi yang berlangsung mempunyai nilai korelasi ( $R^2$ ) yang cukup tinggi untuk persamaan Freundlich. Menurut Kundari & Wiyuniati (2008), untuk menentukan apakah data hasil percobaan mengikuti model kesetimbangan Langmuir atau Freundlich, maka dapat ditentukan dari nilai koefisien relasi ( $R^2$ ). Jika pada plot data kurva linear nilai  $R^2$  mendekati 1, maka data percobaan mengikuti model kesetimbangan tersebut. Plot data hasil



Gambar 4. Plot Isoterm Freundlich Impregnasi Cu<sup>2+</sup> pada Waktu Kontak 8 Jam

(Langmuir) dan persamaan serta nilai korelasi ( $R^2$ ) dari kedua persamaan tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.

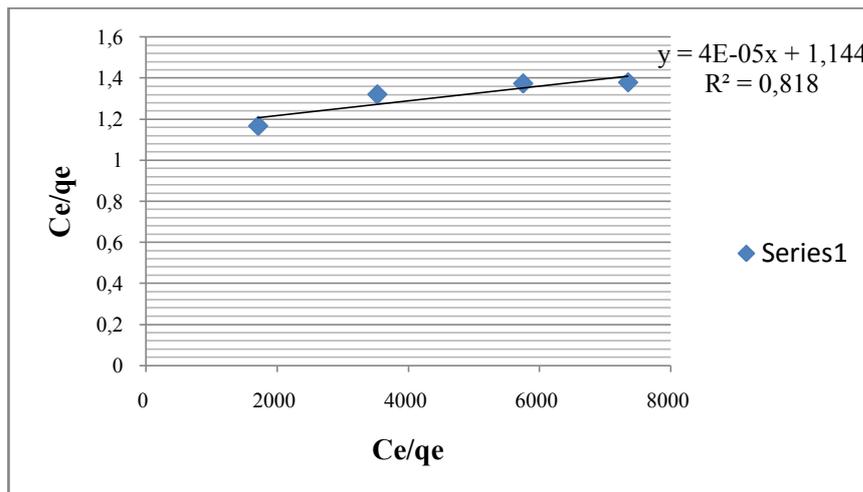
percobaan, menunjukkan bahwa nilai  $R^2$  mendekati 1 untuk model kesetimbangan Freundlich, artinya bahwa proses adsorpsi ion

logam tembaga dengan zeolit pada percobaan ini mengikuti model kesetimbangan Freundlich yaitu adsorpsi zat terlarut dalam hal ini adalah larutan  $\text{Cu}^{2+}$  pada padatan adsorben dalam hal ini adalah zeolit. Pada Gambar 4 dan Gambar 5 dibawah ini berturut-turut ditampilkan salah satu grafik plot isoterm Freundlich dan Langmuir, yaitu pada waktu kontak 8 jam. Untuk mempelajari kinetika adsorpsi yang berlangsung, data adsorpsi pada berbagai waktu interaksi diolah dengan berbagai model kinetika. Model kinetika yang digunakan adalah model kinetika orde 0, 1, 2, dan 3. Model kinetika orde 0 dirumuskan :  $C_e = -k_0t + C_0$ , dengan  $C_0$  merupakan konsentrasi awal larutan (mg/L),  $C_e$  merupakan konsentrasi larutan pada kesetimbangan (mg/L),  $k_0$  adalah konstanta laju adsorpsi, dan  $t$  merupakan jumlah kation logam yang teradsorpsi pada waktu  $t$  (jam). Melalui pengaluran data  $C_e$  terhadap waktu ( $t$ ) dapat diketahui kesesuaian data terhadap model

diperoleh dari kemiringan (slope) grafik yang diperoleh. Dan untuk orde ketiga dapat dirumuskan  $1/C_e^2 = 1/C_0^2 + 2 k_3t$ . Dari plot data  $1/C_e^2$  terhadap waktu ( $t$ ) dapat diketahui kesesuaian data terhadap model kinetika, yaitu dari nilai korelasi ( $R^2$ ), sedangkan nilai  $k_3$  diperoleh dari kemiringan (slope) grafik yang diperoleh. Kinetika orde nol artinya konsentrasi species tidak mempengaruhi laju reaksi sedangkan kinetika orde 1,2 dan 3 (bilangan bulat positif) artinya bahwa konsentrasi species mempengaruhi laju reaksi.

Dari pengaluran data terhadap keempat persamaan model kinetika tersebut, model kinetika orde ketiga menampilkan nilai  $R^2$  yang lebih (paling) mendekati 1 daripada orde yang lainnya. Pada Tabel 6 ditunjukkan persamaan linear untuk masing-masing persamaan model kinetika dan nilai korelasinya ( $R^2$ ).

Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan



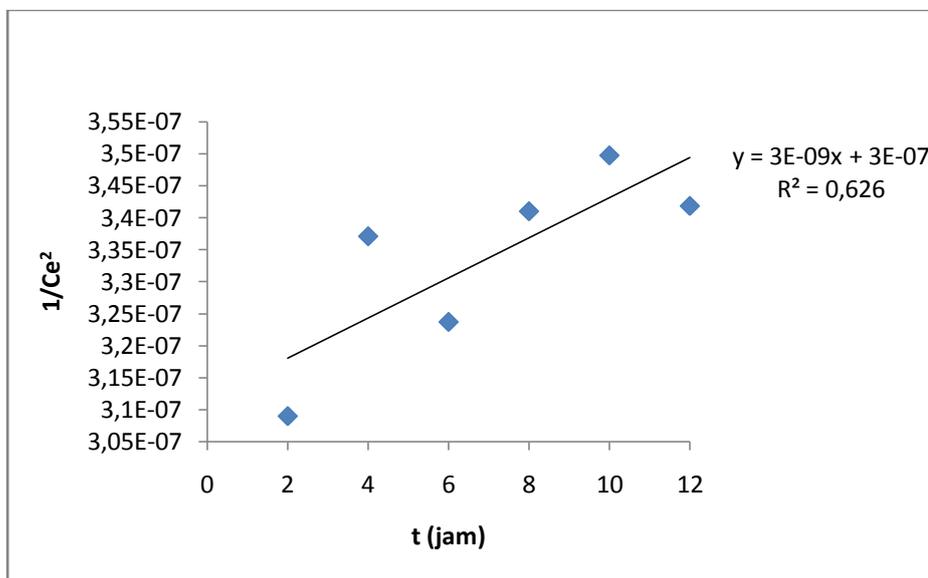
Gambar 5. Plot Isoterm Langmuir Impregnasi  $\text{Cu}^{2+}$  pada Waktu Kontak 8 Jam

kinetika, yaitu dari nilai korelasi ( $R^2$ ), sedangkan nilai  $k$  diperoleh dari kemiringan (slope) grafik yang diperoleh. Sedangkan untuk orde pertama dapat dirumuskan :  $-\ln C_e = -k_1t + \ln C_0$ . Melalui pengaluran data  $\ln C_e$  terhadap waktu ( $t$ ) dapat diketahui kesesuaian data terhadap model kinetika, yaitu dari nilai korelasi ( $R^2$ ), sedangkan nilai  $k$  diperoleh dari kemiringan (slope) grafik yang diperoleh. Sementara itu persamaan orde dua dirumuskan :  $1/C_e - 1/C_0 = k_2t$ . Dari plot data  $1/C_e$  terhadap waktu ( $t$ ) dapat diketahui kesesuaian data terhadap model kinetika, yaitu dari nilai korelasi ( $R^2$ ), sedangkan nilai  $k_2$

bahwa kemungkinan adsorpsi kation logam berat  $\text{Cu}^{2+}$  oleh zeolit-H berlangsung mengikuti model kinetika orde ketiga dengan nilai koefisien relasi ( $R^2$ ) 0,6261 dan konstanta laju adsorpsi ( $k_3$ )  $1,5 \cdot 10^{-9} \text{ jam}^{-1}$ . Dengan demikian kecepatan adsorpsi yang terjadi pada penelitian ini adalah pangkat dua konsentrasi  $\text{Cu}^{2+}$  atau jumlah zeolit dikali dengan jumlah zeolit atau konsentrasi  $\text{Cu}^{2+}$  pangkat satu. Gambar 6 di bawah ini merupakan plot kinetika orde ketiga untuk adsorpsi ion  $\text{Cu}^{2+}$  dengan konsentrasi 0,05 N terhadap zeolit H.

Tabel 6. Hasil pengaluran linear terhadap persamaan model kinetika

Model Kinetika	Parameter	Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .3H <sub>2</sub> O			
		0,05 N	0,1 N	0,15 N	0,2 N
Orde nol Ce = -k <sub>0</sub> t + C <sub>0</sub>	R <sup>2</sup>	0,6235	0,0572	0,0031	0,0060
	k <sub>0</sub>	8,3238	-4,9857	3,4971	5,2286
Orde pertama -ln Ce = -k <sub>1</sub> t + ln C <sub>0</sub>	R <sup>2</sup>	0,6244	0,0567	0,0028	0,0048
	k <sub>1</sub>	0,0048	-0,0014	0,0006	0,0007
Orde kedua 1/Ce - 1/ C <sub>0</sub> = k <sub>2</sub> t	R <sup>2</sup>	0,6233	0,0643	0,0044	0,0044
	k <sub>2</sub>	3.10 <sup>-6</sup>	-4.10 <sup>-7</sup>	14.10 <sup>-8</sup>	1.10 <sup>-7</sup>
Orde ketiga 1/Ce <sup>2</sup> = 1/C <sub>0</sub> <sup>2</sup> + 2 k <sub>3</sub> t	R <sup>2</sup>	0,6261	0,0558	0,0021	0,0027
	k <sub>3</sub>	1,5.10 <sup>-9</sup>	-1.10 <sup>-10</sup>	2.10 <sup>-11</sup>	1.10 <sup>-11</sup>



Gambar 6. Plot kinetika orde ketiga untuk adsorpsi ion Cu<sup>2+</sup> dengan konsentrasi 0,05 N terhadap zeolit-H

Dari plot kinetika yang terlihat pada Gambar 6 terlihat tidak terlalu linear, hal ini terjadi karena beberapa faktor, antara lain tidak dilakukannya pengaturan pH (buffer) pada saat proses impregnasi sehingga pH larutan cukup rendah (pH=1). Tingkat keasaman (pH) merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam adsorpsi karena perubahan tingkat keasaman larutan logam dapat menyebabkan perubahan muatan dari permukaan adsorben maupun perubahan spesi ion logam. Pada tingkat keasaman yang tinggi (pH rendah), jumlah ion H<sup>+</sup> sangat melimpah sehingga dapat menyebabkan sebagian besar pasangan elektron

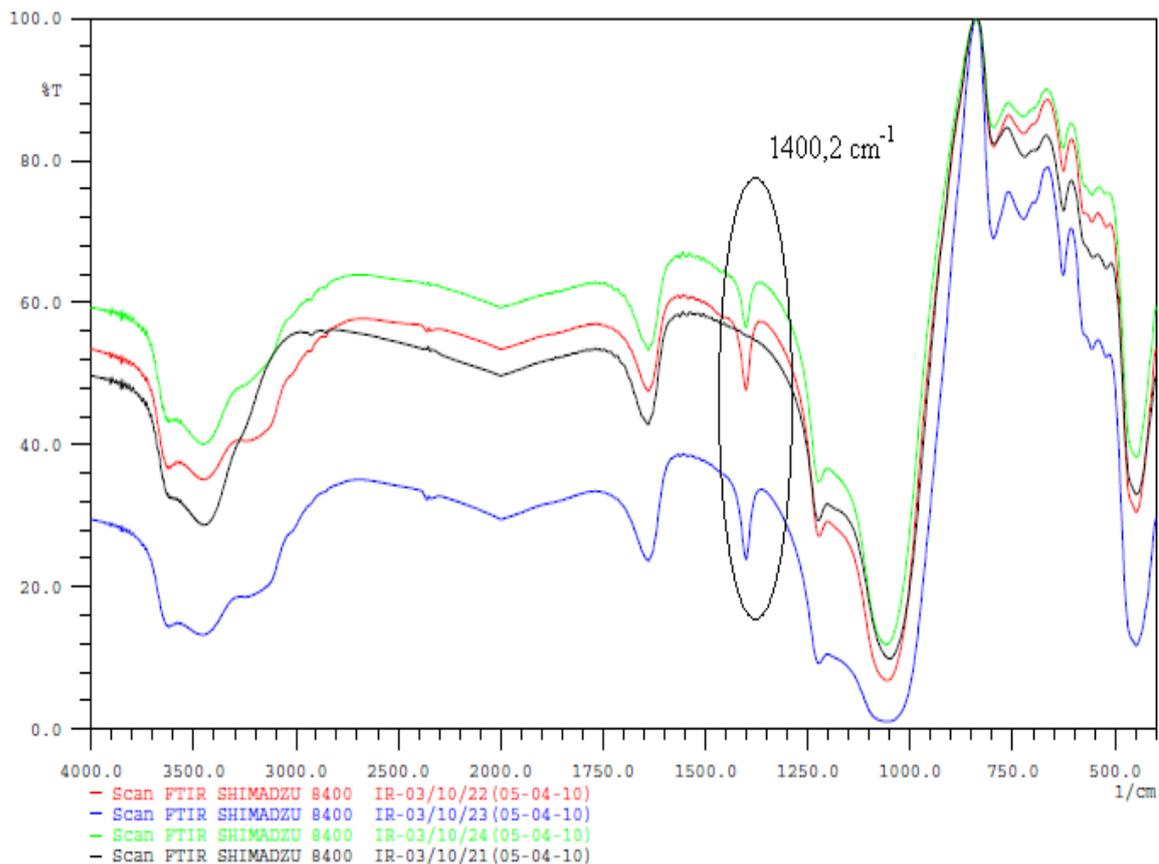
bebas pada oksigen akan berikatan dengan H<sup>+</sup>. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya tolakan elektrostatis antara adsorben dan adsorbat yang sama-sama bermuatan positif. Akan tetapi, tingkat keasaman yang terlalu rendah (pH tinggi) akan menyebabkan persentase logam yang terserap akan semakin berkurang karena akan terjadinya pengendapan logam. Dengan demikian penentuan pH optimum dalam adsorpsi logam ternyata sangat perlu diperhatikan agar adsorpsi logam oleh adsorben tidak terganggu dan akan dicapai hasil yang maksimum. Faktor lain yang membuat plot kinetika orde ketiga ini tidak terlalu linear,

adalah telah dilakukannya proses impregnasi pada keadaan kesetimbangan bukan pada daerah linear. Hal ini dapat dilihat dari harga Ce (konsentrasi larutan pada kesetimbangan) yang dihasilkan relatif tidak jauh berbeda.

Karakterisasi zeolit raw, zeolit-H dan zeolit-Cu menggunakan Spektrofotometer FTIR. Karakterisasi ini dilakukan untuk menentukan keberhasilan dalam proses modifikasi menggunakan  $\text{NH}_4$  dan HCl maupun dalam proses impregnasi, yang ditunjukkan adanya

konsentrasi  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  0,05 N digambarkan dengan garis berwarna biru (grafik ke4 dari atas), dan zeolit-Cu dengan konsentrasi  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  0,2 N digambarkan dengan garis berwarna hijau (grafik pertama dari atas).

Pada spektra zeolit-H maupun zeolit-Cu, terlihat bahwa puncak-puncak serapan khas yang dihasilkan pada dasarnya sama dengan spektra zeolit-Raw, namun terjadi beberapa pergeseran bilangan gelombang puncak. Pada zeolit-H, terjadi pergeseran bilangan gelombang puncak



Gambar 7. Spektra Inframerah Zeolit-Raw, Zeolit-H, Zeolit-Cu dengan konsentrasi  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  0,05 N, dan Zeolit-Cu dengan konsentrasi  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  0,2 N

perbedaan dalam spektra FTIR zeolit raw. Spektra inframerah zeolit raw dan zeolit hasil perlakuan akan disajikan dalam Gambar 7.

Berdasarkan Gambar 7 diatas, Spektra Zeolit-Raw digambarkan dengan garis berwarna hitam (grafik ke 3 dari atas), spektra zeolit-H digambarkan dengan garis berwarna merah (grafik ke 2 dari atas), spektra zeolit-Cu dengan

pada  $1051,1 \text{ cm}^{-1}$  menjadi  $1056,9 \text{ cm}^{-1}$  yang dihasilkan juga pada zeolit-Cu dengan konsentrasi  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  0,2 N, kemudian  $1224,7 \text{ cm}^{-1}$  menjadi  $1222,8 \text{ cm}^{-1}$ , dan  $3450,4 \text{ cm}^{-1}$  menjadi  $3448,5 \text{ cm}^{-1}$ . Sedangkan pada zeolit-Cu 0,05 N pergeseran bilangan gelombang puncak terjadi pada serapan  $1051,1 \text{ cm}^{-1}$  menjadi  $1055,0 \text{ cm}^{-1}$  sedangkan pada konsentrasi 0,2 N hasil serapan sama dengan

zeolit-H yaitu  $1056,9 \text{ cm}^{-1}$ , begitu juga pada serapan  $1224,7 \text{ cm}^{-1}$  serapan yang dihasilkan sama dengan zeolit-H yaitu  $1222,8 \text{ cm}^{-1}$ .

Spektra inframerah menunjukkan terjadi perubahan intensitas yang jelas pada bilangan gelombang  $1051,1 - 1056,9 \text{ cm}^{-1}$  (vibrasi ulur asimetris Si-O atau Al-O pada  $\text{TO}_4$ ). Shigemoto *et al.*, (1995) mengungkapkan bahwa puncak ini dapat dihubungkan dengan adanya gugus silanol (Si-O-H) dalam kerangka zeolit, lebar puncak mengindikasikan gugus silanol yang semakin banyak hingga kristalinitas menurun. Pada Gambar 7 ditunjukkan bahwa serapan dari ulur asimetris Si-O  $1051,1 \text{ cm}^{-1}$  mengalami kenaikan menjadi  $1055,0 \text{ cm}^{-1}$  dan  $1056,9 \text{ cm}^{-1}$  akibat perlakuan asam. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi pengurangan Al-O pada kerangka zeolit. Ikatan Si-O lebih kuat dibandingkan dengan ikatan Al-O sehingga bilangan gelombang yang dibutuhkan untuk melakukan vibrasi lebih besar. Fenomena ini membuktikan bahwa perlakuan asam mampu menyebabkan dealuminasi pada padatan zeolit. Serapan vibrasi pori terbuka mengalami peningkatan intensitas. Pada kisaran bilangan gelombang  $420-500 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi tekuk dari ikatan T-O. Puncak ini merupakan interpretasi dari jalinan internal pada kerangka zeolit.

Pada spektra zeolit-H maupun zeolit-Cu muncul puncak baru yaitu pada bilangan gelombang  $1400,2 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya bertambahnya jumlah sisi asam lewis yang dapat berperan sebagai akseptor elektron (Lee *et al.*, 1995).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan hal-hal berikut:

Kondisi optimum penyerapan ion  $\text{Cu}^{2+}$  dapat tercapai melalui impregnasi pada zeolit-H asal Cikancra, Tasikmalaya secara metode *batch* pada waktu kontak 10 jam dengan konsentrasi larutan  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  0,05 N.

1. Kesetimbangan isoterm adsorpsi ion  $\text{Cu}^{2+}$  pada zeolit-H asal Cikancra, Tasikmalaya mengikuti persamaan Freundlich.
2. Kinetika adsorpsi ion  $\text{Cu}^{2+}$  pada zeolit-H asal Cikancra, Tasikmalaya merupakan reaksi orde ketiga dengan harga konstanta laju adsorpsi ( $k_3$ )  $1,5 \cdot 10^{-9} \text{ jam}^{-1}$ .

3. Harga  $q_e$  (jumlah adsorbat terserap per massa padatan pada kesetimbangan) semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal larutan tembaga nitrat. Sampai konsentrasi awal tembaga nitrat 0,2 N, kecenderungan peningkatan harga  $q_e$  masih terlihat. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan zeolit untuk mengadsorpsi ion logam  $\text{Cu}^{2+}$  masih dapat digunakan sampai dengan di atas konsentrasi yang dilakukan pada penelitian ini.
4. Diketahui bahwa waktu kontak tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai  $q_e$ . Meskipun waktu kontak lebih lama, nilai  $q_e$  relatif konstan. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa waktu 2 jam sudah cukup untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi.
5. Impregnasi logam  $\text{Cu}^{2+}$  telah berhasil dilakukan walaupun belum sempurna, hal ini didukung dengan data FTIR dari zeolit raw, zeolit-H dan zeolit-Cu dengan pengelusan menggunakan larutan  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  yang memiliki konsentrasi terendah maupun tertinggi yaitu 0,05 N dan 0,2 N dengan waktu kontak 2 jam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Erdem, E., Karapinar, N., & Donat, R. 2004. The removal of heavy metal cations by natural zeolites. *Journal of Colloid and Interface Science*. 280: 309-314.
- Kundari, N. A. & Wiyuniati, S. 2008. Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga dalam Limbah Pencuci PCB dengan Zeolit. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir. Yogyakarta, 25-26 Agustus 2008.
- Lee, J. -Y., Shim, M. -J. & Kim, S. -W. 1995. Isomerization of o-xylene on the metal ion-exchanged natural zeolite. *J. of Korean Ind. & Eng. Chem.* 6(4). 658-663.
- Panneerselvam, P., Bala, V.S.S., Thiruvengadaravi, K.V., Nandagopal, J., Palanichamy, M. & Sivanesan, S. 2009. The removal of copper ions from aqueous solution using phosphoric acid modified  $\beta$ -zeolites. *Indian Journal of Science and Technology*. 2(2): 63-66.
- Shigemoto, N. et al. 1995. Characterization of Na-X, Na-A and Coal Fly Ash Zeolite and

their Amorphous Precursors by IR, NMR, and XPS. *J. Mater. Sci.* 30: 5777-5782.

Singh, S., Verma, L.K., Sambhi, S.S. & Sharma, S.K. 2008. Adsorption Behaviour of Ni (II) from Water onto Zeolite X: Kinetics and Equilibrium Studies. In *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2008*.