

Studi Kinetika Adsorpsi Logam Cu^{2+} dengan Menggunakan Adsorben Zeolit Alam Teraktifasi

Betty Hidayati, Sunarno, Silvia Reni Yenti

Laboratorium Dasar-dasar Proses dan Operasi Pabrik, Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya UR Km 12,5 Panam, Pekanbaru Telp. 0761-566937
E-mail: betty_bawel@yahoo.com

ABSTRACT

Copper metal is a heavy metal from industrial waste and relatively often found as contaminants in the water, because it was the presence of copper metal waste should be minimized. One method that has been developed to minimize the presence of Cu^{2+} is the metal adsorption process, is one of the natural zeolite adsorbents are widely used for the adsorption process because it is widely available in nature and has a high selectivity. This study aims to determine a suitable kinetic model for metal adsorption process of Cu^{2+} to see the power adsorption activated natural zeolite and the influence of temperature on the adsorption rate constant. The study was conducted by varying the contact time (0, 15, 30, 45, 60, 75 and 90 minutes) and temperature (30°C , 40°C and 50°C). Copper metal adsorption results were analyzed using atomic absorption spectrophotometer (AAS). The result showed that the model is suitable for metal adsorption kinetics of Cu^{2+} with activated natural zeolite following the model of first order with a value of $k = 0.0119 \text{ min}^{-1}$ for the variation of the contact time and each $k = 0,0111 \text{ min}^{-1}$; $0,0123 \text{ min}^{-1}$; $0,0145 \text{ min}^{-1}$ for a temperature variation of 30°C , 40°C and 50°C and the value of the activation energy for the adsorption process is equal to $10,841 \text{ kJ/mol}$.

Keyword: *adsorption kinetics, copper metal, natural zeolite, adsorption*

PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia pada saat ini cukup pesat, seiring dengan perkembangan tersebut maka akan semakin banyak pula hasil samping yang diproduksi sebagai limbah. Limbah ini meliputi berbagai jenis logam berat yang dominan berada di perairan, diantaranya logam Cu^{2+} yang merupakan logam beracun dan bersifat toksik.

Pada umumnya proses yang dilakukan untuk menangani limbah logam Cu^{2+} adalah dengan proses adsorpsi, pertukaran ion (*ion exchange*), pemisahahan dengan membran dan pengendapan. Proses adsorpsi lebih banyak digunakan karena memiliki banyak keuntungan diantaranya bersifat ekonomis

dan tidak menimbulkan efek samping yang beracun dan sangat efektif untuk menyerap logam berat dibanding dengan proses lainnya. Metode adsorpsi adalah proses pemutusan molekul atau ion adsorbat pada lapisan permukaan adsorben, baik secara fisika maupun kimia.

Salah satu material yang sangat potensial digunakan untuk proses adsorpsi adalah zeolit, zeolit merupakan material yang keberadaannya melimpah di alam, memiliki kapasitas pertukaran ion yang tinggi, murah harganya, selektifitas yang tinggi dan bersifat stabil [Erdem, E., Karapinar, N., and Donat, R, 2004]. Pemanfaatan bahan biomaterial seperti abu sekam padi, ampas tebu arang aktif telah banyak dilaporkan. Hadiwidodo

[2008] telah melaporkan penggunaan abu sekam padi sebagai penjerap logam Cu^{2+} , begitu juga dengan Anwar [2010] yang telah memanfaatkan limbah ampas tebu sebagai adsorben logam Cu^{2+} .

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model kinetika yang cocok pada proses adsorpsi logam Cu^{2+} dengan melihat daya jerap zeolit teraktifasi dan mempelajari pengaruh temperatur terhadap konstanta kecepatan adsorpsi. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan waktu kontak dan temperatur. Konsentrasi logam Cu^{2+} dianalisa dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom (AAS).

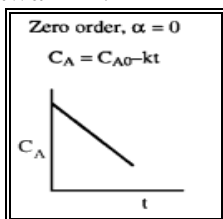
Untuk mengevaluasi kemampuan zeolit dalam menjerap logam Cu^{2+} dilakukan dengan mendapatkan data kinetika adsorpsi yang diperoleh dari percobaan. Analisa kinetika didasarkan pada kinetika orde nol, orde satu dan orde dua.

• **Orde Nol**

Suatu reaksi dikatakan mempunyai orde nol jika besarnya laju reaksi tidak dipengaruhi oleh berapapun perubahan konsentrasi pereaksinya. Artinya seberapapun peningkatan konsentrasi pereaksi tidak akan mempengaruhi besarnya laju reaksi. Persamaan linear orde reaksi nol dinyatakan dalam rumus sebagai berikut.

$$C_A = C_{A0} - kt \quad (1)$$

Bila persamaan (1) di atas diplotkan dalam grafik y versus x, maka tampak seperti gambar di bawah ini.



Gambar 1. Hubungan antara Konsentrasi terhadap Waktu pada Orde Nol

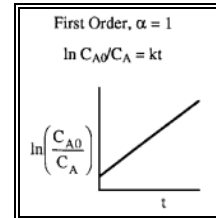
• **Orde Satu**

Reaksi orde satu adalah suatu reaksi yang kecepatannya bergantung hanyalah pada salah satu zat yang bereaksi atau sebanding dengan salah satu pangkat

reaktannya. Persamaan linear orde reaksi satu dinyatakan dalam rumus sebagai berikut [Bulut, Ozacar, Sengil, 2008].

$$\ln C_A = -kt + \ln C_{A0} \quad (2)$$

Bila persamaan (2) di atas diplotkan dalam grafik y versus x, maka tampak seperti gambar di bawah ini.



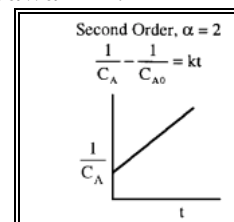
Gambar 2. Hubungan antara Konsentrasi terhadap Waktu pada Orde Satu

• **Orde Dua**

Reaksi orde dua adalah suatu reaksi yang kelajuannya berbanding lurus dengan hasil kali konsentrasi dua reaktannya atau berbanding langsung dengan kuadrat konsentrasi salah satu reaktannya. Jika mekanisme adsorpsi yang terjadi adalah reaksi orde dua dimana kecepatan adsorpsi yang terjadi berbanding lurus dengan dua konsentrasi pengikutnya atau satu pengikut berpangkat dua. Laju kinetika adsorpsi orde dua dinyatakan dalam persamaan linear berikut [Bulut, Ozacar, Sengil, 2008].

$$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = kt \quad (3)$$

Bila persamaan (2) di atas diplotkan dalam grafik y versus x, maka tampak seperti gambar di bawah ini.



Gambar 3. Hubungan antara Konsentrasi terhadap Waktu pada Orde Dua

Dimana:

- C_A = Konsentrasi A pada saat $t = t$
- C_{A0} = Konsentrasi A pada saat $t = 0$
- k = Konstanta kinetika (menit^{-1})
- t = Waktu (menit)

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Logam berat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Cu^{2+} . Larutan induk Cu^{2+} dibuat dengan melarutkan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ke dalam aquadest hingga diperoleh konsentrasi 10 ppm. Peralatan yang digunakan antara lain : ayakan dengan variasi ukuran *mesh*, oven, *furnace*, *waterbatch*, neraca analitis, motor pengaduk, termometer, spektrofotometer serapan atom (AAS), labu ukur, erlenmeyer dan gelas kimia standar.

Penyiapan Adsorben

Pada tahap penyeragaman ukuran butir zeolit, mula-mula kotoran yang ada pada zeolit dipisahkan terlebih dahulu dengan cara dicuci dengan *aquadest*, lalu dikeringkan dalam *furnace* selama 4 jam pada temperatur $300\text{-}400^\circ\text{C}$. Setelah itu zeolit alam kering tersebut diaktifkan dengan larutan asam HNO_3 0,1 N yang direndam selama 4 jam di dalam *beaker glass*, kemudian dipanaskan di dalam *water batch* sampai mengering. Zeolit dicuci dengan *aquadest* sampai pH mendekati 7 atau pH normal. Zeolit tersebut kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 2-3 jam [Chaidir, 2009]

Tahap Percobaan Pendahuluan

Percobaan pendahuluan ini bertujuan untuk menentukan waktu kesetimbangan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *batch*. Pada metode *batch* ini adsorbat langsung dicampurkan dengan adsorben di dalam *beaker glass*. Larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi 10 ppm dimasukkan ke dalam *beaker glass*, kemudian dimasukkan zeolit sebanyak 2 gram dan diaduk dengan motor pengaduk dengan kecepatan 150 rpm. Pengadukan dilakukan selama 3,5 jam dengan interval waktu pengambilan sampel 30 menit [Chaidir, 2009]. Konsentrasi sampel logam Cu^{2+} dianalisa dengan menggunakan AAS.

Tahap Adsorpsi dan Analisa

a. Pengaruh Waktu Kontak

Adsorben dengan ukuran partikel 100 *mesh* ditimbang sebanyak 2 gram kemudian dimasukkan ke dalam *beaker glass* dan ditambahkan larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 10 ppm sebanyak 1000 ml. Selanjutnya larutan diaduk dengan motor pengaduk dengan kecepatan 150 rpm pada temperatur kamar dengan variasi waktu kontak 0, 15, 30, 45, 60, 75 dan 90 menit (rangkaian alat seperti Gambar 4). Setelah itu larutan sampel disaring dengan menggunakan kertas saring dan dianalisa dengan menggunakan AAS. Untuk menentukan model kinetika adsorpsi yang paling cocok untuk penelitian ini, hasil dianalisa dengan menggunakan persamaan kinetika orde nol, orde satu dan orde dua.

b. Pengaruh Temperatur

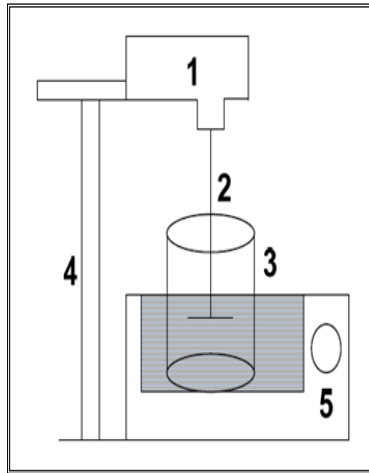
Adsorben dengan ukuran partikel 100 *mesh* ditimbang sebanyak 2 gram kemudian dimasukkan ke dalam *beaker glass* dan ditambahkan larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 10 ppm sebanyak 1000 ml. Selanjutnya larutan diaduk dengan motor pengaduk dengan kecepatan 150 rpm dengan variasi temperatur 30°C , 40°C dan 50°C . Lamanya proses pengontakan antara adsorben dan adsorbat pada variasi temperatur ini merujuk kepada lamanya waktu kesetimbangan yaitu selama 90 menit, dimana setiap interval 15 menit sampel diambil kemudian disaring dan dianalisa dengan menggunakan AAS. Setelah data analisa, data diolah dengan menggunakan model kinetika orde satu karena pengolahan data berdasarkan model kinetika yang paling cocok pada variasi waktu kontak yaitu mengikuti model kinetika orde satu.

Hasil dari penerapan model kinetika yang paling cocok diaplikasikan untuk mencari besarnya energi aktivasi dari pengaruh temperatur yang divariasikan, yang dihitung dengan persamaan (4) berikut.

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

- E_a : Energi aktivasi
- k : Konstanta laju adsorpsi
- R : Tetapan gas universal
- T : Temperatur (K)



Gambar 4. Skema Peralatan Penelitian

Keterangan Gambar 4 :

1. Motor pengaduk
2. Pengaduk
3. Tangki adsorpsi
4. Statif
5. *Waterbatch*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Waktu Terhadap Daya Jerap

Penentuan lamanya waktu kontak diperoleh berdasarkan hasil percobaan pendahuluan yaitu penentuan waktu kesetimbangan, dimana diperoleh kondisi setimbang pada waktu 90 menit. Data yang dianalisa pada penelitian ini adalah konsentrasi logam Cu^{2+} yang terjerap pada variasi yang telah ditentukan melalui persamaan 5 di bawah ini.

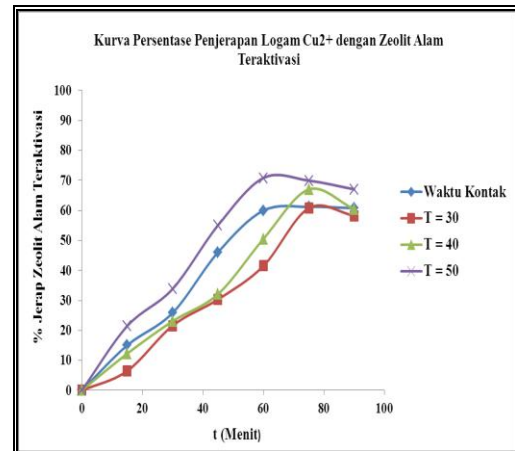
$$\frac{CCu_0 - CCu_t}{CCu_0} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

Diketahui :

CCu_0 = Konsentrasi larutan Cu^{2+} pada saat $t = 0$

CCu_t = Konsentrasi larutan Cu^{2+} pada saat $t = t$

Kemampuan zeolit alam teraktivasi dalam menyerap logam Cu^{2+} dengan variasi waktu kontak dan temperatur ditampilkan pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Penjerapan (%)

Dari Gambar 5 di atas terlihat bahwa peningkatan kapasitas adsorpsi adsorben selaras dengan waktu kontak, pada menit-menit awal adsorpsi logam Cu^{2+} oleh zeolit menunjukkan peningkatan yang signifikan, tetapi setelah hampir semua sisi aktif zeolit berinteraksi dengan ion logam, kecepatan adsorpsi menurun sehingga tidak terjadi peningkatan kapasitas adsorpsi. Peningkatan kapasitas adsorpsi ini diduga terjadi karena jumlah sisi aktif yang tersedia pada permukaan zeolit masih banyak belum terisi atau kondisinya belum jenuh sehingga memudahkan logam Cu^{2+} untuk berinteraksi dengan zeolit. Setelah adsorpsi logam Cu^{2+} berlangsung selama 60 menit, jumlah logam Cu^{2+} yang teradsorpsi terlihat relatif tetap, hal ini disebabkan dengan bertambahnya waktu kontak yang lebih lama, sisi aktif pada zeolit sudah terisi penuh dan kondisi ini dianggap telah mencapai kesetimbangan.

Penentuan Model Kinetika Adsorpsi

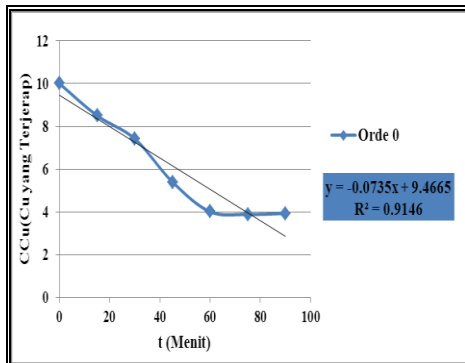
Untuk menentukan mekanisme dan laju adsorpsi suatu media, dibutuhkan suatu pendekatan dengan model kinetika [Bulut, Ozacar, Sengil, 2008]. Salah satu tujuan utama penelitian kinetika adsorpsi

ini adalah untuk menentukan model yang cocok untuk kinetika adsorpsi logam Cu^{2+} dan mendapatkan nilai-nilai parameter kinetika adsorpsi. Dalam studi ini, data-data penelitian kinetika *batch* akan dievaluasi dengan model-model kinetika yang cukup aplikatif untuk sistem *liquid – solid*.

Kinetika adsorpsi logam Cu^{2+} oleh zeolit ditentukan melalui pengaruh variasi waktu kontak dan temperatur. Waktu kontak dilakukan pada berbagai selang waktu yaitu : 0, 15, 30, 45, 60, 75 dan 90 menit dan temperatur percobaan 30°C , 40°C dan 50°C .

- **Orde Nol**

Penentuan orde nol dilakukan dengan regresi linear menggunakan persamaan (1). Regresi linear kinetika orde nol pada proses adsorpsi logam Cu^{2+} dengan menggunakan adsorben zeolit alam teraktifasi dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



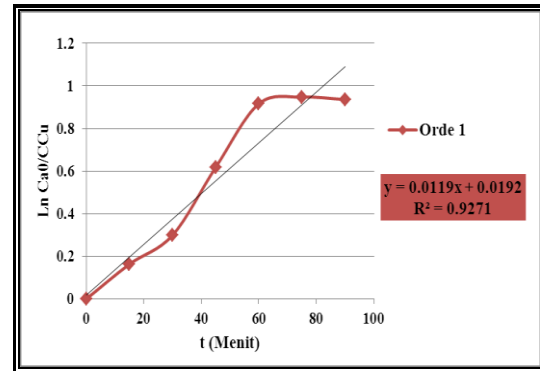
Gambar 6. Model Kinetika Orde Nol Untuk Variasi Waktu Kontak

Persamaan garis yang didapatkan dari linearisasi pada Gambar 6 di atas adalah $y = -0,0735x + 9,4665$ dengan $R^2 = 0,9146$, dari persamaan tersebut dapat diketahui nilai k (konstanta laju adsorpsi) yaitu $-0,0735 \text{ menit}^{-1}$.

- **Orde Satu**

Penentuan orde satu dilakukan dengan regresi linear menggunakan persamaan (2). Regresi linear kinetika orde satu pada proses adsorpsi logam Cu^{2+} dengan menggunakan adsorben zeolit

alam teraktifasi dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini.

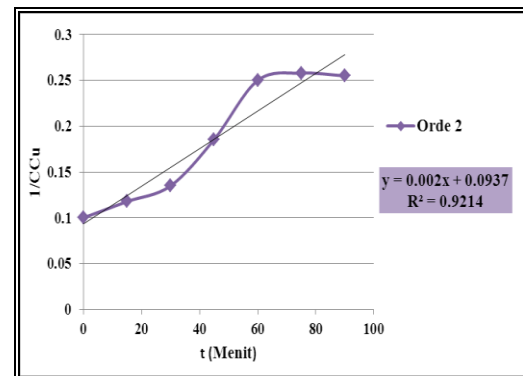


Gambar 7. Model Kinetika Orde Satu Untuk Variasi Waktu Kontak

Persamaan garis yang didapatkan dari linearisasi pada Gambar 7 di atas adalah $y = 0,0119x + 0,0192$ dengan $R^2 = 0,9271$, dari persamaan tersebut dapat diketahui nilai k (konstanta laju adsorpsi) yaitu $0,0119 \text{ menit}^{-1}$.

- **Orde Dua**

Penentuan orde dua dilakukan dengan regresi linear menggunakan persamaan (3). Regresi linear kinetika orde satu pada proses adsorpsi logam Cu^{2+} dengan menggunakan adsorben zeolit alam teraktifasi dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini.



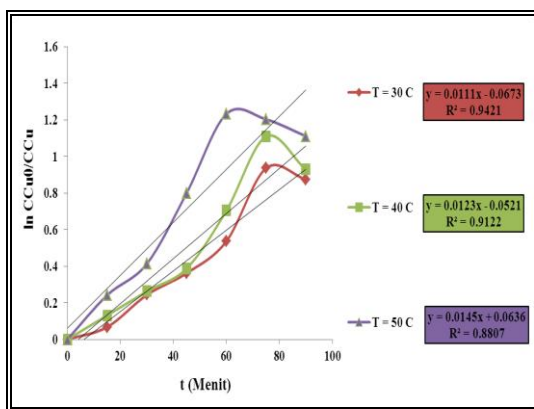
Gambar 8. Model Kinetika Orde Dua Untuk Variasi Waktu Kontak

Persamaan garis yang didapatkan dari linearisasi pada Gambar 8 adalah $y = 0,002x + 0,0937$ dengan $R^2 = 0,9214$, dari persamaan tersebut dapat diketahui nilai k (konstanta laju adsorpsi) yaitu $0,002 \text{ menit}^{-1}$.

Dari hasil penelitian yang diperoleh, orde kinetika yang paling cocok untuk adsorpsi logam Cu^{2+} dengan adsorben zeolit alam teraktifasi ini yaitu model kinetika orde satu dengan nilai regresi linear paling tinggi.

Pengaruh Temperatur Terhadap Kinetika Adsorpsi

Pengaruh temperatur terhadap kinetika atau laju adsorpsi pada model kinetika orde satu dapat dilihat pada Gambar 9. Adsorpsi dilakukan pada variasi temperatur 30°C , 40°C dan 50°C .



Gambar 9. Pengaruh Temperatur Terhadap Kinetika atau Laju Adsorpsi

Harga konstanta kinetika (k) diperoleh dari slope grafik hubungan antara konsentrasi adsorbat terhadap waktu (menit). Harga konstanta laju adsorpsi yang diperoleh dari variasi temperatur diperlihatkan pada Tabel 1 di bawah ini.

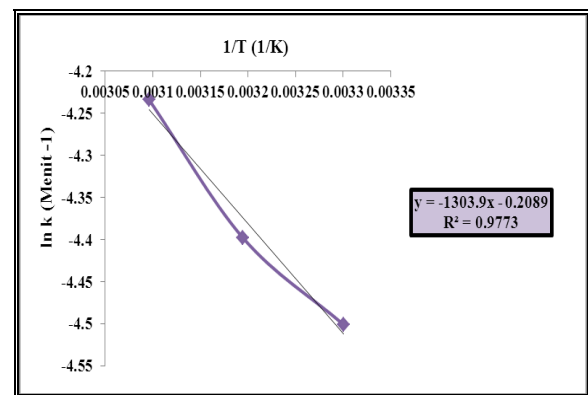
Tabel 1. Nilai Konstanta Laju Adsorpsi Pada Variasi Temperatur

No	Temperatur (T)	Nilai Konstanta Laju Adsorpsi (k)
1	30	0,0111
2	40	0,0123
3	50	0,0145

Dari harga konstanta kinetika yang terdapat pada Gambar 9 dan Tabel 1 diperoleh nilai tertinggi yaitu pada temperatur 50°C sebesar $0,0145 \text{ menit}^{-1}$. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur nilai konstanta laju

adsorpsinya semakin besar, terbukti bahwa kenaikan kapasitas adsorpsi dipengaruhi oleh kenaikan temperatur. Hal ini sesuai dengan teori adsorpsi yang menyatakan bahwa laju adsorpsi meningkat seiring dengan kenaikan temperatur. Peningkatan kapasitas adsorpsi ini disebabkan pada temperatur yang lebih tinggi terjadi aktifasi sisi aktif permukaan adsorben dan peningkatan energi kinetik ion logam serta terbentuknya ion logam yang lebih kecil karena pengurangan efek hidrasi, sehingga mampu menembus lapisan pori yang lebih dalam. Fenomena ini membuktikan bahwa proses adsorpsi bersifat endotermis [Zakaria, 2011].

Berdasarkan nilai konstanta kinetika yang diperoleh pada masing-masing temperatur, dihitung besarnya energi aktifasi yang dibutuhkan untuk proses adsorpsi. Energi aktifasi ini digunakan untuk memperkirakan adsorpsi berlangsung secara kimia (*chemisorpsi*) atau fisika (*fisorpsi*).



Gambar 10. Hubungan antara $\ln k$ terhadap Temperatur

Dari Gambar 10 di atas, diperoleh slope $-1303,9$ dan dari perhitungan menggunakan persamaan 4, diperoleh besarnya energi aktifasi yaitu sebesar $10,481 \text{ kJ/mol}$ dan ini artinya proses adsorpsi berlangsung secara fisika karena batas maksimal energi aktifasi secara fisika menurut Adamson [1990] adalah $20,92 \text{ kJ/mol}$.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang diperoleh, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain : semakin lama waktu kontak maka daya jerap zeolit alam teraktifasi semakin besar sampai kondisi setimbang. Adsorpsi logam Cu^{2+} dengan menggunakan adsorben zeolit alam teraktifasi dapat dijelaskan dengan mengikuti model kinetika orde satu dan diketahui juga bahwa semakin tinggi temperatur nilai konstanta kinetika adsorpsi semakin besar dengan perolehan harga k terbesar pada temperatur 50°C sebesar $0,0145 \text{ menit}^{-1}$.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, W.A., 1990, *Physical Chemistry of Surface*, New York: John Wiley and Sons. Inc.
- Anwar, S., 2010, *Studi Kinetika Adsorpsi Ion Logam Berat Cu (II) Menggunakan Ampas Tebu Teraktifasi*, Laporan Penelitian, Program Studi Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Bulut, Emrah., Ozacar, Mahmut., Sengil, Ayhan., 2008, *Adsorption of Malachite Green Onto Bentonite : Equilibrium and Kinethics Studies And Process Design, Microporous And Mesoporous Materials*, Elsevier, 115.234-256.
- Butt, John.B., 2000, *Reaction Kinetics and Reactor Design*. 2 ed, hal 689 – 691, CRC Press.
- Chaidir, H., R., 2009, *Studi Kinetika Larutan Timbal (Pb^{2+}) dengan Zeolit Teraktifasi*, Laporan Penelitian, Program Studi Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Erdem, E., Karapinar, N., and Donat, R., 2004, *The Removal Heavy Metal Cations by Natural Zeolites*, Journal of Colloid and Interface Science 280, 309–314, *Department of Chemistry Engineering, Faculty of Engineering, Pamukkale University, Denizli, Turkey*.
- Hadiwidodo, M., 2008, *Penggunaan Abu Sekam Padi sebagai Adsorben dalam Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Logam Cu*, *Journal Teknik* Vol. 29 No. 1 Tahun 2008, ISSN 0852-1697, Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Pallar, H., 1994, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Jakarta: Rineka Cipta, hal : 152.
- Zakaria, Ahmad., 2011, *Adsorpsi Cu (II) Menggunakan Zeolit Sintetis dari Abu Terbang Batu Bara*, Tesis Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.