

STUDI KINETIKA ADSORPSI ION Cu^{2+} BERDASARKAN PSEUDO ORDE 1 DAN ORDE 2 PADA BIOADORBEN TANPA DAN TERAKTIVASI SECARA FISIKA DARI KULIT KACANG TANAH DENGAN METODE FIXED BED COLUMN

Halim Zaini¹⁾, Muhammad Sami²⁾, Fachraniah³⁾

^{1*,2,3} Teknik Kimia, Politeknik Negeri Lhokseumawe
Correspondent email: halimzaini60@gmail.com

ABSTRAK

Penyisihan logam berat dalam air dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti dengan metode penukar ion, membran, koagulasi, elektrolisa, adsorpsi. Salah satu metode yang relatif efektif dan efisien adalah metode adsorpsi. Penelitian dilaksanakan dengan metode adsorpsi sistem kolom tunggal sebagai bahan penjerap kulit kacang tanah seberat 50 g, ukuran partikel 35 mesh dan yang diserap adalah air limbah artifisial konsentrasi awal 50 ppm Cu^{2+} sebanyak 10 liter, laju alir 4 liter/menit. Variabel bebas terdiri dari jenis penjerap yaitu tanpa aktivasi, aktivasi secara fisika serta waktu kontak 0;30;60;90;;120;150 menit. Adsorpsi logam Cu^{2+} dipengaruhi oleh waktu kontak dan kondisi bioadsorben, dengan kapasitas adsorpsi ekstrapolasi tertinggi terjadi pada waktu 150 menit untuk tanpa diaktivasi sebesar 5,6 mg/g dan yang diaktivasi sebesar 7,4 mg/g. Studi kinetika adsorpsi berlangsung mengikuti orde satu dengan kapasitas adsorpsi terkalibrasi secara berurut 5,507 mg/g ;9,526 mg/g dan tetapan k_1 (men^{-1}) 0,0038 ; 0,0181 serta nilai linieritas (R^2) masing-masingnya 0,6667 dan 0,9450

Keywords: logam berat, adsorpsi, kapasitas adsorpsi, kinetika adsorpsi

ABSTRACT

Removal of heavy metals in water can be carried out in various ways such as by ion exchange methods, membranes, coagulation, electrolysis, and adsorption. One method that is relatively effective and efficient is the adsorption method. The research was carried out using a single column adsorption method as an adsorbent for peanut shells weighing 50 g, particle size 35 mesh and being absorbed was artificial wastewater with an initial concentration of 50 ppm Cu^{2+} as much as 10 liters, flow rate 4 liters/minute.. The independent variables consisted of the type of adsorbent, namely without activation, physical activation and contact time 0;30;60;90;;120;150 minutes. The result of adsorption of Cu^{2+} metal was influenced by contact time and bioadsorbent conditions, with the highest extrapolation adsorption capacity occurring at 150 minutes without being activated at 5.6 mg/g and activated at 7.4 mg/g. The study of adsorption kinetics followed order one with calibrated adsorption capacities sequentially 5.507 mg/g; 9.526 mg/g and constant k_1 (men^{-1}) 0.0038; 0.0181 and the linearity values (R^2) are 0.6667 and 0.9450.

Keywords: heavy metal, adsorption, adsorption capacity, adsorption kinetic

1. PENDAHULUAN

Perkembangan peradaban manusia dalam dunia teknologi selain membawa manfaat bagi berbagai kehidupan dapat juga menimbulkan permasalahan yang serius antara lain dampak lingkungan seperti pencemaran oleh logam berat diantaranya logam Pb, Cu, Fe, Cr, Ni,. Keberadaan logam dalam lingkungan dapat berasal dari dua sumber. Pertama dari proses

alamiah seperti pelapukan secara kimiawi, kegiatan geokimiawi, dari tumbuhan dan hewan yang membusuk. Sumber lain berasal dari hasil samping aktivitas industri. (Zaini, dkk 2016).

Banyak industri berpotensi menimbulkan pencemaran antara lain industri komponen elektronika, pelapisan logam, industri baterai, industri kulit, industri cat, kosmetik dan tekstil.

Selama proses berlangsung banyak menggunakan logam-logam berat. Limbah

yang dihasilkan jika tidak ditangani dengan baik, maka dapat mengancam kehidupan makhluk disekitarnya dalam berbentuk berbagai penyakit seperti diare, iritasi, keracunan..

Pada industri yang peduli lingkungan, limbah yang dihasilkan dikumpulkan atau diproses. Penangannya dapat juga dikirimkan kepada industri pengolah limbah.. Salah satu logam berat yaitu logam Cu yang dalam industry dapat berasal dari limbah industry elektronika, kabel, proses elektroplating. Sebaliknya beberapa limbah hasil pertanian seperti kulit kacang tanah belum banyak dimanfaatkan dan bahan ini diantaranya dapat dimanfaatkan sebagai bahan penyerap logam berat seperti logam Cu^{2+} .

Proses penanganan limbah logam berat dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti adsorpsi, pertukaran ion, dengan membran dan pengendapan. Hidayati (2012). Dalam upaya penurunan kadar logam berat dalam bentuk cairan, maka proses adsorpsi sangat efektif untuk menyerap logam berat dan ekonomis.

Sorpsi adalah proses penyerapan ion oleh partikel penjerap. Proses sorpsi dibedakan sebagai adsorpsi dan absorpsi. Proses adsorpsi dimana jika ion tersebut tertahan dipermukaan partikel penjerap, sedangkan absorpsi jika proses pengikatan ini berlangsung sampai di dalam partikel penjerap. Mantel (1951)

Salah satu solusi tentang penanganan limbah logam Cu^{2+} dengan biaya yang relatif murah adalah dengan metode kolom tunggal memanfaatkan kulit kacang tanah sebagai adsorban. Pada penelitian ini logam Cu^{2+} sebagai adsorbat diperoleh secara artificial dari senyawa $CuSO_4 \cdot 5H_2O$.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi Cu^{2+} diantaranya waktu kontak, suhu (Hidayati, 2012) dan. Widiati (2012) proses adsorpsi Cr^{6+} dipengaruhi oleh waktu kontak dan pH. Raudah (2014), proses adsorpsi karbon aktif dari kulit tanduk kopi dipengaruhi oleh waktu kontak dan aktifator.

Sembodo (2006), adsorpsi timbal pada abu sekam padi dipengaruhi oleh faktor berat adsorban dan suhu adsorpsi. Irmawati (2013), adsorpsi kromium, berdasarkan metode kolom menggunakan adsorben kulit kacang tanah yang diaktifasi HNO_3 0,1 M dipengaruhi oleh faktor laju alir adsorbat, tinggi kolom adsorben dan konsentrasi adsorbat diperoleh kapasitas adsorpsi sebesar 0,4937 mg/g

Rusmaya (2008), sorpsi limbah nikel menggunakan kulit kacang tanah dipengaruhi oleh variasi pH, dosis adsorban dan waktu kesetimbangan, konsentrasi adsorbat. Hasil studi kinetika penelitian menunjukkan kapasitas adsorpsi Freundlich, $k = 0,214$ mg/g dan untuk Langmuir kapasitasnya, $q_m = 0,536$ mg/g.

Adsorpsi logam kromium dipengaruhi oleh faktor waktu dan suhu adsorpsi. (Danarto, 2007). Adapun faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi ukuran partikel, suhu, berat, aktifator, waktu kontak, laju alir, pH.

Menurut Sediawan dan Prasetya (1997) dalam Danarto (2007), proses adsorpsi terjadi pada permukaan pori-pori dalam adsorben, sehingga untuk bisa terjadi adsorpsi, logam dalam cairan mengalami perpindahan secara berturut sebagai berikut: perpindahan massa adsorbat ke permukaan adsorben; difusi adsorbat dari permukaan adsorban ke dalam adsorben melalui pori-pori; perpindahan massa adsorbat dalam pori ke dinding pori adsorben; adsorpsi logam (adsorbat) pada dinding pori adsorben.

Pada proses adsorpsi jumlah logam yang teradsorpsi dalam adsorben untuk waktu kontak t dinyatakan dengan persamaan:

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

C_0 : konsentrasi awal adsorbat (mg/l)

C_t : konsentrasi saat t (menit), (mg/l)

V : volume adsorbat (liter)

q_t : kapasitas adsorpsi (mg/g)

Model kinetika pseudo orde 1

Perilaku adsorpsi sistem kontinu menggunakan metode kolom tunggal dapat dipelajari dengan berbagai pendekatan teori diantaranya:

Lagergren, Thomas, orde n . Dalam hal ini menggunakan model kinetika pseudo orde satu dari Lagergren dan model kinetika pseudo orde dua dari Ho and McKay (1998, 1999).

Menurut Lagergren (1898) persamaan kinetika orde-pertama dinyatakan seperti pada persamaan

$$\frac{d q_t}{d t} = k_1 (q_e - q_t) \dots\dots\dots (2)$$

Integrasi pada kondisi $q_t = 0$ s/d $q_t = q_t$ dan $t = 0$ s/d $t = t$ dari persamaan diatas diperoleh bentuk persamaan linier orde satu berikut:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (3)$$

Parameter q_e (mg/g) dan k_1 (min^{-1}) dapat dihitung dari plot $\ln(q_e - q_t)$ versus t . pada grafik akan diperoleh nilai k , q_e cal dan R^2 .

Model kinetika pseudo orde dua

Menurut Ho dan McKay (1999), persamaan orde satu Lagergren tersebut dapat menjadi persamaan pseudo orde dua dengan cara memodifikasi sebagai berikut:

$$\frac{d q_t}{d t} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (4)$$

Integrasi pada kondisi $q_t=0$ s/d $q_t = q_t$ dan $t=0$ s/d $t = t$ dari persamaan diatas diperoleh bentuk persamaan linier orde dua berikut:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (5)$$

Parameter q_e (mg/g) dan k_2 (g/mg.min) dapat dihitung dari plot t/q_t versus t pada grafik akan diperoleh nilai k , q_e cal dan R^2 .

Menurut Canra dkk (2015) salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mengukur selisih antara kapasitas adsorpsi ekstrapolasi (q_e exp) dan kalibrasi (q_e cal) yaitu nilai %SSE (*Sum of Error Squares*)

$$\%SSE = \frac{\sqrt{(q_e \text{ exp} - q_e \text{ cal})^2}}{N} \quad (6)$$

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan logam Cu dalam bentuk adsorbat larutan Cu^{2+} 50 ppm yang dibuat dari sejumlah gr $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan dengan aquadest dan bahan anti pengendapan berupa asam nitrat pekat HNO_3 .

Adsorban dibuat dari kulit kacang tanah, terlebih dahulu dibersihkan, dicuci dengan air *Reverse Osmosis*, dikeringkan dengan sinar matahari. Pengecilan ukuran menggunakan Crusher dan mengambil hasil ayakan yang lolos pada ayakan 30 mesh dan tertahan pada ayakan 40 mesh dengan ukuran rata-rata 35 mesh. Sebelum digunakan adsorben dikeringkan dengan oven pada suhu 80°C .

Jenis adsorben yang digunakan ada 2 jenis yaitu tanpa aktivasi dan yang diaktivasi secara fisika menggunakan uap. Sebelum proses adsorpsi masing-masing adsorban dikeringkan hingga diperoleh berat yang stabil dengan kadar

air sekitar 10% dan pada saat akan digunakan sebagai adsorben masing masing ditimbang sebanyak 50 g.

Alat Penelitian

Pada penelitian ini diperlukan berbagai alat yang terdiri dari crusher dipergunakan untuk pengecilan ukuran partikel adsorben, oven untuk alat pengering adsorben, neraca analitik untuk penimbangan adsorben. Unit adsorpsi adalah alat yang diperlukan untuk melakukan adsorpsi yang merupakan rangkaian alat terdiri dari kolom adsorpsi, flowmeter, pompa sirkulasi, tangki inflow dan tangki outflow.

Kondisi Variabel

Penelitian dilaksanakan di laboratorium Operasi Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe dengan variabel tetap ukuran partikel 35 mesh, jumlah adsorben 50 g, laju alir 4 liter/menit, volume adsorbat 10 liter, suhu operasi 30°C . Variabel bebas waktu kontak 0; 30; 60; 90; 120; 150 menit. Variabel terikat konsentrasi adsorbat yang tersisa (ppm). Hasil pengolahan data konsentrasi adsorbat terserap (ppm), kapasitas adsorpsi (mg/g) dan kinetika adsorpsi



Gambar 1. Unit Kolom Adsorpsi

Kondisi Operasi

Proses adsorpsi terjadi di dalam kolom tunggal dengan diameter kolom 6,35 cm dan tinggi kolom kondisi kosong 38 cm. Masing-masing bioadsorben dimasukkan ke dalam kolom adsorpsi sebanyak 50 g adsorben tanpa aktivasi dimasukkan ke dalam kolom tunggal. Selanjutnya selama proses operasi pada waktu waktu tertentu dilakukan pengambilan sampel uji sesuai dengan masing-masing waktu kontak

atau waktu adsorpsi. Dengan cara yang sama dilakukan juga untuk 50 g bioadsorban yang diaktivasi secara fisika.

Analisa Sampel

Hasil pengumpulan dari uji sampel proses adsorpsi langkah berikutnya untuk mengetahui konsentrasi Cu^{2+} yang masing tersisa didalam adsorbat dilakukan analisa menggunakan metode spektrofotometri serapan atom yang secara instrumentasi biasa disebut dengan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) setelah itu data hasil analisa dilakukan pembahasan.



Gambar 2. Pelaksanaan Adsorpsi

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagaimana dikemukakan sebelumnya bahwa salah satu metode pemisahan atau penyisihan terhadap logam berat dalam air yang cukup efektif dan efisien adalah metode adsorpsi. Metode adsorpsi terdiri dari 2 jenis yaitu dapat berupa adsorpsi dengan sistem pengadukan secara batch dan metode adsorpsi dengan sistem kolom yang beroperasi secara kontinu menggunakan kolom tunggal.

Jika dibandingkan kedua metode adsorpsi ini untuk kondisi yang sama seperti ukuran partikel, waktu kontak, maka sistem kolom jauh lebih praktis, efisien dan efektif dibandingkan dengan sistem pengadukan yang pelaksanaan lebih rumit. Pada saat implementasi adsorpsi terdapat perbedaan diantaranya terletak pada waktu dan ukuran partikel adsorben yang digunakan. Sistem pengadukan ukuran partikelnya bisa lebih kecil sedangkan sistem kolom ukuran partikel agak lebih besar.

Penelitian berdasarkan adsorpsi ini merupakan penelitian terapan yang dimulai

dengan perancangan dan perakitan peralatan Unit Adsorpsi yang praktis dan serba guna dengan berbagai jenis adsorben.

Alat yang dibuat dapat dioperasikan menggunakan kolom tunggal, multi kolom serta dapat juga dioperasikan secara seri maupun secara paralel. Sebagai tahap awal disini menggunakan kolom tunggal, bahan penjerap dapat menggunakan bioadsorben yang berasal dari kulit kacang tanah. Untuk menggerakkan fluida digunakan pompa yang alirannya dapat melalui alat penara laju alir yang biasa disebut sebagai flow meter.

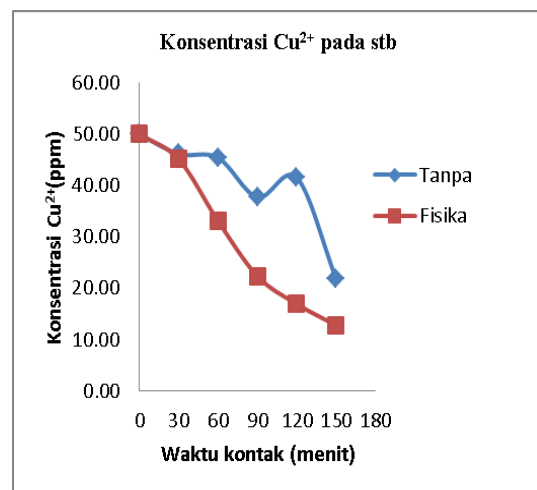
Kemampuan Penyisihan

Pada studi perbandingan kinetika adsorpsi Cu^{2+} ini sistem yang dipilih adalah sistem kolom tunggal dengan ukuran partikel kecil dari 35 mesh. Hasil analisis sampel disajikan dalam bentuk tabel berikut:

Tabel 1. Konsentrasi Cu (ppm) pada stb

T (men)	Jenis Adsorben	
	Tanpa Aktivasi	Aktivasi Fisika
0	50,00	50,00
30	46,17	45,13
60	45,43	33,09
90	37,73	22,36
120	41,56	16,92
150	21,86	12,78

Sumber: Hasil Analisa



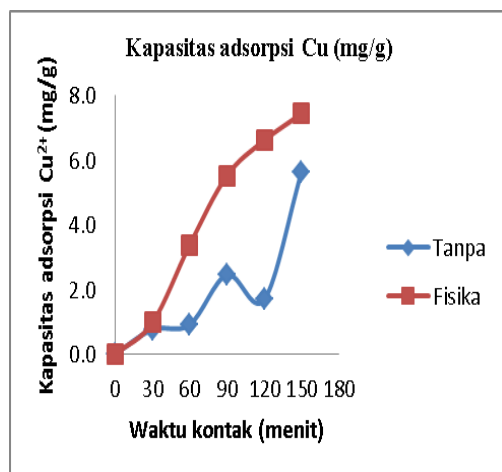
Gambar 3. Kurva konsentrasi Cu pada stb

Perubahan konsentrasi logam (tabel 1 dan gambar 3) terhadap waktu adsorpsi atau

terhadap waktu kontak memperlihatkan adanya perbedaan satu dengan lainnya. Untuk penggunaan bioadsorben yang diaktivasi dengan bioadsorben yang tidak diaktivasi memperlihatkan perbedaan yang signifikan. Perbedaan ini disebabkan adsorben yang tidak diaktivasi permukaan pori-porinya masih tertutup oleh bahan-bahan organik sehingga proses adsorpsi terhadap logam Cu^{2+} yang terdapat dalam adsorbat sulit untuk menembus atau masuk ke dalam pori-pori bioadsorben. Dengan demikian kemampuan untuk menyerapnya relative rendah dibandingkan dengan adsorben yang mengalami aktivasi.

Kemampuan adsorpsi

Untuk mengkaji untuk proses adsorpsi dari Cu^{2+} dapat dikaji dari berbagai cara antara lain dengan melihat kemampuan penyisihan (%) atau dapat juga melihat kapasitas adsorpsi (mg/g).



Gambar 4. Kurva kapasitas adsorpsi (mg/g)

Berdasarkan gambar 4 jumlah logam yang terserap ke dalam adsorben menunjukkan bahwa semakin lama waktu adsorpsi atau waktu kontak, maka jumlah adsorbat yang teradsorpsi semakin meningkat.

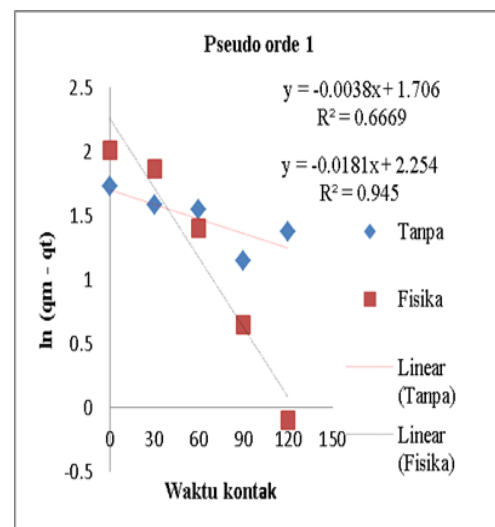
Proses adsorpsi dengan bioadsorben kulit kacang tanah dengan ukuran partikel 35 mesh baik tanpa aktivasi dan maupun yang diaktivasi secara fisika menunjukkan kemampuan adsorpsi dari adsorben yang diaktivasi lebih baik dibandingkan dengan bioadsorben yang tidak diaktivasi pada waktu terbaik 150 menit diperoleh kapasitas adsorpsi masing-masing yang tertinggi 5,6 mg/g dan 7,4 mg/g.

Hasil kajian tentang kapasitas adsorpsi Cu^{2+} oleh Setiawan, dkk (2018) tentang adsorpsi

menggunakan adsorben dari kulit kacang tanah yang diarrangkan dengan metode pengadukan dengan ukuran partikel 100 mesh pada waktu terbaik 75 menit diperoleh kapasitas adsorpsi sebesar 8,5448 mg/g. Jika kedua penelitian ini dibandingkan kapasitas adsorpsi yang diperoleh hampir bersamaan kendatipun faktor-faktornya berbeda metode, adsorben, ukuran partikel dan waktu kontak.

Hasil penelitian ini jauh lebih efektif dan efisien, jika dibandingkan dengan Irmawati (2013) yang menggunakan ukuran partikelnya 30 mesh menunjukkan bahwa biomassa kulit kacang tanah teraktivasi dengan HNO_3 dengan kondisi laju alir 1 mL/menit dan tinggi adsorben 10 cm mampu menyerap kromium dalam larutan kromium 100 mg/L sebesar 0,4937 mg/g dan hasil penelitian terhadap nikel Rumsya dan Padmi (2008), yang dihitung dengan persamaan isotherm Freundlich dan Langmuir. Kapasitas adsorpsi untuk Freundlich $k = 0,214 \text{ mg/g}$ dan Langmuir $q_m = 0,536 \text{ mg/g}$

Berdasarkan gambar 4 jumlah logam yang terserap ke dalam adsorben menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak atau waktu adsorpsi, maka kapasitas adsorpsi logam semakin meningkat.



Gambar 4. Kurva kinetika pseudo orde 1

Tabel 2. Kinetika pseudo orde 1

Parameter	Jenis Adsorben	
	Tanpa Aktivasi	Aktivasi Fisika

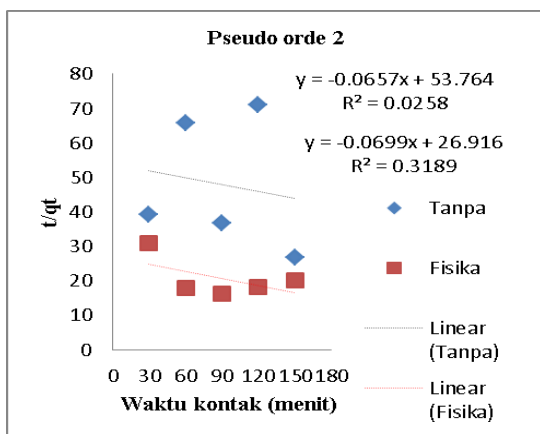
R ²	0,6669	0,9450
K ₁ (men ⁻¹)	0,0038	0,0181
q _e (mg/g)		
cal	5,507	9,526
q _e exp	5,6	7,4
%SSE	0,038	0,868

Sumber: Hasil Pengolahan

Model Kinetika Pseudo Orde Satu

Berdasarkan gambar 4 dan data tabel 2, persamaan kinetika pseudo orde 1 untuk masing-masing bioadsorben menghasilkan nilai parameter R² yang besarnya lebih besar dari 0,5 dan kecil dari 1., yang cenderung mengarah ke bentuk persamaan linier atau persamaan pseudo orde satu dimana nilai parameter R² (standar linieritas persamaan R² = 1).

Nilai R² diperlihatkan pada tabel 2, dimana nilai R² diatas 0,5 hingga mendekati nilai 1, dimana nilai parameter setelah kalibrasi untuk bioadsorben tanpa aktivasi nilai kapasitasnya 5,507 mg/g, %SSE 0,038 dan bioadsorben yang diaktivasi secara fisika nilai kapasitasnya 9,526 mg/g, %SSE 0,868. Antara nilai ekstrapolasi dan kalibrasi hasilnya reallif sama dan mendukung mekanisme kinetika pseudo orde satu.



Gambar 5. Kurva kinetika pseudo orde 2

Tabel 3. Kinetika pseudo orde 2

Parameter	Jenis Adsorben	
	Tanpa Aktivasi	Aktivasi Fisika
R ²	0,0258	0,3189
K ₂ (mg/g.mem)	7,47x10 ⁻⁵	18,153x10 ⁻⁵

q _e (mg/g)	15,221	14,306
q _e exp	5,6	7,4
%SSE	4,3	1,15

Model Kinetik Pseudo Orde Dua

Berdasarkan gambar 5 dan tabel 3 dapat ditunjukkan nilai parameter linieritas (R²) baik untuk bioadsorben tanpa aktivasi maupun bioadsorben yang diaktivasi secara fisika nilainya R² jauh di dibawah nilai 50% yang masing-masing nilainya 0,0258 dan 0,3189. Selain itu nilai tetapan kinetika (k₂) sangat rendah dimana nilai masing-masing 7,47x10⁻⁵ dan 18,153x10⁻⁵. Hal ini menghasilkan kinetika adsorpsinya sangat lambat atau proses adsorpsinya tidak terjadi, tidak memenuhi kriteria, kinetika adsorpsi pseudo orde dua.

Pernyataan ini dikukuhkan dengan adanya perbedaan yang signifikan antara nilai kapasitas adsorpsi ekstrapolasi dengan kapasitas hasil kalibrasi yang dibuktikan dengan besarnya nilai penyimpangan yang nilai %SSE masing-masingnya 4,30% dan 1,15%.

Studi kinetika adsorpsi tentang logam berat Cu²⁺ menurut Chotijah, dkk.(2018), adsorpsi Cu²⁺ yang terlarut didalam air dengan menggunakan adsorben tricalciumphosphate kinetika adsorpsi ditentukan dengan besarnya nilai k (tetapan), makin besar maka kinetika juga semakin besar. Hal ini ditunjukkan bahwa tetapan (k₁) pseudo orde satu jauh lebih besar dari tetapan (k₂) pseudo orde dua..Penelitian Hidayati, dkk (2012), kinetika adsorpsi logam Cu²⁺ dengan menggunakan adsorben zeolit alam teraktivasi dapat dijelaskan dengan mengikuti model kinetika orde satu.

KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian, hasil pengolahan data dan hasil pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Adsorpsi logam Cu²⁺ menggunakan adsorben kulit kacang tanah dipengaruhi oleh faktor aktivator dan waktu kontak antara adsorbat dan adsorben.
2. Kapasitas adsorpsi semakin meningkat dengan meningkatnya waktu adsorpsi. Kapasitas adsorpsi tertinggi terjadi pada waktu 150 menit untuk adsorben yang tidak teraktivasi sebesar 7,4 mg/g dan bioadsorben yang diaktivasi secara fisika sebesar 5,6 mg/g.

3. Model kinetika adsorpsi yang sesuai untuk ion Cu^{2+} dalam air pada bioadsorben yang tidak diaktivasi dan yang diaktivasi secara fisika pada system kolom ini adalah model kinetika pseudo orde satu dengan nilai kapasitas adsorpsi terkoreksi masing-masingnya 5,507 mg/g dan 9,526 mg/g.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada pihak Kemenbuddikti yang telah mendanai penelitian PPT (Program Penelitian Terapan)

REFERENSI

1. Canra, M., Fadli, A., Komalasari. 2015. Kinetika Adsorpsi Cu^{2+} Menggunakan Tricalciumphosphat sebagai adsorben dengan Variasi Kecepatan Pengadukan dan Temperatur. JOM FTEKNIK Volume 2 No. 2 Oktober 2015
2. Chotijah S., Fadli, A., Komalasari. Kinetika Adsorpsi Ion Logam Cu^{+2} Menggunakan Tricalcium Phosphate Sebagai Adsorben. Jom FTEKNIK Volume 5 No. 1 April 2018
3. Danarto, YC. 2007. Kinetika Adsorpsi Logam Berat Cr (VI) Dengan Adsorben Pasir Yang Dilapisi Besi Oksida. Jurnal Ekuilibrium Vol 6 No. 2, Juli 2007, halaman: 65-70.
4. Mattel, C., L. 1951. Adsorption. Edisi 2, McGraw-Hill, Company Inc., New York
5. Hidayati, B., Sunarno, Yenti, S., R. 2012. Studi Kinetika Adsorpsi Logam Cu^{2+} Menggunakan Zeolit Alam Teraktifasi. Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau.
6. Irmawati, A., Ulfan, I. 2013. Pemanfaatan Biomasa Kulit Kacang Tanah Untuk Adsorpsi Kromium Dalam Larutan Berair Dengan Metode Kolom. Jurusan Kimia FMIPA ITS. Surabaya
7. Raudah. 2014. Pemanfaatan Kulit Tanduk Kopi Arabika Sebagai Bahan Baku Pembuatan Arang Aktif. Jurnal Reaksi. Vol.12 No.1., Juni 2014 ISSN 1693-248X
9. Rusmaya, D dan Padmi, T. 2008. Sorpsi Limbah Nikel Menggunakan Kulit Kacang Tanah. *Jurnal Teknik Lingkungan* Vol. 14 Nomor 2, Oktober 2008 (Hal. 105-114)
10. Sembodo, B., S. 2006. Model Kinetika Langmuir Untuk Adsorpsi Timbal Pada Abu Sekam Padi. *Jurnal Equilibrium* Vol.5 No.1, Juni 2006, halaman 28-33.
11. Setyawan, M., N., Wardani, S., Kusumastuti, E. 2018. Arang Kulit Kacang Tanah Teraktivasi H_3PO_4 sebagai Adsorben Ion Logam $\text{Cu}(\text{II})$ dan Diimobilisasi dalam Bata Beton
12. Widihati, Suastuti, Nirmalasari. 2012. Studi kinetika Adsorpsi Larutan Ion Logam Kromium (Cr) Menggunakan Arang Batang Pisang. *Jurnal Kimia* 6(1), Januari 2012, halaman 8-16.
13. Ho, Y., S., McKay, G. 1998. A comparison Of Chemosorption Kinetic Models Applied To Pollutant Removal On Various Sorbent. *Institution of Chemical Engineer Journal*. Vol 76, Part B, Nopember 1998.
14. Ho, Y., S., McKay, G. 1999. Pseudo-second Order model for sorption processes. *Departement of Chemical Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology*. Elsevier. *Process Biochemistry* 34(1999) 451-465.
15. Lagergren, S. 1898. Zur theorie der sogenannten adsorption geloster stoffe. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademien. Handlingar* 1898; 24(4):1-39
16. Zaini, H., Sami, M. 2016. Kinetika Adsorpsi $\text{Pb}(\text{II})$ Dalam Air Limbah Laboratorium Kimia Menggunakan Sistem Kolom Dengan Bioadsorben Kulit Kacang Tanah. Website: jurnal.umj.ac.id/index.Php/semnastek (UMJ 2016)
17. Zhuang, Z., Xu, L. 2014. Removal of Cadmium ion from aqueous solution using chemically modified peanut shell. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. USA 6(6): 649-653.