

ADSORPSI LOGAM Cu (II) MENGGUNAKAN KITOSAN DARI KULIT KERANG HIJAU

Kesumawati¹, Husni Husin², dan Muhammad Zaki²

¹⁾ Mahasiswa Magister Prodi Teknologi dan Manajemen Lingkungan Fakultas Teknik
UNSYIAH

²⁾ Dosen Magister Prodi Teknologi dan Manajemen Lingkungan Fakultas Teknik UNSYIAH
¹ kesumawati.najla@gmail.com

ABSTRACK

Chitosan is a modification of chitin contained in the shell of green mussel which is cationic and biodegradable in the environment. The green mussel shell waste has some great potential benefits because it contains chitin which can be used as the main ingredient for chitosan production for Cu metal adsorption (II). The adsorption was by varying concentration and contact time. The adsorption analysis on the metal content of Cu was done by using the Atomic Adsorption Spectrophotometer (AAS) of Shimadzu type AA 6300 made in Japan. Parameter obtained in this study are adsorption capacity and absorption efficiency of metal Cu (II). Value of adsorption capacity and adsorption efficiency concentration of 5 mg/L are 4,835 mg/g and 96,72 %. The adsorption follows Freundlich absorption isotherm with R_2 of 0,906 and Freundlich constant (K_f) of 3,3118 l/g and $1/n$ of 0,361. The adsorption of 5 mg/L concentration follows the pseudo second-order kinetics model with kinetics constant (k_2) of 0,687 mg/g/min.

Keywords: adsorption, chitin, chitosan, heavy metal Cu (II), green mussel shells waste

ABSTRAK

Kitosan merupakan modifikasi dari senyawa kitin yang terdapat dalam kulit luar kerang hijau yang bersifat kationik dan dapat terurai dengan baik di lingkungan. limbah kerang hijau memiliki potensi yang besar manfaatnya karena mengandung zat kitin yang dapat dijadikan kitosan sebagai adsorben logam Cu (II). Proses adsorpsi dilakukan dengan variasi konsentrasi dan waktu kontak. Analisa adsorpsi terhadap kandungan logam Cu (II) menggunakan alat atomic adsorption Spectrophotometer (AAS) merk Shimadzu tipe AA 6300 buatan Jepang. Parameter penelitian yang ditinjau meliputi kapasitas adsorpsi dan efisiensi penyerapan logam Cu (II). Nilai kapasitas adsorpsi dan nilai efisiensi penyerapan pada saat kesetimbangan berturut-turut sebesar 4,835 mg/g dan 96,72 % untuk konsentrasi 5 mg/L. Adsorpsi cenderung mengikuti isotherm Freundlich dengan nilai R_2 sebesar 0,906 dan nilai konstanta Freundlich (K_f) sebesar 3,3118 l/g dan nilai $1/n$ sebesar 0,361. Adsorpsi mengikuti model kinetika orde dua semu dengan k_2 sebesar 0,687 mg/g/min pada konsentrasi 5 mg/L.

Kata kunci: adsorpsi, kitin, kitosan, logam Cu (II), limbah kerang hijau.

I. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber kehidupan bagi makhluk hidup di muka bumi ini, sehingga ketersediaannya sangat dibutuhkan terutama air bersih. Umumnya pengguna air digunakan dalam tiga sektor yaitu sektor pertanian (70%), sektor industri (19%) dan

sektor domestik (11%). (Alimohammadi, dkk., 2013). Dewasa ini ditemukan polutan-polutan berbahaya telah mencemari sebagian besar air yang dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Salah satu polutan tersebut adalah adanya logam berat yang terdapat pada air. Logam

berat yang dibuang ke air limbah sangat beracun, berbahaya dan dapat menyebabkan ancaman serius bagi kesehatan manusia pada batas konsentrasi tertentu (Lakherwal, 2014).

Logam berat berbahaya yang dapat mencemari lingkungan seperti Cd (II), Pb (II) dan Cu (II) yang merupakan ion-ion logam yang banyak mengkontaminasi sumber air terutama air minum. Oleh sebab itu perlu dilakukan penanganan khusus dalam menentukan metode yang efisien dan efektif untuk menghilangkannya di dalam air.

Penanganan limbah logam berat telah banyak dikembangkan untuk mengurangi efek yang ditimbulkan terhadap lingkungan diantaranya dengan proses adsorpsi. Adsorpsi dapat menggunakan berbagai macam adsorben seperti karbon aktif, zeolit, silika gel, bentonit, grafit dan kitosan. Kitosan merupakan adsorben alami yang tidak beracun, mudah terdegradasi, memiliki stabilitas termal yang tinggi, ramah lingkungan. Kitosan sangat baik sebagai adsorben ion logam dan zat warna karena adanya gugus amino ($-NH_2$) dan hidroksil ($-OH$). Oleh karena gugus tersebut kitosan dapat pula dimungkinkan untuk dimodifikasi (Pramono, et al, 2012).

Dengan banyaknya limbah kulit kerang hijau maka perlu dicarikan upaya pemanfaatannya agar dapat memberikan nilai tambah pada usaha pengolahan kerang hijau. Selain itu juga untuk menanggulangi masalah pencemaran lingkungan yang ditimbulkan. Kulit kerang hijau dapat dibuat menjadi adsorben seperti kitosan yang dapat menyerap logam berat dalam air, hal ini karena kulit kerang mengandung kitin. Masalah utama yang dihadapi dalam memproduksi kitin dan kitosan di Indonesia adalah kualitas produk yang masih rendah, kontinuitas suplainya belum pasti.

Indonesia merupakan negara maritim yang mempunyai potensi cukup besar dan beragam sebagai penghasil jenis ikan dan hewan laut lainnya, diantaranya kerang hijau. Kerang hijau banyak ditemui diberbagai wilayah di Indonesia, khususnya di Aceh Barat (Meulaboh). Kerang hijau (*Mytilus viridis linneaus*) merupakan jenis kerang

yang digemari masyarakat. Kerang hijau ini memiliki nilai ekonomis yang baik untuk kebutuhan dalam negeri maupun luar negeri. Selama ini hanya bagian isi kerang hijau saja yang dikonsumsi sebagai sumber makanan berprotein tinggi sementara kulit (cangkang) nya dibuang begitu saja dan dianggap sebagai limbah. Limbah ini semakin lama semakin menumpuk dan mengakibatkan pencemaran lingkungan dan merusak estetika lingkungan apabila dibiarkan begitu saja tanpa ada penanggulangannya.

Karenanya dilakukan upaya untuk mengolah limbah kulit kerang hijau ini dengan menjadikannya sebagai modifikasi kitin dengan mengoptimalkan kegunaan maupun memperluas aplikasi kitin untuk dijadikan kitosan. Kitosan adalah turunan kitin yang banyak dikembangkan dan diaplikasikan diberbagai bidang kehidupan salah satunya sebagai adsorben dalam proses pengolahan air untuk diperoleh air yang jernih.

Kitosan didapatkan melalui proses deasetilasi dari kitin, dimana gugus asetil pada kitin oleh hidrogen diubah menjadi gugus amina dengan penambahan larutan basa kuat berkonsentrasi tinggi (Planas, 2002). Kitosan mempunyai kelarutan yang baik dalam asam-asam organik encer sedangkan kitin tidak larut dalam air dan kebanyakan pelarut organik, kitosan dapat larut dalam heksafloroaseton, heksafloro isopropanol dan dimetilasetamid yang mengandung 5 % LiCl. Terkait dengan kelarutan tersebut kitosan menjadi lebih menarik dan mempunyai aplikasi yang lebih luas daripada kitin (Kumar, 2000).

Keunggulan kitosan sebagai koagulan adalah sifatnya yang tidak beracun, mudah mengalami biodegradasi, bersifat polielektrolit dan mudah berinteraksi dengan zat-zat organik lainnya seperti protein. Dengan demikian diharapkan koagulan yang diperoleh dari kitosan bahan alam adalah bahan yang ramah lingkungan dan mempunyai nilai tambah yang tinggi (Sinardi dkk, 2013).

Kitosan dapat digunakan sebagai penyerap logam. Kemampuan kitosan untuk

menyerap logam dengan cara pengkkelatan yang dipengaruhi oleh kandungan Nitrogen yang tinggi pada rantai polimernya. Metode penyerapan logam Cu^{2+} oleh kitosan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu : melalui metode pelarutan dan metode perendaman, yang dikenal dengan metode Rigby dan Wolfram (Alfian, 2003).

Untuk mengetahui kualitas larutan sampel hasil penyisihan logam Cu (II) dengan cara adsorpsi diukur dengan menggunakan sebuah alat *Atomic Adsorption Spectrophotometer* (AAS) shimadzu AA 6300 buatan Jepang, dan dikarakterisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) Jeol jsm 6063 buatan Jepang keluaran 2003.

II. METODE PENELITIAN

1. Penyiapan Adsorben Kitosan

Penelitian ini menggunakan kitosan yang berasal dari kulit kerang hijau berasal dari Meulaboh Aceh Barat. Kulit kerang hijau dibersihkan dari bahan pengotor, kemudian dijemur di bawah sinar matahari sampai kering. Kulit kerang hijau ditumbuk dengan palu *stainless stell* hingga dapat dijadikan umpan alat penghalus (*ball-mill*). Setelah halus disaring dengan menggunakan ukuran ayakan 80 mesh.

2. Deprotienasi, Proses Penghilang proteien

Sebanyak 50 g serbuk kulit kerang hijau ditambahkan larutan NaOH 1 N 1 : 10 (b/v) dalam 200 ml sambil diaduk dengan motor pengaduk dengan kecepatan 200 rpm selama 90 menit. Setelah dingin, disaring dan residu dicuci dengan aquades sampai pH residu netral. Setelah pH netral selanjutnya dilakukan pengeringan pada oven dengan suhu 80°C selama 2 jam.

3. Demineralisasi, proses penghilangan mineral

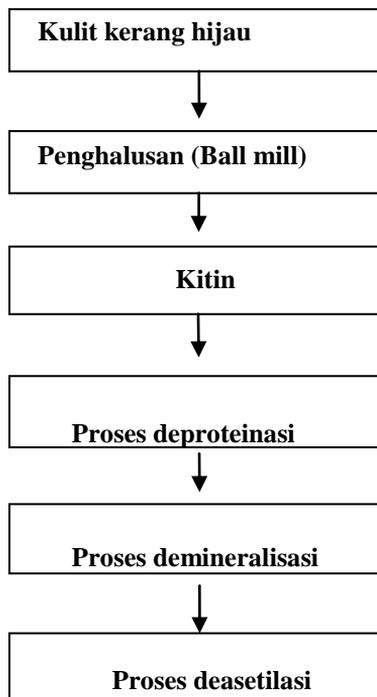
padatan dimasukkan dalam labu refluks 1000 ml kemudian ditambahkan HCl 1 N dengan ratio 1 : 10 (b/v) dalam 200 ml,

Diaduk dengan motor pengaduk selama 60 menit dengan kecepatan 200 rpm, kemudian dilakukan pencucian dengan aquades sampai pH netral. Selanjutnya dipanaskan dalam oven pada suhu 80°C selama 2 jam.

4. Deasetilasi, proses penghilangan gugus asetil

Kitin ditambahkan NaOH 50% 1 : 10 (b/v) dalam 200 ml, kemudian dipanaskan pada suhu 120°C sambil distirer selama 30 menit. Setelah didinginkan, campuran dicuci dengan aquades dan disaring. kemudian direfluks sebanyak 3 kali, setiap kali refluks dilakukan pencucian dengan aquades disaring sampai pH nya netral. Selanjutnya sampel dipanaskan dengan oven pada suhu 110°C selama 2 jam

Skema pembuatan adsorben kitosan

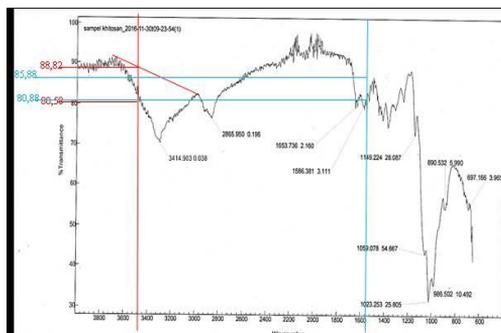


Gambar 1. Diagram alir pembuatan kitosan

4. Karakterisasi Kitosan

Penentuan Derajat Deasetilasi

Sampel kitosan yang diperoleh dari penelitian dianalisa menggunakan *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) merk Agilent Technologies tipe Cary 630, untuk mengetahui derajat deasetilasinya (DD) seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektra FTIR

Dari spektrum FTIR kitosan pada Gambar 2 tampak bahwa serapan karakteristik kitosan terdapat pada bilangan gelombang 3450 cm⁻¹ menunjukkan adanya hidrogen dari gugus -OH yang tumpang tindih dengan rentangan -NH. Dari nilai bilangan gelombang dihitung derajat deasetilasi menggunakan persamaan bilangan gelombang 3450 cm⁻¹ dengan nilai absorbansinya (A₃₄₅₀) diperoleh sebesar 1,08. Selanjutnya serapan pada 1655 cm⁻¹ yang menunjukkan serapan karbonil dari amida memiliki nilai absorbansi (A₁₆₅₅) sebesar 1,30. Hasil perhitungan derajat deasetilasi berdasarkan metode *base line* didapatkan nilai derajat deasetilasi (DD) kitosan sebesar 90,53 %.

Penentuan Kadar Air

Analisa kadar air bertujuan untuk mengetahui kadar air beserta kemurnian kitin per satuan berat kitin. Data perhitungan kadar air kitin ditunjukkan dalam Tabel.1.

Tabel 1. Kadar Air Kitin

Berat Awal	Berat Akhir	Berat yang Hilang	Kadar Air (%)
1 gr	0,932 gr	0,068 gr	6,8 %
1 gr	0,908 gr	0,104 gr	9,2 %
1 gr	0,908 gr	0,104 gr	9,2 %

Dari Tabel 1 diperoleh kadar air kitin setelah 3 kali pengulangan sampai diperoleh hasil konstan adalah sebesar 9,2 %.

Penentuan Kadar Abu

Analisa kadar abu dapat diketahui dari sampel yang tidak terabukan. Kandungan abu pada kitosan merupakan parameter penting. Kadar abu yang besar pada kitosan dapat mempengaruhi kelarutan, dan konsekuensinya dapat menurunkan viskositas kitosan tersebut.

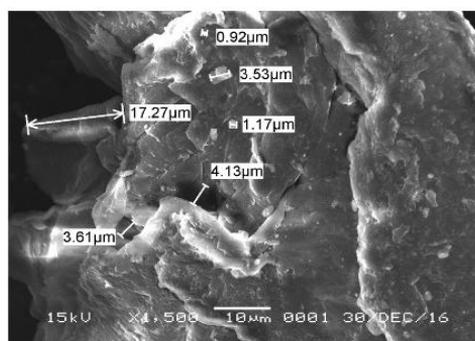
Tabel 2. Kadar abu kitin

Berat Awal	Berat Akhir	Kadar Abu (%)
1 gr	0,011 gr	1,1 %
1 gr	0,009 gr	0,9 %
1 gr	0,009 gr	0,9 %

Dari Tabel 2 menunjukkan kadar abu kitin rata-rata yang diperoleh dari penelitian adalah sebesar 0,96 %. Sedangkan kadar abu yang diperoleh setelah 3 kali pengulangan sampai di dapat nilai konstan adalah 0,9 %.

Morfologi Permukaan

Scanning electron microscopy (SEM) digunakan untuk mengamati morfologi fisik permukaan dari kitosan. SEM yang digunakan alatnya Analytical Spectrometer Microscope tipe Jeol Jsm-6063 La buatan Jepang keluaran 2003. Hasil analisa SEM ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil analisa kitosan dengan menggunakan SEM

Dari Gambar 3 dengan pembesaran 1500 kali terlihat bahwa bentuk permukaan kitosan tidak beraturan (*irregular*) dengan ukuran partikel bervariasi dan partikelnya saling tumpang tindih.

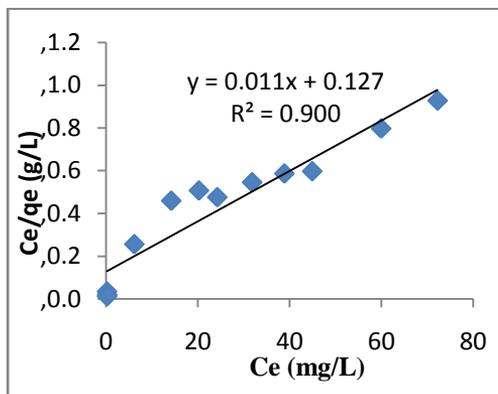
5. Kajian proses adsorpsi

Isoterm Adsorpsi

Model isoterm adsorpsi digunakan untuk mengetahui interaksi antara larutan dengan adsorben dan kemampuan menyerap yang dapat dicapai oleh adsorben. Isoterm adsorpsi yang biasa digunakan adalah isoterm Langmuir dan Freundlich. Pengujian model kesetimbangan ini diperlukan untuk menentukan kesetimbangan yang sesuai digunakan pada suatu proses adsorpsi. Penentuan model kesetimbangan dilakukan dengan melihat nilai R^2 dari grafik .

Isoterm Langmuir

Isoterm adsorpsi langmuir ion logam Cu (II) diperoleh dengan cara membuat kurva hubungan antara C_e terhadap C_e/Q_e . Grafik persamaan isoterm Langmuir dapat dilihat pada Gambar 4.



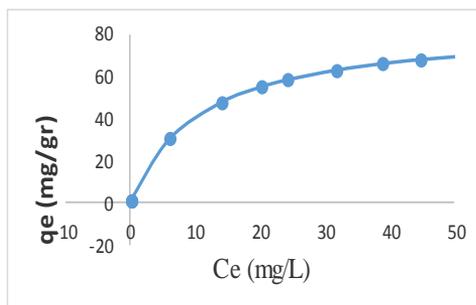
Gambar 4. Linierisasi isoterm Langmuir pada adsorpsi logam Cu^{2+} oleh kitosan.

Pada Gambar 4 didapatkan bahwa Isoterm Langmuir mempunyai nilai R^2 sebesar 0,9001. Persamaan linear yang didapatkan menunjukkan nilai K_L sebesar 10,830 1/g dan q_m sebesar 7,824 1/mg.

Tabel 3. Hasil perhitungan isoterm adsorpsi Langmuir

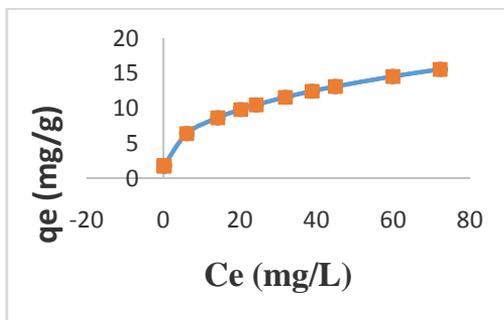
Suhu Adsorpsi ($^{\circ}C$)	Isoterm Langmuir		
	q_m	K_L	R^2
27	84,746	0,0923	0,9001

Berikut ditunjukkan kurva kesetimbangan model Langmuir



Gambar 5 Kurva kesetimbangan model isoter Langmuir

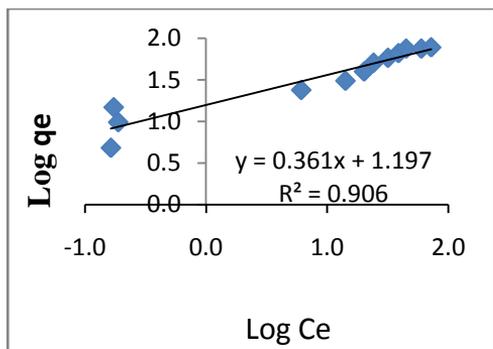
Berikut ditunjukkan kurva kesetimbangan model Freundlich pada penyerapan ion logam Cu^{2+} menggunakan kitosan.



Gambar 6. Kurva kesetimbangan model isotherm Freundlich.

Isoterm Freundlich

Penentuan Isoterm adsorpsi Freundlich diperoleh dengan membuat kurva hubungan antara $\log C_e$ terhadap q_e . Grafik isoterm Freundlich dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Linierisasi Isoterm Freundlich pada adsorpsi logam Cu^{2+} oleh kitosan.

Dari Gambar 7 diperoleh nilai R^2 0,906 untuk isoterm Freundlich. Hal ini menunjukkan isoterm adsorpsi mengikuti model Freundlich. Hal ini dikarenakan bahan baku adsorbennya merupakan bahan alami kerang hijau yang umumnya mempunyai permukaan heterogen dan juga isoterm ini paling sering digunakan karena dapat mengkarakterisasi kebanyakan proses adsorpsi dengan baik, (Pope, 2004).

Pada Gambar 7 didapatkan bahwa Isoterm Freundlich mempunyai nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,906. Persamaan linear yang didapatkan bahwa nilai $1/n$ sebesar 0,3614 dan K_f sebesar 3,3118 1/g. Gambar 5 tampak bahwa bentuk kurva model hasil penelitian lebih cenderung menyerupai model isoterm Freundlich. Oleh karenanya data hasil penelitian diolah berdasarkan rumus Freundlich untuk mendapatkan nilai K_f dan $1/n$ dengan cara membuat kurva hubungan antara $\log K_f$ dengan $\log q_s$. Slope kurva Freundlich adalah $1/n$ dan intersepanya K_f . Harga K_f dan $1/n$ penting dalam memilih suatu adsorben sebagai media pemisah dimana K_f (mg/g) adalah kapasitas adsorpsi menyeluruh sedangkan $1/n$ adalah faktor heterogenitas yang menunjukkan kekuatan suatu energi ikatan antara adsorben dan adsorbat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan model kesetimbangan isoterm cenderung mengikuti model Freundlich. Oleh karenanya

menghitung kapasitas adsorpsi kitosan (q_e) secara keseluruhan mengikuti persamaan adsorpsi isoterm Freundlich. Berikut ditampilkan tabel perolehan hasil adsorpsi Freundlich.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Isoterm Adsorpsi

Suhu Adsorpsi ($^{\circ}\text{C}$)	Isoterm Freundlich		
	1/n	K	R
27	0,3614	3,3118	0,906

Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi menyatakan kecepatan penyerapan yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat per satuan waktu. Kinetika adsorpsi ion Cu^{2+} berfungsi untuk mendesain sistem eksperimen. Model kinetika yang digunakan dalam mencocokkan data penelitian terdiri dari model orde satu dan orde dua. Model kinetika ini digunakan untuk menjelaskan mekanisme dari adsorpsi itu sendiri, yang tergantung pada karakteristik fisika maupun kimia dari adsorben sebagaimana halnya dengan proses transfer massa. Konstanta laju adsorpsi (K_1) untuk ion Cu^{2+} menggunakan persamaan laju dan mekanisme adsorpsi. Untuk mengetahui laju dan mekanisme dari adsorpsi, maka digunakan persamaan orde pertama semu dan orde kedua semu (Muslim, 2017).

Persamaan orde satu semu :

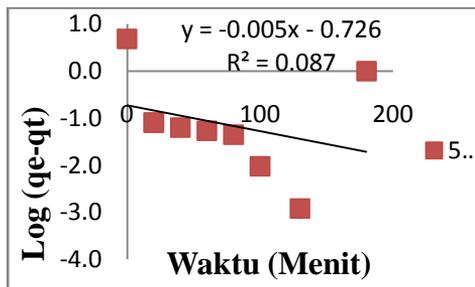
$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{k_1 t}{2,303} \right)$$

Persamaan orde dua semu :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

Dimana q_e dan q_t adalah kapastitas penyerapan pada waktu ekuilibrium dan pada waktu t (mg/g), k_1 adalah konstanta kinetika orde satu semu (min^{-1}), k_2 adalah konstanta kinetika orde dua semu (g/mg.min). Slope dan intersep dengan memasukan data t/q_t vs t . slope dan intersep yang diperoleh

adalah $1/q_e$ dan $1/k_2q_e^2$. Kinetika orde satu penyerapan ion logam Cu^{2+} untuk adsorben kitosan dapat diperoleh dengan cara membuat kurva hubungan antara t terhadap $\log(q_e - qt)$. Grafik kinetika adsorpsi orde satu semu untuk adsorben kitosan dapat dilihat pada Gambar 8.



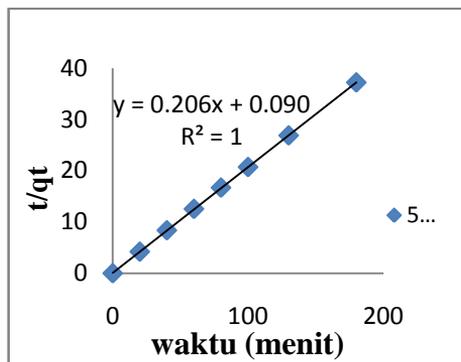
Gambar 8. Kinetika adsorpsi orde satu semu

Studi kinetika yang ditunjukkan pada Gambar 8 merupakan grafik kinetika adsorpsi orde satu semu pada sistem adsorpsi ion Cu^{2+} menggunakan kitosan. Parameter kinetika yang berhubungan dengan sistem kinetika orde satu semu telah didapat dan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter yang diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan model kinetika orde dua semu untuk penyerapan logam Cu^{2+} .

5 ppm		
q_e (mg/g)	k_1 (g/mg menit)	R^2
5,329	-0,0127	0,087

Dari Tabel.5 tampak nilai k_1 yang diperoleh untuk konsentrasi 5 ppm sebesar -0,0127 g/mg menit. Hal ini menunjukkan proses adsorpsi yang terjadi pada sistem sangat lambat, selain itu nilai R^2 yang di dapat sangat rendah sehingga model kinetika orde satu semu tidak memenuhi standar penelitian. Berikut ditunjukkan kurva untuk model kinetika orde dua semu dengan memplotkan antara t dengan t/qt .



Gambar 9. Kinetika adsorpsi orde dua semu

Dari Gambar 9 diperoleh nilai konstanta laju orde dua semu (k_2) secara berurutan untuk konsentrasi 5 ppm adalah 0,472 g/mg menit. Nilai k_2 tersebut menunjukkan proses adsorpsi yang terjadi pada sistem adsorpsi orde dua semu cenderung berjalan cepat. Hubungan konsentrasi dengan nilai k_1 , q_e dan R^2 untuk orde dua semu ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Parameter yang diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan model kinetika orde dua semu untuk penyerapan logam Cu^{2+} .

5 ppm		
q_e (mg/g)	k_2 (g/mg menit)	R^2
4,845	0,687	1

Dari Tabel 6 tampak R^2 yang diperoleh pada model kinetika orde kedua semu lebih besar dibandingkan model kinetika orde pertama semu. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan kinetika orde dua semu lebih sesuai digunakan untuk membuat simulasi data kinetika eksperimen.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kulit kerang hijau berpotensi untuk dijadikan kitosan sebagai adsorben untuk

menyerap logam Cu (II). Waktu kontak dan konsentrasi mempengaruhi efisiensi penyerapan logam Cu (II) oleh kitosan dari kulit keurang hijau asal aceh barat. Konsentrasi terbaik pada 15 mg/L dan waktu kontak terbaik pada 20 menit. Adsorpsi isoterm mengikuti model Freundlich, dan kinetika reaksi mengikuti orde reaksi dua semu.

B. Saran

1. Perlu dilakukan variasi massa adsorben untuk mendapatkan performa kitosan terbaik.
2. Perlu dilakukan variasi pH ion logam Cu (II) untuk mendapatkan kapasitas kitosan terbaik.
3. Pemanfaatan kitosan sebagai adsorben penyerapan logam berat lain dan bahan-bahan organik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alfian, Zul, (2003), "Study Perbandingan Penggunaan Kitosan sebagai Adsorben dalam Analisis Logam Tembaga (Cu^{2+}) dengan Metode Pelarutan dan Perendaman", *Jurnal Sains Kimia Jurusan Kimia FMIPA*, USU, Medan.
- [2] Alimohammadi, N., Shadizadeh, S.R., Kazeminezhad, I., (2013), "Removal of Cadmium from Drilling Fluid Using Nano-adsorben", *Fuel*, Vol. 111.
- [3] Kumar, M.N.V., (2000), *A review of Chitin and Chitosan Applications, Reactive and Functional Polimers*, 46, pp. 1-27.
- [4] Muslim, Abrar, (2017), "Australian Pine Cones-Based Activated Carbon for Adsorption of Copper in Aqueous Solution", *Journal of Engineering Science and Technology*, 12 (2): 280-295.
- [5] Pope JP, (2004), "Activated Carbon and Some Application for The Remediation of Soil and Groundwater Pollution, Groundwater Pollution Primer", CE 4594 : soil and Groundwater Pollution, Civil Engineering Department, Virginia.
- [6] Pramono, E. et al., "Pembuatan dan Karakterisasi Kitosan Vanilin Sebagai Membran Polimer Elektrolit", *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, vol. 8, no. 1, hal. 70-78.
- [7] Rakhmawati, Eka, (2007), *Pemanfaatan Kitosan Hasil Deasetilasi Kitin Cangkang Bekicot Sebagai Adsorben Zat Warna Remazol Yellow*, Skripsi FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- [8] Sinardi, S.P., Notodarmojo, S., (2013), "Pembuatan, Karakterisasi dan Aplikasi Kitosan dari Cangkang Kerang Hijau sebagai Koagulan Penjernih Air", dalam *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.