

PENGARUH KONSENTRASI KITOSAN DARI CANGKANG UDANG TERHADAP EFISIENSI PENJERAPAN LOGAM BERAT

Oleh:

Antuni Wiyarsi dan Erfan Priyambodo
Jurusan Pendidikan Kimia FMIPA UNY

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui derajat deasetilasi (DD) kitosan hasil isolasi dari cangkang udang, efisiensi penjerapan logam Cr, Zn, Ni, Cu dan Fe dengan kitosan pada berbagai variasi konsentrasi kitosan dari cangkang udang serta pengaruh konsentrasi terhadap efisiensi penjerapan logam Cr, Zn, Ni, Cu dan Fe dengan kitosan dari cangkang udang.

Kitosan diisolasi dari cangkang udang putih. Isolasi kitosan dilakukan melalui empat tahap, yaitu: deproteinasi (NaOH 4%, 80°C), demineralisasi (HCl 1M, suhu kamar), depigmentasi (NaOCl 4%, suhu kamar) dan deasetilasi (NaOH 40%, 80°C). Penentuan DD berdasarkan spektrum IR dengan metode *baseline b*. Penjerapan terhadap logam Cr, Zn, Ni, Cu dan Fe dengan variasi berat kitosan; 0,05 gram; 0,125 gram; 0,25 gram; 0,375 gram dan 0,5 gram. Konsentrasi logam sebelum dan sesudah penjerapan ditentukan berdasarkan data absorbansi hasil analisis dengan SSA.

Berdasarkan hasil perhitungan, kitosan yang diperoleh dalam penelitian ini memiliki derajat deasetilasi sebesar 82,221%. Efisiensi penjerapan oleh kitosan yang optimum berturut-turut untuk logam Cr, Fe, Ni, Cu dan Zn adalah 98,44% (untuk berat kitosan 0,375 gram); 99,21% (0,5 gram); 58,62% (0,375 gram); 99,95% (0,375 gram) dan 56% (0,5 gram). Ada pengaruh konsentrasi kitosan terhadap efisiensi penjerapan logam Zn, Ni dan Cu, namun tidak pengaruh konsentrasi kitosan terhadap efisiensi penjerapan Fe dan Cr.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara maritim yang mempunyai potensi cukup besar sebagai penghasil jenis ikan dan hewan laut lainnya seperti udang dan kepiting. Udang merupakan salah satu komoditi ekspor andalan. Pada umumnya, udang diekspor sebagai daging yang sudah dipisahkan dari kepala, ekor dan kulitnya. Hal ini tentunya menyisakan limbah berupa cangkang udang. Penyusun utama cangkang udang adalah kitin, suatu polisakarida alami yang memiliki banyak kegunaan, seperti sebagai bahan pengkelat, pengemulsi dan adsorben. Hasil penelitian No dkk. (2003) menyatakan bahwa kitin yang terkandung dalam limbah cangkang udang sebesar 24,3 % dari berat keringnya.

Sifat kitin yang tidak beracun dan mudah terdegradasi mendorong dilakukannya modifikasi kitin dengan tujuan mengoptimalkan kegunaan maupun memperluas bidang aplikasi kitin. Salah satu senyawa turunan dari kitin yang banyak dikembangkan karena aplikasinya yang luas adalah kitosan. Kitosan merupakan suatu amina polisakarida hasil proses deasetilasi kitin. Senyawa ini merupakan biopolimer alam yang penting dan bersifat polikationik sehingga dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti adsorben logam, penyerap zat warna tekstil, bahan pembuatan kosmetik serta agen antibakteri (Bhuvana, 2006). Sifat biokompatibel, *biodegradable* dan nontoksik yang dimiliki kitosan, merekomendasikan penggunaan senyawa ini dalam industri ramah lingkungan.

Kitosan dapat digunakan sebagai adsorben/penjerap yang dapat menyerap logam-logam berat, seperti Zn, Cd, Cu, Pb, Mg dan Fe (Knoor,1984). Situs aktif kitosan baik dalam bentuk NH_2 ataupun dalam keadaan terprotonasi NH_3^+ mampu mengadsorpsi logam-logam berat melalui mekanisme pembentukan khelat dan atau penukar ion.

Logam berat merupakan sumber pencemar yang sangat membahayakan bagi lingkungan. Beberapa contoh logam berat yang beracun bagi manusia

adalah: arsen (As), kadmium (Cd), tembaga (Cu), timbal (Pb), merkuri (Hg), nikel (Ni), dan seng (Zn). Logam berat berbahaya karena dapat mengganggu kehidupan organisme di lingkungan jika keberadaannya melampaui ambang batas. Logam-logam berat ini juga mengancam kesehatan manusia karena dapat menjadi senyawa toksik bila melampaui ambang batas dan berada dalam tubuh manusia. Berbagai upaya dilakukan dalam penanggulangan masalah logam berat ini, seperti metode fotoreduksi, penukaran ion (resin), pengendapan, elektrolisis dan adsorpsi serta mengembangkan semua metode tersebut dalam kerangka yang ramah lingkungan. Ada beberapa metode dalam pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat seperti metode pengendapan, elektrolisis, dan solidifikasi. Metode- metode tersebut masih memiliki beberapa kelemahan, misalnya dalam elektrolisis yang membutuhkan energi yang besar. Salah satu metode pengolahan limbah yang mudah dan ramah lingkungan adalah metode adsorpsi dengan adsorben alami seperti kitosan.

Adsorpsi (penjerapan) merupakan salah satu cara perawatan/perlakuan logam berat yang paling banyak digunakan karena metode ini aman, tidak memberikan efek samping yang membahayakan kesehatan, tidak memerlukan peralatan yang rumit dan mahal, mudah pengerjaannya dan dapat di daur ulang. Kitosan sebagai produk yang dihasilkan dari limbah industri perikanan dan ramah lingkungan sangat tepat digunakan sebagai penjerap dalam mengurangi bahaya logam berat.

Penjerapan logam berat oleh kitosan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti aktivitas kitosan, konsentrasi penjerap, suhu, pH, lama penjerapan, lama pengadukan, ukuran partikel dan jenis adsorbat serta konsentrasi logam dalam larutan. Aktivitas kitosan akan meningkat seiring dengan peningkatan derajat deasetilasi (DD) kitosan, karena semakin besar DD menunjukkan semakin

banyaknya gugus asetil dari kitin yang diubah menjadi situs aktif NH_2 dalam kitosan. Penelitian ini akan mengkaji pengaruh konsentrasi kitosan terhadap efisiensinya dalam menyerap logam berat Cr, Zn, Ni, Cu dan Fe.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- a. Berapakah derajat deasetilasi kitosan hasil isolasi dari cangkang udang?
- b. Berapakah efisiensi penjerapan logam Cr, Zn, Ni, Cu dan Fe dengan kitosan yang optimum pada berbagai variasi konsentrasi kitosan dari cangkang udang?
- c. Bagaimana pengaruh konsentrasi terhadap efisiensi penjerapan logam Cr, Zn, Ni, Cu dan Fe dengan kitosan dari cangkang udang?

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui:

- a. derajat deasetilasi kitosan hasil isolasi dari cangkang udang.
- b. efisiensi penjerapan logam Cr, Zn, Ni, Cu dan Fe dengan kitosan pada berbagai variasi konsentrasi kitosan dari cangkang udang.
- c. pengaruh konsentrasi terhadap efisiensi penjerapan logam Cr, Zn, Ni, Cu dan Fe dengan kitosan dari cangkang udang.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam hal:

- a. Pengembangan dan pemanfaatan limbah cangkang udang sebagai adsorben yang ramah lingkungan.
- b. Pengaplikasian kitosan sebagai adsorben logam berat yang dihasilkan limbah industri.
- c. Menambah khasanah tentang adsorben alternatif yang mudah diperoleh dan murah.

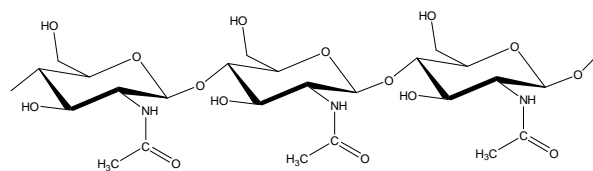
BAB II

Tinjauan Pustaka

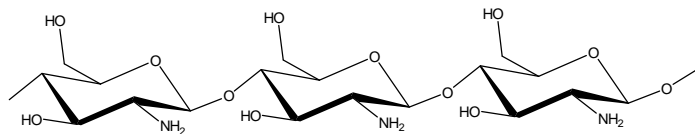
A. Kitosan

1. Struktur Kitin dan Kitosan

Kitosan merupakan polisakarida rantai lurus yang tersusun oleh monomer glukosamin yang terhubung melalui ikatan (1-4) β -glikosidik. Kitosan diperoleh dari proses deasetilasi kitin. Kitin merupakan poli-N-asetil-glukosamin, sedangkan kitosan adalah kitin terdeasetilasi sebanyak mungkin tapi tidak cukup sempurna untuk dinamakan poli glukosamin. Struktur kitin dan kitosan ditampilkan secara berurutan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar.1 Struktur kitin



Gambar.2 Struktur kitosan

Proses deasetilasi kitin menggunakan larutan NaOH pekat bertujuan untuk mengubah gugus asetil dari kitin menjadi gugus amina pada kitosan. Perubahan ini dapat dideteksi dengan melihat perubahan spektrum IR kitin dengan hasil deasetilasinya pada panjang gelombang tertentu yang karakteristik. Gugus fungsi yang karakteristik dari spektra FTIR kitin dan kitosan dapat dilihat pada Tabel 1(Gyliene dkk., 2003).

Tabel 1. Serapan FTIR karakteristik untuk kitin dan kitosan

Jenis Vibrasi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	
	Kitin	Kitosan
OH <i>stretching</i>	3500	3450, 3340
NH (-NH ₂) <i>stretching</i>	-	3400
NH (-NHCOCH ₃) <i>stretching</i>	3265, 3100	-
CH (CH ₃) <i>stretching</i>	2961 (lemah)	-
CH (-CH ₂ -) <i>stretching asym</i>	2928	2926
CH (-CH ₂ -) <i>stretching sym</i>	2871	2864
C=O (-NHCOCH ₃ -) <i>stretching</i>	1655	1650 (lemah)
NH (-NHCOCH ₃ -) <i>bending</i>	1560	-
CN (-NHCOCH ₃ -) <i>stretching</i>	1310	-
NH (R-NH ₂) <i>bending</i>	-	1596
CN <i>stretching</i>		1200-1020
CH (-CH ₂ -) <i>bending asym</i>	1426	1418
CH (-CH ₂ -) <i>bending sym</i>	1378	1377
C-O (-C-O-C-) <i>stretching asym</i>	1077	1082
C-O (-C-O-C-) <i>stretching sym</i>	1024	1033

2. Sifat-Sifat Kitosan

Kitosan merupakan produk biologis yang bersifat kationik, nontoksik, *biodegradable* dan biokompatibel. Kitosan memiliki gugus amino (NH₂) yang relatif lebih banyak dibandingkan kitin sehingga lebih nukleofilik dan bersifat basa. Kristalinitas kitosan yang disebabkan oleh ikatan hidrogen intermolekuler maupun intramolekuler lebih rendah dibandingkan kitin sehingga lebih mudah diaplikasikan dalam beberapa reagen. Kitosan tidak larut dalam air dan beberapa pelarut organik seperti dimetilsulfoksida (DMSO), dimetilformamida (DMF), pelarut alkohol organik dan piridin. Kitosan larut dalam asam organik/mineral encer melalui protonasi gugus amino bebas (NH₂ → NH₃⁺) pada pH kurang

dari 6,5. Pelarut yang baik untuk kitosan adalah asam format, asam asetat dan asam glutamat. Kelarutan kitosan menurun dengan bertambahnya berat molekul kitosan.

Parameter lain yang berpengaruh pada sifat kitosan adalah berat molekul (BM) dan derajat deasetilasi (DD). Derajat deasetilasi menunjukkan berkurangnya gugus asetil dari kitin menjadi gugus amino pada kitosan. Penentuan DD dapat dilakukan dengan beberapa metode, seperti titrimetri HBr, spektroskopi IR, FDUV-spektrofotometri, X-Ray Diffraction dan spektroskopi ^1H NMR. Penentuan DD dengan spektroskopi IR dilakukan dengan metode *base line*. Ada dua *base line* yang biasa digunakan dalam penentuan DD, yaitu *base line* (a) yang diusulkan oleh Domszy & Robert dan *base line* (b) seperti diusulkan oleh Baxter dkk. (Khan dkk., 2002). Rumus untuk perhitungan *base line* (a) adalah:

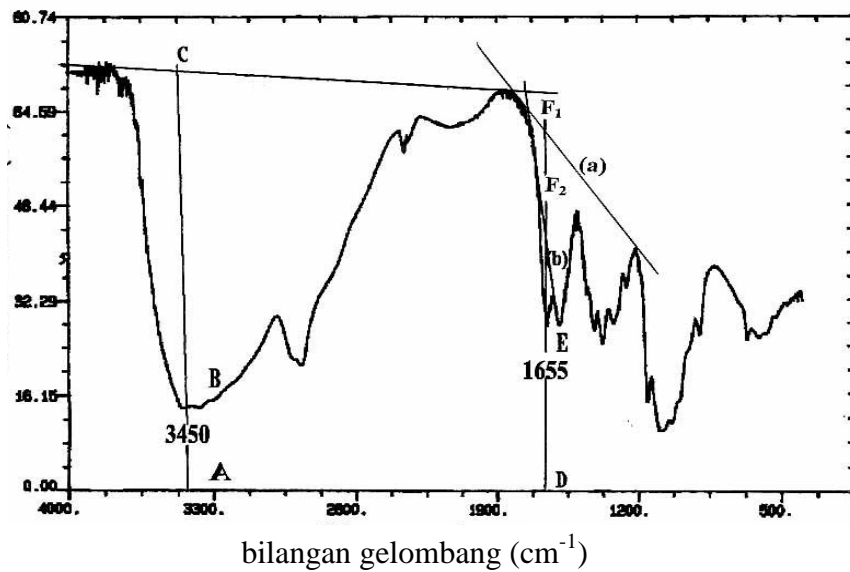
$$DD = 100 - \left[\left(\frac{A_{1655}}{A_{3450}} \right) \times \frac{100}{1,33} \right]$$

Keterangan: DD adalah derajat deasetilasi, A_{1655} adalah absorbansi pada bilangan gelombang 1655 cm^{-1} yang menunjukkan serapan karbonil dari amida. A_{3450} merupakan absorbansi bilangan gelombang 3450 cm^{-1} yang menunjukkan serapan hidroksil dan digunakan sebagai standar internal. Faktor 1,33 merupakan nilai perbandingan $\frac{A_{1655}}{A_{3450}}$ untuk kitosan yang terdeasetilasi 100%.

Perhitungan dengan *base line* (b) yang merupakan modifikasi dari metode yang diusulkan oleh Domszy & Robert didasarkan pada rumus sebagai berikut:

$$DD = 100 - \left[\left(\frac{A_{1655}}{A_{3450}} \right) \times 115 \right]$$

Pemilihan garis dasar untuk metode *base line* (a) maupun (b) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar.3. Garis dasar untuk *base line* (a) dan *base line* (b)
(Khan dkk., 2002)

3. Manfaat Kitosan

Kitosan merupakan biopolimer yang sumbernya melimpah dan dapat terbarukan sehingga termasuk sumber daya alternatif yang harus dimanfaatkan semaksimal mungkin. Sifat polikationik kitosan menjadi dasar pemanfaatan kitosan dalam berbagai bidang. Kitosan dimanfaatkan dalam bidang pertanian karena sifatnya yang *biodegradable*. Tanaman yang diperlakukan dengan kitosan memiliki ketahanan yang baik terhadap serangan jamur. Dalam bidang kesehatan, kitosan bermanfaat dalam program diet karena kemampuannya menurunkan jumlah kolesterol, antikoagulan dalam darah serta digunakan sebagai agen antibakteri. Bidang bioteknologi memanfaatkan kitosan sebagai zat yang berperan dalam imobilisasi enzim, pemisahan protein dan regenerasi sel. Dalam industri makanan, kitosan digunakan sebagai antioksidan, pengawet alami, penyerap zat warna dan pengemulsi. Kitosan juga dimanfaatkan sebagai adsorben/pengkhelat logam.

B. Penjerapan

Adsorpsi atau penjerapan merupakan suatu proses dimana suatu molekul menjadi terserap dalam suatu permukaan bahan penyerap atau adsorben. Penjerapan secara fisika terjadi bila perbedaan energi atau perbedaan gaya tarik Van der Waals antara adsorbat dan adsorben menyebabkan adsorbat terikat atau tertarik pada molekul adsorben. Penjerapan ini bersifat reversibel, yang berarti atom-atom atau ion-ion yang sudah terikat dapat dilepaskan kembali dengan bantuan pelarut tertentu yang memiliki sifat sama dengan atom yang diikat. Penjerapan secara kimia terjadi bila antara kedua zat terjadi reaksi kimia membentuk senyawa baru pada permukaan adsorben. Ikatan yang terjadi lebih kuat dan bersifat reversibel, karena pada pembentukannya diperlukan energi yang besarnya relatif sama dengan energi pada pembentukannya.

Adsorpsi oleh zat padat ditandai oleh kenyataan-kenyataan sebagai berikut:

- a. Adsorpsi bersifat selektif, artinya suatu adsorben dapat menyerap banyak sekali suatu zat, tetapi tidak menyerap zat-zat tertentu.
- b. Kecepatan adsorpsi berkurang dengan semakin banyaknya zat yang diserap.
- c. Jumlah zat yang diserap tergantung temperatur, semakin jauh jarak antara temperatur penyerapan dari temperatur kritis, maka semakin sedikit jumlah zat yang diserap.

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi antara lain struktur adsorben, berat adsorben, pH media, ukuran partikel, kapasitas pertukaran elektron, dan suhu. Adsorpsi tergantung luas permukaan adsorben, semakin poros adsorben, maka daya adsorpsinya semakin besar. Adsorben padat yang baik yaitu porositasnya tinggi, permukaannya sangat luas sehingga adsorpsi terjadi pada banyak tempat. Demikian juga untuk konsentrasi dan luas permukaan, semakin besar konsentrasi adsorbat maka semakin banyak adsorbat yang teradsorpsi dan semakin besar luas permukaan adsorben, maka adsorpsinya juga semakin besar.

C. Logam Kromium (Cr)

Kromium merupakan logam berwarna abu-abu, ditambang dalam bentuk bijih kromit, tidak berbau dan mengkilat. Kromium stabil pada tekanan dan temperatur normal. Kromium terdapat dalam beberapa bentuk senyawa. Bentuk yang paling umum adalah kromium(0), kromium(III) dan kromium(VI).

Kromium merupakan elemen yang berbahaya dan dijumpai dalam bentuk oksida kromium(II) sampai kromium(VI). Kromium bervalensi tiga merupakan bentuk umum yang dijumpai di alam dan dalam material biologis kromium selalu berbentuk tiga valensi. Adapun kromium enam valensi merupakan salah satu material organik pengoksida tinggi. Kromium tiga valensi memiliki sifat racun yang lebih rendah dibandingkan dengan kromium enam valensi. Pada bahan makanan dan tumbuhan, mobilitas kromium relatif rendah dan diperkirakan konsumsi harian komponen ini pada manusia di bawah 100 µg, yang umumnya berasal dari makanan, sedangkan konsumsi dari air dan udara dalam level yang lebih rendah.

Bahaya akut yang ditimbulkan oleh kromium dalam jangka pendek antara lain bila debu atau uap kromium terhirup pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan iritasi pada mata maupun kulit. Absorpsi oleh tubuh dalam jumlah yang cukup dari beberapa senyawa kromium dapat menyebabkan pusing, haus berat, sakit perut, muntah, syok, *oliguria* dan *uremia* yang fatal. Adapun bahaya kronis yang ditimbulkan adalah dapat menyebabkan borok (*ulcerasi*) pada *nasal septum*, iritasi pada tenggorokan dan saluran pernafasan bagian bawah, gangguan pada saluran pencernaan, sensitisasi paru dan gangguan pada darah.

D. Logam Tembaga

Tembaga (Cu) merupakan unsur logam yang dalam berada pada periode empat, golongan IB, mempunyai nomor atom 29, massa atom relatif 63,5, bentuknya padat pada suhu kamar, warna kuning kemerahan, berat jenis 9,94 gr cm⁻³ dan titik lebur 1083°C.

Keracunan yang diderita manusia berasal dari kontaminasi Cu yang masuk bersama air minum sebesar 1-12 gram. Gejala yang dideteksi merupakan gejala

keracunan akut, diantaranya adalah bau logam pada pernafasan penderita, epigastrium terasa terbakar dan muntah berulang-ulang. Keracunan kronis yang diderita dapat menyebabkan terjadinya kemunduran dalam pertumbuhan, timbulnya penyakit Wilsy dan Kinsky, kerusakan kerja otak serta penurunan fungsi ginjal.

E. Logam Nikel (Ni)

Nikel adalah logam berwarna putih perak yang keras, dapat ditempa, liat dan sangat kukuh. Titik lebur nikel adalah 1555°C , titik didihnya 283°C dan mempunyai massa jenis sebesar 8,9 g/mL. Nikel merupakan gabungan dengan belerang dalam *millerite*, dengan arsenik dalam galian *niccolite* dan dengan arsenik dalam belerang (*nickel glance*).

Nikel tahan terhadap udara dan tahan terhadap pengoksidasian sehingga nikel dapat digunakan dalam *syilling* untuk melapisi besi, tembaga dan sebagainya. Logam nikel banyak ditemukan dalam lingkungan karena banyak industri-industri yang tidak memperhatikan keselamatan lingkungan. Sumber utama kontaminan logam nikel berasal dari udara dan air yang mencemari tanah. Semua tanaman yang tumbuh di atas tanah yang telah tercemar akan mengakumulasi logam nikel pada semua bagian tanaman. Logam nikel yang ada dalam tanaman akan masuk ke tubuh hewan atau manusia pada saat proses pencernaan, sehingga mengakibatkan tertimbunnya logam nikel pada tubuh hewan dan manusia tersebut.

Selain dari tanaman, manusia dapat tercemar logam nikel melalui udara saat bernapas, air minum serta hasil ternak yang dikonsumsi (berupa daging, telur dan susu). Logam nikel termasuk salah satu logam berat yang berbahaya bagi manusia karena nikel termasuk logam yang bersifat karsinogen. Bahaya nikel bagi manusia secara langsung atau tidak langsung adalah dapat merusak DNA dan meningkatkan resiko kanker, menyebabkan iritasi serta immuno-toksisitas.

F. Logam Besi (Fe)

Besi adalah logam yang berasal dari bijih besi (tambang) yang banyak digunakan untuk kehidupan manusia sehari-hari dari yang bermanfaat sampai dengan yang merusakkan. Dalam tabel periodic, besi mempunyai simbol Fe dan nomor atom 26. Besi adalah logam yang paling banyak dan paling beragam penggunaannya. Hal itu karena beberapa hal, diantaranya; karena kelimpahan besi di kulit bumi cukup besar, pengolahannya relatif mudah dan murah, serta besi mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan dan mudah dimodifikasi.

Besi adalah salah satu mineral penting bagi manusia dan berperan sebagai fasilitator transport O_2 dalam hemoglobin. Manusia mendapatkan mineral besi baik dari makanan seperti sayuran hijau maupun air minum (air murni atau telah diolah). Dalam tubuh manusia, besi berlebih akan memicu kerusakan syaraf seperti halnya logam berat. Kadar besi maksimal yang diperbolehkan dalam air kepentingan umum adalah 0,3 mg/l (Menurut departemen lingkungan AS).

G. Logam Zink (Zn)

Zink (Zn) adalah unsur pertama dalam golongan IIB pada tabel periodik. Zink mempunyai nomor atom 30 dan berat atom 65.38 dengan valensi 2. Rata-rata keberadaann zink di kulit bumi sekitar 76 ppm, dalam tanah 25 – 68 ppm, dalam perairan sungai 5 – 10 ppb, air laut sekitar 0.6 – 5 ppb, pada sekitar 20 tubuh ganggang sekitar 20 – 700 ppm, ikan dan kerang laut sekitar 3 – 25 ppm, tiram sekitar 100 – 900 ppm, udang/lobster sekitar 7 – 50 ppm dan didalam air tanah tidak lebih dari 0.1 mg/L.

Logam zink digunakan untuk melapisi besi atau galvanis (*electroplating*) untuk melindungi dari korosi. Zink yang bereaksi dengan uap air dan CO_2 , membentuk lapisan tipis $Zn(OH)_2$, $ZnCO_3$, yang tahan korosi. Zink juga banyak digunakan dalam industri baterai. Zing (II) sulfida digunakan sebagai bahan penyusun jenis pupuk, $ZnCl_2$ pada industri kertas, ZnO digunakan pada obat salep, cat, dan katalis, serta Zn bacitracine digunakan sebagai perangsang pada peternakan hewan.

Zink merupakan logam esensial yang menimbulkan efek toksik bila dikonsumsi pada dosis tinggi. Zink tidak bersifat toksik pada manusia jika dikonsumsi 1 gram/hari, tetapi berbahaya jika dikonsumsi lebih dari 10 gram/hari. Nilai ambang batas maksimum zink pada air minum untuk adalah 5 mg/L. Konsentrasi zink dalam perairan yang melebihi 100-300 ppm dapat bersifat toksik terhadap organisme perairan tersebut (Darmono, 1995).

Kelebihan penyerapan Zn oleh tubuh dapat menyebabkan gejala mual, muntah, pusing, mulas/ sakit perut, demam, diare dan kebanyakan terjadi pada setelah terjadi asupan antara 4 – 8 g Zn. Asupan 2 g ZnS dapat menyebabkan keracunan akut yang berdampak sakit perut dan muntah – muntah. Zink merupakan unsur satu golongan dengan kadmium (Cd) dan raksa (Hg) yang keduanya merupakan racun. Zink dapat menyebabkan infeksi pada selaput lendir dengan letal dosis (LD) 3 – 5 g ZnCl₂ dan ZnS beracun pada letal dosis (LD) 5 g. Jumlah ini sangat berbahaya karena dosis oral dalam jangka panjang menyebabkan masalah pencernaan, menurunkan HDL dan menyebabkan kerusakan sistem imunitas.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Subjek dan Objek Penelitian

Subjek penelitian ini adalah kitosan dari limbah cangkang udang galah. Adapun objek penelitian adalah efisiensi penjerapan logam berat oleh kitosan dari cangkang udang.

B. Variabel Penelitian

Penelitian ini mempunyai 2 variabel, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebasnya berupa konsentrasi kitosan, sedangkan efisiensi penjerapan logam oleh kitosan merupakan variabel terikat.

C. Alat dan Bahan

1. Alat- alat

- 1) AAS
- 2) Peralatan gelas
- 3) Neraca
- 4) Seperangkat alat refluks
- 5) Oven
- 6) *Magnetic stirer*

2. Bahan –bahan

- 1) Cangkang udang
- 2) NaOH p.a
- 3) HCl p.a
- 4) NaOCl
- 5) Akuades
- 6) Kertas saring
- 7) Kristal $\text{CrCl}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

D. Prosedur Kerja

1. Isolasi Kitosan dari Cangkang Udang

Persiapan bahan. Persiapan dimulai dengan mencuci limbah cangkang udang mentah dengan air berulang kali. Cangkang dijemur di bawah sinar matahari sampai benar-benar kering. Cangkang yang sudah kering kemudian dihaluskan dengan blender elektrik dan diayak dengan ayakan 50 *mesh*. Serbuk cangkang udang yang lolos ayakan 50 *mesh* dikeringkan dengan oven pada suhu 60°C selama 6 jam.

Deproteinasi. Langkah selanjutnya adalah menghilangkan protein yang terdapat dalam cangkang udang. Penghilangan protein dilakukan dengan mereaksikan serbuk udang 50 *mesh* dengan NaOH 4% dengan perbandingan 1:10, dalam hal ini 25 gram serbuk udang dilarutkan dalam 250 mL NaOH. Kemudian larutan direaksikan pada suhu 80°C selama 1 jam. Hasil dicuci dengan akuades sampai netral. Setelah netral, larutan disaring. Endapan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C sampai kering (kurang lebih selama 8 jam).

Demineralisasi. Proses berikutnya adalah menghilangkan mineral-mineral yang mungkin terdapat dalam cangkang udang, seperti kalsium, magnesium dan fosfor. Demineralisasi dikerjakan dengan cara melarutkan 10 gram hasil deproteinasi dengan 150 mL HCl 1 M (perbandingan 1:15). Pengadukan selama 1 jam pada suhu kamar. Setelah itu, larutan dicuci dengan cara dekantir menggunakan akuades sampai netral. Kemudian disaring dan endapan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C sampai kering.

Depigmentasi. Hasil demineralisasi kemudian direaksikan dengan natrium hipoklorid untuk penghilangan warna sekaligus penyerapan pengotor yang mungkin ada. Sebanyak 10 gram hasil demineralisasi dilarutkan dengan 100 mL NaOCl 4 % (1:10). Selanjutnya dilakukan pengadukan selama 1 jam pada suhu kamar. Setelah 1 jam, larutan dicuci dengan akuades sampai netral lalu disaring. Endapan hasil penyaringan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C sampai kering. Hasil dari proses ini terbentuk kitin.

Deasetilasi. Kitosan dibuat dengan cara menghilangkan gugus asetil yang terdapat dalam kitin dalam medium basa pekat. Sebanyak 5 gram kitin dilarutkan dalam 75

mL NaOH 40% (perbandingan 1:15). Campuran direaksikan pada suhu 80°C selama 1 jam. Hasil refluks kemudian dicuci dengan akuades sampai netral lalu disaring. Endapan hasil penyaringan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C sampai kering. Kitosan yang diperoleh ditimbang dan dikarakterisasi dengan FTIR.

2. Pembuatan Larutan Standar

Membuat larutan standar logam Cr, Zn, Ni, Cu dan Fe dalam konsentrasi 50, 100, 150, 200 dan 250 ppm.

3. Proses Penjerapan

Menyiapkan larutan yang mengandung logam Cr, Zn, Ni, Cu dan Fe sebanyak 25 mL, masing-masing 5 buah. Menambahkan kitosan ke dalam setiap larutan logam berturut-turut sebanyak 0,05; 0,125; 0,25; 0,375 dan 0,5 gram. Mengaduknya selama 40 menit dan mendinginkannya selama 24 jam. Kemudian larutan di sentrifuge. Supernatant dianalisis dengan AAS untuk menentukan kadar logam.

E. Teknik Analisis Data

1. Derajat Deasetilasi kitosan ditentukan dengan metode *base line b* berdasarkan spektrum IR, dengan rumus:

$$DD = 100 - \left[\left(\frac{A_{1655}}{A_{3450}} \right) \times 115 \right]$$

2. Penentuan persamaan kurva Standar

Persamaan kurva standar diperoleh dengan mengkalurkan grafik konsentrasi larutan standar dengan absorbansi (hasil pengukuran AAS), sehingga diperoleh persamaan garis regresi dan selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menentukan konsentrasi logam dalam sampel.

3. Penentuan efisiensi penjerapan

Efisiensi penjerapan ditentukan dengan membandingkan konsentrasi logam setelah penjerapan dengan konsentrasi logam mula-mula, dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Eff} = \frac{(C_0 - C_1)}{C_0} \times 100\%$$

Keterangan:

Eff : efisiensi penjerapan

C₀ : konsentrasi logam mula-mula

C₁ ; konsentrasi logam setelah penjerapan

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

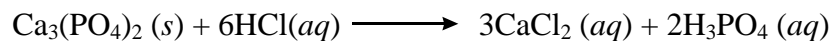
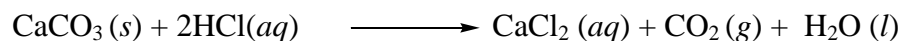
Pada bab ini akan diuraikan hasil penelitian dan pembahasan tentang isolasi dan karakterisasi kitosan dari limbah cangkang udang, efisiensi penjerapan logam Cr, Zn, Ni, Cu dan Fe oleh kitosan dan pengaruh berat kitosan terhadap efisiensi penjerapan logam tersebut.

A. Isolasi dan Karakterisasi Kitosan dari Cangkang Udang

1. Isolasi kitosan dari cangkang udang

Isolasi kitosan dari cangkang udang putih dilakukan melalui 5 tahap, yaitu tahap persiapan, deproteinasi, demineralisasi, depigmentasi dan deasetilasi. Tahap persiapan dimulai dengan mengeringkan kulit udang di bawah sinar matahari dan menggerusnya untuk memperoleh serbuk kulit udang yang lolos ayakan 50 mesh.

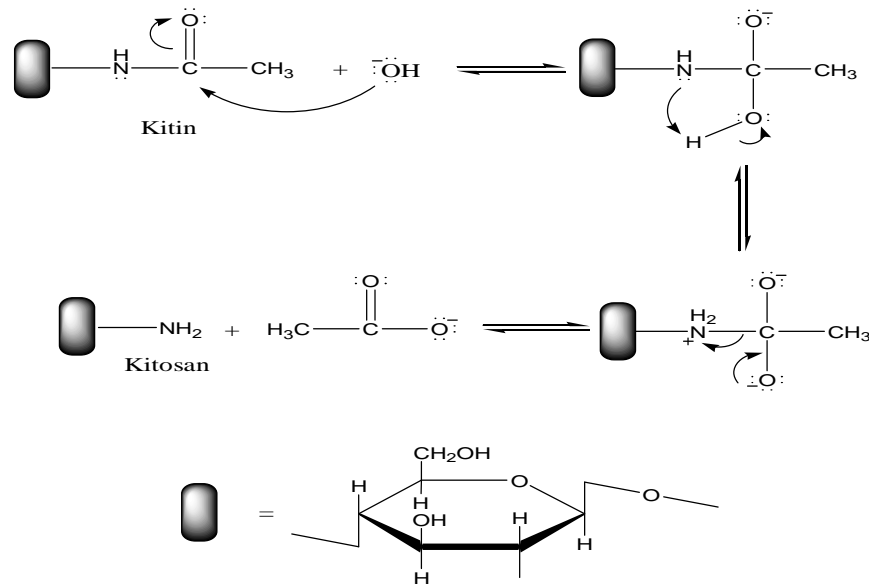
Cangkang udang memiliki kandungan protein yang cukup besar, yaitu sekitar 21- 24 % dari bahan keringnya (Suardi, 1993 dan No dkk., 2003). Protein ini berikatan dengan kitin secara kovalen maupun berikatan secara fisik. Oleh karena itu, untuk menghasilkan kitin, diperlukan proses untuk melepaskan ikatan protein dengan kitin yang disebut deproteinasi. Rendemen dalam tahap ini mencapai 59,38%. Tahap selanjutnya adalah tahap demineralisasi, yaitu tahap penghilangan mineral yang terdapat dalam cangkang udang. Mineral utama pada cangkang udang adalah kalsium karbonat (CaCO_3) dan kalsium fosfat [$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$]. Mineral tersebut dapat dihilangkan dari matriks dengan menggunakan larutan HCl. Proses penghilangan mineral diperkirakan menurut reaksi sebagai berikut :



Tahap demineralisasi menghasilkan rendemen sebesar 37,68%.

Tahap berikutnya adalah tahap depigmentasi dengan natrium hipoklorit untuk menghilangkan pengotor yang mungkin ada dan menghasilkan rendemen sebesar 97,93%. Produk dari tahap ini disebut kitin dan diperlukan proses lanjutan untuk memperoleh kitosan, yaitu proses deasetilasi. Tahap deasetilasi pada penelitian ini menghasilkan rendemen sebesar 76,98%.

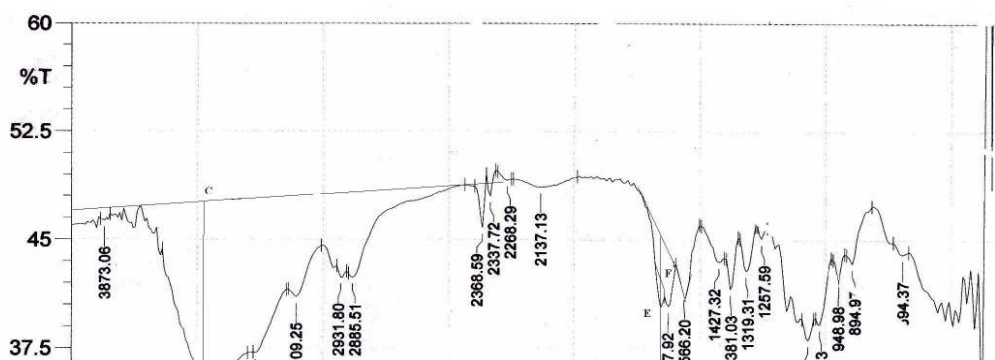
Pada deasetilasi terjadi pemutusan ikatan antara karbon pada gugus asil, dengan nitrogen pada kitin, menjadi gugus amina. Reaksi hidrolisis kitin dengan basa kuat yang terjadi diperkirakan mengikuti reaksi pada Gambar 4.



Gambar 4. Hidrolisis kitin dengan basa kuat

2. Karakterisasi kitosan dengan spektrofotometer FTIR

Kitosan yang dihasilkan dari cangkang udang dikarakterisasi dengan spektroskopi infra merah. Spektrum IR kitosan disajikan pada Gambar 5, untuk mengidentifikasi gugus-gugus fungsionalnya. Serapan karakteristik kitosan terdapat pada bilangan gelombang $3448,72\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya ikatan hidrogen dari gugus -OH yang tumpang tindih dengan rentangan -NH . Serapan pada $2885,51\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi rentangan dari -CH . Adapun vibrasi tekuk -CH muncul pada bilangan gelombang $1381,03\text{ cm}^{-1}$. Vibrasi tekuk -NH muncul pada bilangan gelombang $1566,2\text{ cm}^{-1}$. Vibrasi rentangan C-O yang merupakan salah satu serapan karakteristik polisakarida muncul pada bilangan gelombang $1072,0\text{ cm}^{-1}$. Berdasarkan Gambar 5 juga terlihat bahwa serapan pada daerah 1627 cm^{-1} semakin lemah dan ini menandakan deasetilasi mendekati sempurna. Serapan pada daerah ini menunjukkan adanya rentangan gugus karbonil amida (R-NH-C=O).



Gambar 5. Spektrum IR Kitosan

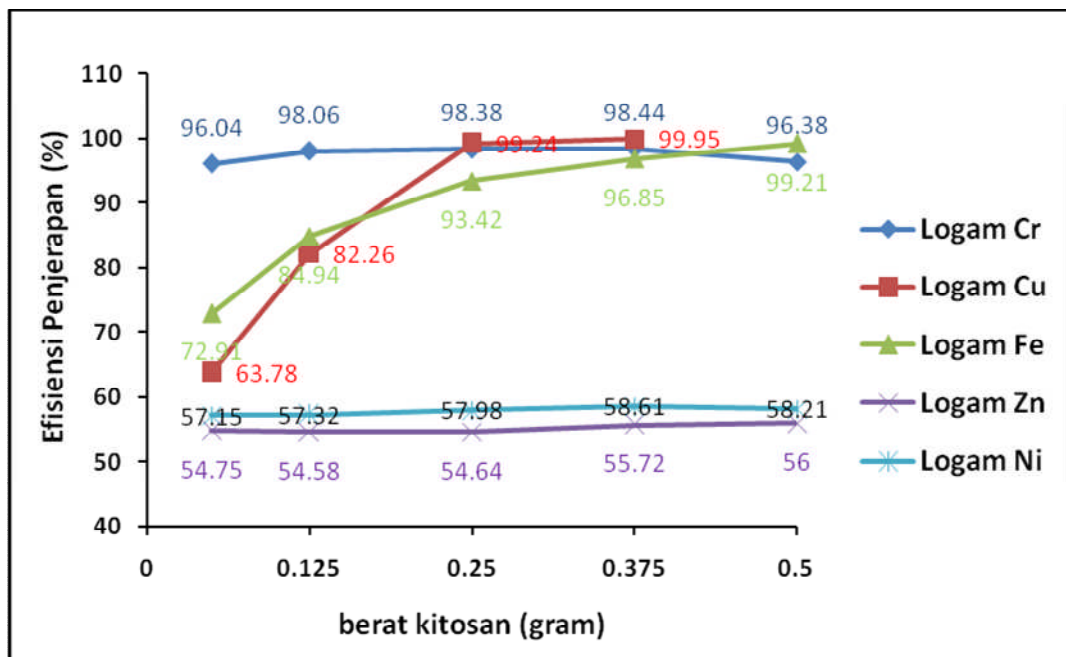
Derajat Deasetilasi (DD) kitosan dapat ditentukan berdasarkan spektrum IR dengan metode *base line*. Pada penelitian ini, penentuan DD dilakukan dengan metode *base line* b yang diusulkan oleh Baxter dkk. (Khan dkk., 2002).

Berdasarkan perhitungan pada Lampiran 1, kitosan yang diperoleh dari cangkang udang dalam penelitian ini mempunyai DD sebesar 82,221%. Kitosan dengan derajat deasetilasi besar menunjukkan semakin banyaknya gugus asetil kitin yang diubah menjadi gugus amino. Situs aktif kitosan ini baik dalam bentuk NH_2 ataupun dalam keadaan terprotonasi NH_3^+ mampu mengadsorpsi logam-logam berat melalui mekanisme pembentukan khelat dan atau penukar ion.

B. Efisiensi Penjerapan Logam Berat oleh Kitosan

Penjerapan logam berat dengan kitosan dilakukan dengan variasi berat kitosan yang digunakan. Pada setiap 25 mL larutan yang mengandung logam berat (Cr, Fe, Ni., Cu dan Zn) dengan konsentrasi 50 ppm, ditambahkan kitosan dengan variasi berat; 0,05 gram; 0,125 gram; 0,25 gram; 0,375 gram dan 0,5 gram. Penjerapan dilakukan pada suhu kamar selama 24 jam.

Analisis data penelitian dilakukan secara kuantitatif berdasarkan hasil absorbansi spektrofotometri serapan atom (Lampiran 2). Efisiensi penjerapan logam berat oleh kitosan ditentukan dengan membandingkan konsentrasi logam setelah penjerapan dengan konsentrasi logam mula-mula. Berdasarkan perhitungan efisiensi penjerapan logam berat oleh kitosan, diperoleh data efisiensi penjerapan logam berat oleh kitosan yang terdapat pada Lampiran 3 dan secara ringkas disajikan dengan grafik pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Efisiensi Penjerapan terhadap berat kitosan

Berdasarkan grafik, menunjukkan bahwa setiap perlakuan yang berbeda untuk logam yang berbeda, memberikan hasil yang berbeda. Kecenderungan perubahan efisiensi penjerapan terhadap berat adsorben yang ditambahkan berbeda untuk kelima logam berat yang digunakan. Nilai efisiensi penjerapan bervariasi dengan nilai terkecil sebesar 54,75 % pada penjerapan logam nikel untuk berat kitosan 0,05 gram. Efisiensi terbesar diperoleh pada penjerapan logam tembaga dengan nilai 99,95 % untuk berat kitosan 0,375 gram.

Pengaruh Berat Kitosan terhadap Efisiensi Penjerapan Logam Kromium

Penjerapan logam kromium dengan kitosan dilakukan dengan lima variasi berat kitosan yang ditambahkan. Berdasarkan grafik pada Gambar 6, menunjukkan bahwa efisiensi penjerapan logam kromium secara umum memiliki

nilai tertinggi dibandingkan dengan efisiensi penjerapan untuk logam yang lain. Efisiensi penjerapan kromium untuk kelima variasi berat kitosan yang digunakan memiliki nilai sudah di atas 90%. Efisiensi penjerapan meningkat seiring dengan penambahan berat adsorben, yaitu untuk berat kitosan 0,05 gram memiliki efisiensi penjerapan 96,04% dan untuk 0,125 gram kitosan memiliki efisiensi 98,08%. Pada penambahan 0,25 gram kitosan terjadi sedikit peningkatan efisiensi penjerapan menjadi 98,38% dan relatif tidak meningkat pada penambahan 0,375 gram kitosan, yaitu dengan efisiensi sebesar 98,44%. Namun, efisiensi ini merupakan nilai optimum penjerapan kromium oleh kitosan, karena pada penambahan kitosan 0,5 gram, efisiensi menurun menjadi 96,38%.

Berdasarkan uji ANAVA pada Lampiran 4, diperoleh harga F sebesar 1,323 pada $p = 0,376$. Hal ini berarti bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan pada variasi berat kitosan yang digunakan terhadap efisiensi penjerapan logam kromium. Perbedaan berat adsorben yang hanya berkisar antara 0,05 sampai 0,125 tidak memberikan perbedaan nilai efisiensi yang signifikan karena pada penambahan berat kitosan 0,05 gram, efisiensinya sudah relatif besar. Ini berarti jumlah adsorben tersebut telah mampu menyediakan luas permukaan yang cukup untuk terjadinya interaksi antara adsorben dengan adsorbat/logam sehingga sedikit penambahan adsorben tidak berpengaruh pada kemampuan kitosan menyerap kromium.

Pengaruh Berat Kitosan terhadap Efisiensi Penjerapan Logam Tembaga

Efisiensi penjerapan tembaga oleh kitosan memiliki kecenderungan terus meningkat seiring dengan penambahan berat kitosan. Berdasarkan grafik pada Gambar 6, terlihat bahwa efisiensi terendah terjadi pada penjerapan tembaga dengan 0,05 gram kitosan, yaitu hanya senilai 63,78%. Efisiensi meningkat tajam pada penggunaan 0,125 gram kitosan menjadi 82,26% dan kemudian stabil pada nilai 99% untuk penggunaan kitosan 0,25 gram dan 0,375 gram. Pada penjerapan dengan 0,5 gram, konsentrasi tembaga pada sampel tidak terdeteksi pada alat yang memiliki batas deteksi 0,01 ppm untuk logam tembaga. Ini berarti bahwa konsentrasi tembaga setelah penjerapan kurang dari 0,01 ppm yang menunjukkan bahwa sebagian besar tembaga telah terjerap oleh kitosan sehingga dapat dikatakan bahwa efisiensi penjerapan hampir mencapai 100% untuk logam tembaga. Efisiensi penjerapan logam tembaga oleh kitosan ini merupakan nilai tertinggi dibandingkan efisiensi penjerapan logam berat lainnya.

Berdasarkan hasil uji ANAVA pada Lampiran 4, diperoleh nilai F sebesar 69561,967 pada $p = 0,00$. Hal ini menunjukkan bahwa ada pengaruh yang

signifikan pada variasi berat kitosan yang digunakan terhadap efisiensi penjerapan logam tembaga. Semakin banyak kitosan yang digunakan, maka efisiensi penjerapan meningkat. Hal ini dikarenakan semakin banyak adsorben yang digunakan maka semakin luas permukaan adsorben sehingga semakin banyak logam yang akan terjerap.

Pengaruh Berat Kitosan terhadap Efisiensi Penjerapan Logam Besi

Seperti halnya pada penjerapan logam tembaga, pada penjerapan logam besi oleh kitosan terjadi kecenderungan yang terus meningkat pada nilai efisiensi penjerapan seiring dengan penambahan berat kitosan. Pada penggunaan kitosan 0,05 gram efisiensi penjerapannya hanya sebesar 72,91% namun terus meningkat hingga mencapai maksimal menjadi 99,21% pada penjerapan dengan 0,5 gram kitosan.

Hasil uji ANAVA pada Lampiran 4 menunjukkan bahwa ada pengaruh variasi berat kitosan terhadap efisiensi penjerapan besi. Hal ini ditunjukkan oleh harga F sebesar 432,862 pada $p = 0,00$. Efisiensi penjerapan besi meningkat signifikan dengan semakin banyaknya kitosan yang digunakan.

Pengaruh Berat Kitosan terhadap Efisiensi Penjerapan Logam Zink

Efisiensi penjerapan logam zink oleh kitosan memberikan nilai yang terkecil diantara nilai efisiensi penjerapan logam berat lainnya, yaitu hanya berkisar pada nilai 55%. Pada sampel dengan berat adsorben 0,05 gram, efisiensi penjerapan logam zink mencapai 54,75 %, sedangkan pada sampel dengan berat adsorben 0,125 gram mencapai efisiensi penjerapan 54,58 %. Pada sampel dengan berat adsorben 0,25 gram memiliki efisiensi penjerapan sebesar 54,64 %. Pada sampel dengan berat adsorben 0,375 gram memiliki efisiensi penjerapan sebesar 55,72 %. Efisiensi penjerapan logam zink pada berat adsorben 0,375 gram lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi penjerapan logam zink pada berat adsorben 0,25 gram. Peningkatan ini dimungkinkan terjadi karena semakin banyak kitosan yang digunakan, maka semakin besar luas permukaannya, sehingga semakin banyak logam zink yang terjerap.

Berdasarkan perhitungan uji ANAVA pada Lampiran 4, diperoleh harga F sebesar 4,517 pada $p = 0,065$. Hal ini berarti bahwa tidak terdapat pengaruh variasi berat kitosan terhadap efisiensi penjerapan logam zink yang signifikan. Hasil

penelitian menunjukkan dengan memvariasi berat adsorben 0,05; 0,125; 0,25; 0,375; dan 0,5 gram tidak memberikan perbedaan efisiensi penjerapan yang nyata.

Pengaruh Berat Kitosan terhadap Efisiensi Penjerapan Logam Nikel

Penjerapan logam nikel dengan kitosan memiliki efisiensi yang relatif rendah dibandingkan dengan efisiensi penjerapan jenis logam berat lainnya. Pada penjerapan dengan berat kitosan 0,05 gram diperoleh nilai efisiensi sebesar 57,15% kemudian sedikit meningkat menjadi 57,32% untuk penjerapan dengan 0,125 gram kitosan. Penggunaan 0,25 gram kitosan meningkatkan efisiensi penjerapan logam nikel menjadi 57,98% dan terus meningkat hingga mencapai optimum pada penggunaan 0,375 gram kitosan dengan efisiensi sebesar 58,61%. Efisiensi kembali turun pada penambahan berat kitosan menjadi 0,5 gram dengan efisiensi sebesar 58,21%.

Berdasarkan hasil uji ANAVA pada Lampiran 4, diperoleh harga F sebesar 5,282 dengan $p = 0,048$. Hal ini berarti bahwa ada pengaruh variasi berat kitosan terhadap efisiensi penjerapan logam nikel dengan kitosan. Perbedaan berat adsorben yang digunakan mempengaruhi banyaknya adsorbat yang dapat terjerap. Semakin banyak adsorben maka semakin banyak logam yang dapat terjerap, namun ketika daya adsorpsi sudah mencapai maksimal maka banyaknya adsorbat yang terjerap akan kembali menurun.

Perbedaan efisiensi penjerapan beberapa logam berat oleh kitosan dapat dipahami dari beberapa sudut pandang. Pada proses penjerapan dalam larutan, jumlah zat yang teradsorpsi tergantung pada jenis adsorben, jenis adsorbat, luas permukaan adsorben, temperatur dan pengaruh tekanan (Sukardjo, 1997). Faktor-faktor yang mempengaruhi penjerapan antara lain struktur adsorben, berat adsorben, pH media, ukuran partikel, kapasitas pertukaran elektron, dan suhu. Adsorben bersifat selektif, artinya suatu adsorben dapat menyerap banyak sekali suatu zat, tetapi tidak menyerap zat-zat tertentu. Penjerapan dengan zat padat dipengaruhi oleh suhu, yaitu Jumlah zat yang diserap tergantung temperatur, semakin jauh jarak antara temperatur penjerapan dari temperatur kritis, maka semakin sedikit jumlah zat yang diserap. Selain itu, ukuran adsorbat juga mempengaruhi banyaknya adsorbat yang dapat terjerap, jika ukuran pori adsorben

sesuai maka dimungkinkan semakin tinggi kemampuannya dalam menyerap adsorbat.

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa kitosan yang diisolasi dari limbah udang putih, dapat digunakan sebagai adsorben logam berat yang meliputi kromium, tembaga, besi, zink dan nikel. Berdasarkan harga efisiensi penjerapan, kitosan merupakan adsorben yang baik untuk logam kromium, tembaga dan besi pada suhu kamar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Derajat deasetilasi (DD) kitosan hasil isolasi dari limbah cangkang udang putih dalam penelitian ini adalah sebesar 82,221%.
2. Efisiensi penjerapan oleh kitosan yang optimum berturut-turut untuk logam Cr, Fe, Ni, Cu dan Zn adalah 98,44% (untuk berat kitosan 0,375 gram); 99,21% (0,5 gram); 58,62% (0,375 gram); 99,95% (0,375) dan 56% (0,5 gram).
3. Ada pengaruh konsentrasi kitosan terhadap efisiensi penjerapan logam Zn, Ni, Cu serta tidak ada pengaruh konsentrasi kitosan terhadap efisiensi penjerapan Fe dan Cr.

B. Saran

1. Perlu penelitian tentang optimasi proses isolasi sehingga diharapkan diperoleh kitosan dengan DD yang lebih besar.
2. Perlu penelitian lanjutan dengan variasi berat kitosan yang lebih besar untuk logam yang efisiensi penjerapannya masih kecil.
3. Pengkajian lebih lanjut tentang pengaruh faktor penjerapan selain variasi berat adsorben (kitosan)

DAFTAR PUSTAKA

- Bhuvana, 2006, *Studies on Frictional Behaviour of Chitosan-Coated Fabrics*, Aux. Res. J., Vol 6(4): 123-130.
- Darmono. (1995). *Logam dalam sistem makhluk hidup*. Jakarta: UI Press
- Erdawati.2008. *Kapasitas Adsorpsi Kitosan Nanomagnetik Kitosan terhadap Ion Ni(II)*.Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008, Universitas Lampung, 17-18 Nopember 2008.
- Gyliene, O, Razmute, I, Tarozaitė, R dan Nivinskiene, O. 2003. *Chemical Composition and Sorption Properties of chitosan Produced from Fly larva Shells*. Chemija (Vilnius), T.14 Nr.3: 121-127.
- Khan, T.A., Peh, K.K., dan Chang, H.S. 2002. *Reporting Degree of Deacetylation Values of Chitosan; The Influence of Analytical Methods*. J. Pharm. Sci Vol 5(3): 205-212.
- Knoor, D. 1984. *Functional Properties of Chitin and Chitosan*. J. Food.Sci. Vol 47: 36-38.
- No, H.K., Lee, S.H., Park, N.Y dan Meyers, S.P. 2003. *Comparison of physicochemical, Binding and Antibacterial Properties of Chitosans Prepared Without and With Deproteinization Process*. J. Agric. Food. Chem, Vol 51: 7659-7663.
- Rekso, G.T. 2004. Kopolimerisasi Cangkok pada Kitin dengan Teknik Iradiasi sebagai Bahan Pengkelat Ion Logam. *Disertasi, tidak diterbitkan*. Institut Teknologi Bandung.
- Rubinson, Judith dan Rubinson, Kenneth, 2000, *Contemporary Instrumental Analysis*, Prentice-Hall, Inc, New Jersey.