

KAPASITAS DAN MEKANISME ADSORPSI Ni(II) OLEH KITOSAN SULFAT

Adsorption Capacity and Mechanism Ni(II) Metal Ion on Chitosan Sulphate

Sari Edi Cahyaningrum^{1*} dan Amaria¹

1*) jurusan Kimia FMIPA-Universitas Negeri Surabaya

e-mail : muhacahya@yahoo.co.id

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari kapasitas dan mekanisme proses adsorpsi Ni(II) pada kitosan sulfat. Variabel yang dipelajari adalah pengaruh konsentrasi ion logam Ni(II) terhadap kemampuan adsorpsi kitosan sulfat dan desorpsi fraksinasi sequensial terhadap Ni(II) yang sudah teradsorpsi untuk mengetahui mekanisme adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi ion Ni(II) pada kitosan dan kitosan sulfat berlangsung secara kimia dengan energi adsorpsi sebesar 27,85-34,48 kJ/mol. Kapasitas adsorption ion logam Ni(II) untuk kitosan dalam medium air dan ammonium sulfat 0,1 M adalah $10,72 \cdot 10^{-5}$ mol/g dan $15,26 \cdot 10^{-5}$ mol/g, sedangkan untuk adsorben kitosan-sulfat dalam medium amonium sulfat 0,1M adalah $19,25 \cdot 10^{-5}$ mol/g. Proses adsorpsi Ni(II) pada kitosan sulfat medium amonium sulfat mempunyai kapasitas adsorpsi yang paling besar dan interaksi didominasi oleh pembentukan kompleks.

Kata kunci: kapasitas adsorpsi, mekanisme adsorpsi, Ni(II), kitosan

ABSTRACT

The purpose of this research was to study adsorption capacities and mechanism of Ni(II) on chitosan. Some variable studied about influence of Ni(II) metal ion concentration to ability of chitosan adsorption capacities and adsorption mechanism studied by sequential fractionation desorption to Ni(II) which have adsorbed. The results showed that, nickel(II) metal ion was chemically adsorbed on chitosan and chitosan sulphate involving energies of adsorption in a range of 27.85-34.48 kJ/mole. Adsorption capacity nickel(II) metal ion for the chitosan in water and ammonium sulfate 0.1 M medium are 10.72×10^{-5} mole/g and 15.26×10^{-5} mole/g respectively, whereas for the chitosan sulphate in ammonium sulfate 0.1 M medium is $19.25 \cdot 10^{-5}$ mole/g. The complex formation mechanism was the most dominant mechanism at adsorption Ni(II) on chitosan sulphate.

Keywords: adsorption capacity, adsorption mechanism, Ni(II), chitosan sulphate

PENDAHULUAN

Kitosan merupakan biopolimer polikationik yang terbentuk oleh rantai lurus dari unit berulang 2-amina-2-deoksi-D-glukopiranososa yang terikat oleh ikatan β -(1,4) (Ahnaruzzaman, 2008; Don, 2002). Kitosan mempunyai beberapa sifat yang menguntungkan antara lain *hydrophilicity*,

biocompatibility, *biodegradability*, sifat anti bakteri dan mempunyai afinitas yang besar terhadap enzim (Deny, 2007; Babel, 2004; Aydin, 2009). Keberadaan gugus hidroksil dan amina sepanjang rantai polimer mengakibatkan kitosan sangat efektif mengadsorpsi kation ion logam berat maupun kation dari zat-zat organik (protein dan lemak). Kitosan dapat digunakan

sebagai penyerap logam Cu(II), Pb(II), Ni(II), Hg(II), Cd(II), Cr(II) (Guibal, 2004; Chen, 2008; Liu, 2007; Pradhan, 2005).

Kitosan mempunyai kelemahan yaitu tidak tahan terhadap asam, sehingga strukturnya mudah rapuh. Modifikasi dilakukan terhadap gugus hidroksil dan amina pada unit glukosamin dari kitosan. Modifikasi kitosan adalah solusi yang ditawarkan untuk mengatasi permasalahan kestabilan kitosan terhadap asam (Jin 2002; Kyzas, 2009). Kitosan dapat dimodifikasi dengan adsorben lain seperti silika, zeolit, dan arang aktif. Adanya gugus hidroksil dan amina menyebabkan kitosan mudah dimodifikasi secara kimia. Kitosan melalui proses impregnasi menggunakan gugus pengaktif menghasilkan kitosan termodifikasi dengan daya adsorpsi yang lebih baik terhadap logam-logam berat. Sifat kebasahan dari situs aktif kitosan memainkan peran penting dalam proses pemodifikasian (Liu, 2007). Pada penelitian ini modifikasi terhadap kitosan dilakukan dengan cara impregnasi menggunakan ammonium sulfat. Pada proses adsorpsi Ni(II) digunakan medium air dan ammonium sulfat. Amonium sulfat diharapkan dapat lebih mengaktifkan gugus fungsional kitosan khususnya gugus NH_2 dan anion sulfat akan dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi kitosan. Xin-Jiang Hu, *etc.*, (2011) melakukan modifikasi kitosan dengan etilendiamin untuk mengadsorpsi ion logam

Cr(VI) 100 mg/L. Dihilangkan adsorpsi kitosan-EDTA terhadap Cr(VI) optimum pada pH 2 sebesar 19,760 mg/g. Pada penelitian ini juga dipelajari bagaimana mekanisme adsorpsi Ni(II) pada kitosan, yaitu dengan melakukan desorpsi secara fraksinasi sequensial dengan berbagai macam reagen pendesorpsi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut kitosan yang diisolasi dari cangkang udang menggunakan metode Honk (Guibal,2004). Impregnasi kitosan dengan ammonium sulfat dilakukan dengan prosedur (Jin, 2002), NiCl_2 dan beberapa bahan yang berkualifikasi p.a..Peralatan untuk pengukuran kadar ion-ion logam dan identifikasi gugus fungsional meliputi spektrofotometer infra merah Shimadzu FTIR 8201 PC, spektrofotometer serapan atom Perkin Elmer Z-8000.

Prosedur Kerja

Pengaruh Konsentrasi Ion logam Terhadap Adsorpsi Ni(II)

Adsorben sebanyak 0,1g, ditambah dengan 10 mL larutan amonium sulfat 0,1M, kemudian diinteraksikan dengan 10 mL larutan ion logam Ni(II) selama 1 jam.

Konsentrasi larutan Ni(II) dibuat bervariasi. Setelah interaksi, disaring dan filtrat yang diperoleh diukur dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom.

Mekanisme Adsorpsi

Sebanyak masing-masing 1000 mg kitosan diinteraksikan dengan 60 ml larutan logam Ni(II) dengan konsentrasi awal larutan logam 500 mg/L. Interaksi dilakukan dengan cara digojok menggunakan *shaker* selama 1 jam dan didiamkan selama 24 jam. Setelah interaksi, filtrat dan endapan dipisahkan dengan cara disaring. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisa dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom. Endapan dicuci beberapa kali dengan akuades, kemudian dikeringkan pada temperatur kamar selama 2 hari. Selanjutnya dilakukan desorpsi fraksional sekuensial untuk mengetahui mekanisme interaksi antara Ni(II) dengan kitosan.

A. Mekanisme pemerangkapan

Sebanyak 250 mg endapan kitosan-Ni masing-masing ditambah dengan 20 mL akuades. Campuran tersebut diinteraksikan dengan cara digojok menggunakan *shaker* selama 3 jam. Kemudian disaring, filtrat yang diperoleh dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom dan residunya dikeringkan. Pengerjaan yang sama dilakukan pada adsorben kitosan sulfat.

B. Mekanisme pertukaran ion

(i). tertukar oleh Na^+

Endapan sisa mekanisme A ditimbang, kemudian ditambah dengan 20 mL CH_3COONa 0,1M, digojok menggunakan *shaker* selama 2 jam kemudian disaring. Filtratnya dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom dan endapannya dikeringkan. Pengerjaan yang sama dilakukan pada adsorben kitosan sulfat.

(ii). tertukar oleh NH_4^+

Endapan sisa mekanisme B(i) ditimbang, kemudian ditambah dengan 20 mL $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 0,1M kemudian digojok menggunakan *shaker* selama 2 jam kemudian disaring. Filtratnya dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom dan endapannya dikeringkan. Pengerjaan yang sama dilakukan pada adsorben kitosan sulfat.

C. Mekanisme pembentukan ikatan hidrogen

Endapan sisa mekanisme B (ii) ditimbang, ditambah dengan 20 mL 0,3M $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ dalam 25% (v/v) CH_3COOH , digojok menggunakan *shaker* selama 30 menit, kemudian disaring. Filtratnya dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom dan endapannya dikeringkan. Pengerjaan yang sama dilakukan pada adsorben kitosan sulfat.

D. Mekanisme pembentukan kompleks

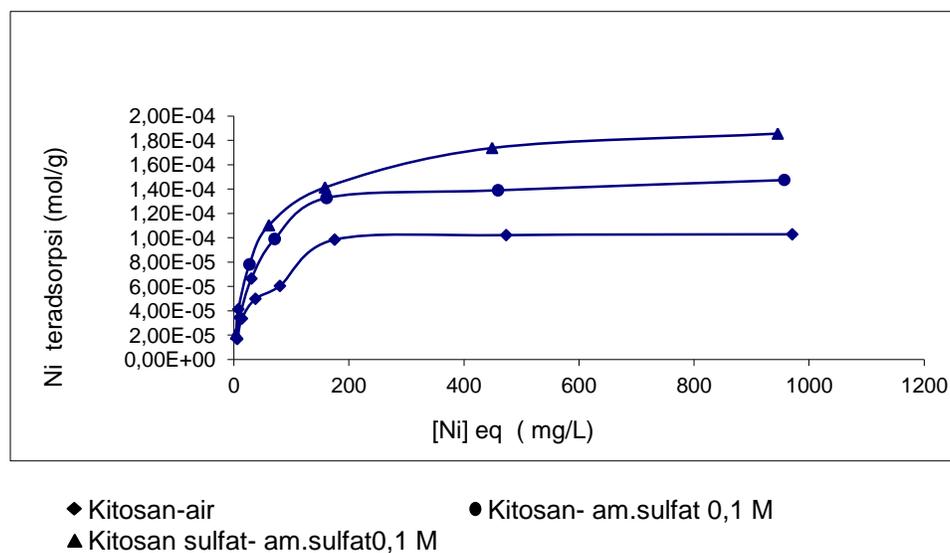
Endapan sisa mekanisme C ditimbang, ditambah dengan 20 mL $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 0,1 M, digojok menggunakan *shaker* selama 18 jam, kemudian disaring. Filtratnya dianalisis dengan spektrofotometer serapan atom dan endapannya dikeringkan. Pengerjaan yang sama dilakukan pada adsorben kitosan sulfat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan energi dan kapasitas adsorpsi

Energi dan kapasitas adsorpsi ion logam pada kitosan dalam medium air, medium amonium sulfat dan kitosan sulfat dalam medium amonium sulfat, dapat

ditentukan dengan mempelajari besarnya adsorpsi ion logam Ni(II) pada berbagai konsentrasi. Gambar 1 menunjukkan bahwa secara umum adsorpsi ion logam Ni(II) pada ketiga adsorben di atas, memiliki kecenderungan mengalami peningkatan jumlah ion logam teradsorpsi hingga konsentrasi awal 200 mg/L. Pada konsentrasi logam 500 mg /L kenaikan konsentrasi logam tidak disertai kenaikan adsorpsi ion logam Ni(II) secara signifikan. Pada konsentrasi 500 mg/L telah tercapai kesetimbangan adsorpsi. Hasil penentuan dengan menggunakan persamaan linearitas Langmuir dan Freundlich diperoleh bahwa adsorpsi ion logam Ni(II) ketiga adsorben mengikuti pola adsorpsi isoterm Langmuir.



Gambar 1. Pengaruh konsentrasi terhadap adsorpsi ion logam Ni(II) pada kitosan dan kitosan sulfat.

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa ion logam Ni(II) pada kitosan dan kitosan sulfat memiliki energi total adsorpsi

pada kisaran 27–32 kJ/mol. Menurut Adamson (1990) batas minimal adsorpsi kimia adalah 20,92 kJ/mol. Berdasarkan hal

tersebut dapat dikategorikan bahwa proses adsorpsi ion logam Ni(II) pada kitosan dan kitosan sulfat sebagai adsorpsi kimia. Hal ini

mengindikasikan bahwa proses adsorpsi ion logam Ni(II) pada kitosan dan kitosan sulfat melibatkan mekanisme adsorpsi kimia.

Tabel 1. Parameter isoterm Langmuir untuk adsorpsi Ni(II) pada kitosan dan kitosan sulfat

Adsorben	Medium	Parameter Langmuir			Energi (kJ /mol)
		R	b (mol/g)	K	
Kitosan	air	0,99	$10,72 \cdot 10^{-5}$	$8,46 \cdot 10^4$	28,29
Kitosan	am.sulfat 0,1M	0,99	$15,26 \cdot 10^{-5}$	$8,10 \cdot 10^4$	28,19
Kitosan.sulfat	am.sulfat 0,1M	0,99	$19,25 \cdot 10^{-5}$	$7,07 \cdot 10^4$	27,85

Tabel 1 menunjukkan bahwa besarnya kapasitas adsorpsi Ni(II) pada ketiga adsorben mengikuti urutan sebagai berikut :

Kitosan sulfat / am.sulfat 0,1 M > kitosan / am.sulfat 0,1 M > kitosan /air

Saat terjadi impregnasi pada adsorben kitosan sulfat, anion sulfat menempel pada situs aktif kitosan, sehingga terjadi protonasi gugus amina. Adsorben kitosan sulfat sebelum berinteraksi dengan ion logam dikondisikan dalam medium amonium sulfat. Hal ini akan mempertahankan kestabilan keaktifan situs aktif adsorben, karena apabila ada anion sulfat yang lepas dari permukaan adsorben akan digantikan oleh anion sulfat dari medium. Adsorben kitosan dalam medium amonium sulfat, meskipun sama-sama mengandung anion sulfat tetapi anion sulfatnya hanya berasal dari medium. Anion sulfat sebelumnya belum menempel pada adsorben, sehingga tidak stabil dan mudah lepas lagi. Pada adsorben kitosan medium

air, ion logam cenderung dalam keadaan terhidrat, sehingga kapasitas adsorpsinya kecil.

A. Mekanisme adsorpsi

Untuk mengetahui mekanisme adsorpsi yang berperan dalam adsorpsi ion logam Ni(II) pada kitosan medium air, kitosan medium amonium sulfat dan kitosan sulfat medium amonium sulfat, dilakukan desorpsi secara fraksinasi sekuensial terhadap ketiga adsorben yang telah diinteraksikan dengan Ni(II). Pelarut yang digunakan pada desorpsi secara fraksinasi sekuensial adalah akuades; natrium asetat 0,1M; amonium asetat 0,1M; 0,3M hidroksilamin hidroklorida dalam asam asetat 25 %; dan natrium piropospat 0,1M.

Ion logam yang teradsorpsi melalui mekanisme pemerangkapan didesorpsi dengan akuades. Natrium asetat dan amonium asetat masing-masing untuk mendesorpsi kation-kation logam yang teradsorpsi melalui mekanisme pertukaran ion. Fraksi ion logam yang terdesorpsi

dengan kedua pelarut tersebut, diharapkan dapat menggambarkan kontribusi mekanisme pertukaran ion pada adsorpsi ion logam Ni(II). Selanjutnya untuk mendesorpsi ion logam yang terikat melalui mekanisme pembentukan ikatan hidrogen, digunakan pelarut yang memiliki kemampuan mereduksi yaitu hidroksilamin hidroklorida. Desorpsi ion logam yang teradsorpsi melalui pembentukan kompleks digunakan agen pengkelat natrium piropospat dengan pertimbangan natrium piropospat merupakan ligan pengkelat yang sangat kuat bila dibandingkan dengan ligan yang terikat pada situs aktif adsorben, sehingga ion logam yang terikat pada adsorben akan terdesorpsi melalui pembentukan kompleks logam-piropospat yang relatif stabil.

Melalui desorpsi dengan metode fraksinasi sekuensial, diperoleh mekanisme adsorpsi ion logam pada ketiga adsorben seperti yang ditampilkan pada Tabel 2,3 dan 4. Dari Tabel 2, terlihat bahwa proses adsorpsi ion logam Ni(II) oleh kitosan dalam medium air, kontribusi mekanisme adsorpsi kimia lebih dominan dibanding mekanisme fisika (pemerangkapan). Ion logam Ni(II) teradsorpsi oleh kitosan dalam medium air melalui mekanisme pertukaran ion, pembentukan ikatan hidrogen dan pembentukan kompleks.

Tabel 2. Mekanisme adsorpsi ion logam Ni(II) pada kitosan medium air

Mekanisme adsorpsi	Jumlah relatif ion logam (%)
	Ni(II)
Pemerangkapan	1,24
Pertukaran ion	
a. tertukar Na ⁺	2,04
b. tertukar NH ₄ ⁺	3,05
Pembentukan ikatan hidrogen	12,34
Pembentukan kompleks	78,34
Jumlah	98,03

Pada adsorben kitosan medium air, ion logam Ni(II) teradsorpsi dominan melalui mekanisme pembentukan kompleks yaitu 78,34 %, selanjutnya melalui mekanisme pembentukan ikatan hidrogen dan mekanisme pertukaran ion. Pada mekanisme pembentukan kompleks terjadi ikatan langsung antara ion logam (Mⁿ⁺) dengan gugus NH₂ kitosan. Dalam hal ini ion logam bertindak sebagai ion pusat dan gugus NH₂ bertindak sebagai ligan.

Hasil desorpsi pada mekanisme pembentukan ikatan hidrogen memberikan hasil yaitu 12,34 %. Pada mekanisme pembentukan ikatan hidrogen interaksi antara ion logam dengan gugus -NH₂ melibatkan molekul air untuk membentuk ikatan hidrogen. Karena melibatkan penggunaan bersama pasangan elektron maka mekanisme pembentukan ikatan hidrogen ini bersifat lebih kovalen

dibandingkan dengan mekanisme pertukaran ion. Adsorpsi ion logam Ni(II) pada adsorben kitosan medium air ternyata juga melibatkan mekanisme pertukaran ion walaupun dalam persentase yang kecil. Mekanisme pertukaran ion total yang diperoleh dari ion yang tertukar oleh Na^+ dan NH_4^+ adalah sebesar 5,09%.

Hasil desorpsi dengan metode fraksinasi sekuensial untuk ion logam Ni(II) pada kitosan dalam medium amonium sulfat disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Mekanisme adsorpsi ion logam Ni(II) pada kitosan medium amonium sulfat 0,1 M

Mekanisme adsorpsi	Jumlah relatif ion logam (%)
	Ni(II)
Pemerangkapan	0,92
Pertukaran ion	
a. tertukar Na^+	7,14
b. tertukar NH_4^+	12,44
Pembentukan ikatan hidrogen	13,24
Pembentukan kompleks	65,58
Jumlah	99,33

Dari Tabel 3 terlihat bahwa pada adsorpsi ion logam Ni(II) oleh kitosan dalam medium amonium sulfat kontribusi mekanisme adsorpsi kimia lebih dominan dibanding mekanisme fisika (pemerangkapan). Ion logam Ni(II) teradsorpsi oleh kitosan dalam medium amonium sulfat melalui mekanisme

pertukaran ion, pembentukan ikatan hidrogen dan pembentukan kompleks.

Pada kitosan medium amonium sulfat, walaupun mekanisme pembentukan kompleks masih dominan tetapi mengalami penurunan. Hasil desorpsinya adalah sebesar 65,58 % untuk ion logam Ni(II). Mekanisme pembentukan ikatan hidrogen mengalami peningkatan tetapi tidak signifikan. Hasil desorpsi untuk mekanisme pertukaran ion mengalami peningkatan, yaitu pertukaran ion total adalah sebesar 21,58%. Peningkatan ini dimungkinkan karena anion sulfat dari medium memprotonasi gugus amina dari adsorben sehingga interaksi yang terjadi antara ion logam dengan situs aktif adsorben adalah interaksi elektrostatik.

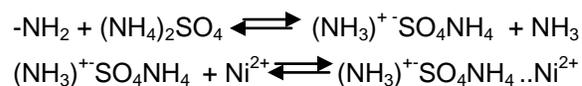
Hasil desorpsi secara fraksinasi sekuensial dari ion logam Ni(II) pada kitosan sulfat dalam medium amonium sulfat disajikan pada Tabel 4. Data Tabel 4 menunjukkan bahwa pada adsorpsi ion logam Ni(II) oleh kitosan sulfat medium amonium sulfat kontribusi mekanisme adsorpsi kimia lebih dominan dibanding mekanisme fisika (pemerangkapan). Ion logam Ni(II) teradsorpsi pada kitosan sulfat dalam medium amonium sulfat melalui mekanisme pertukaran ion, pembentukan ikatan hidrogen dan pembentukan kompleks.

Tabel 4. Mekanisme adsorpsi ion logam Ni(II) pada kitosan sulfat dalam medium amonium sulfat 0,1 M.

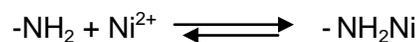
Mekanisme adsorpsi	Jumlah relatif ion logam (%)
	Ni (II)
Pemerangkapan	0,09
Pertukaran ion	
a. tertukar Na ⁺	16,26
b. tertukar NH ₄ ⁺	20,23
Pembentukan ikatan hidrogen	14,34
Pembentukan kompleks	50,32
Jumlah	99,25

Data Tabel 4 menunjukkan bahwa pada adsorpsi ion logam Ni(II) oleh kitosan sulfat medium amonium sulfat kontribusi mekanisme adsorpsi kimia lebih dominan dibanding mekanisme fisika (pemerangkapan). Ion logam Ni(II) teradsorpsi pada kitosan sulfat dalam medium amonium sulfat melalui mekanisme pertukaran ion, pembentukan ikatan hidrogen dan pembentukan kompleks. Data Tabel 4 menunjukkan bahwa mekanisme pembentukan kompleks masih mendominasi meskipun jumlahnya semakin menurun, yaitu 50,32 %. Mekanisme pembentukan ikatan hidrogen mengalami kenaikan tetapi tidak signifikan. Mekanisme adsorpsi melalui pertukaran ion jumlahnya meningkat. Hasil desorpsi untuk mekanisme pertukaran ion total adalah 36,49%. Seperti yang dijelaskan pada penjelasan sebelumnya, adsorben ketika mengalami

impregnasi terjadi protonasi gugus amina oleh anion sulfat yang lebih permanen. Pengkondisian dengan amonium sulfat akan memperkuat permukaan adsorben, yaitu menstabilkan ikatan gugus amina terprotonasi, bila ada anion sulfat yang lepas dapat digantikan oleh anion sulfat dari medium. Sehingga interaksi yang terjadi antara ion logam dengan situs aktif adsorben adalah interaksi elektrostatis. Reaksi yang terjadi diperkirakan terdapat ikatan antara gugus utama kitosan (-NH₂) dengan gugus pengaktif SO₄²⁻ dari senyawa (NH₄)₂SO₄ diperkirakan terjadi secara elektrostatis sebagai berikut:



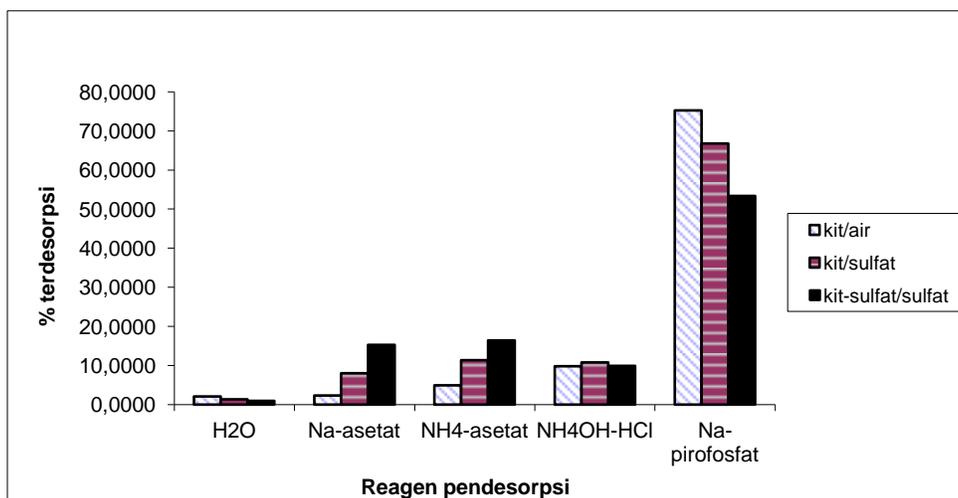
Mekanisme pengikatan ion logam Ni(II) pada kitosan adalah sebagai berikut:



Pada mekanisme tersebut menunjukkan bahwa modifikasi akan mengubah sebagian interaksi gugus fungsional kitosan dengan ion logam Ni(II). Pada kitosan tanpa modifikasi interaksi didominasi pembentukan kompleks, interaksi melalui pertukaran ion sangat kecil, ketika dilakukan modifikasi maka akan kenaikan persentase yang berinteraksi melalui pertukaran ion. Hal tersebut ditunjukkan pada data Gambar 2 dimana terjadi kenaikan mekanisme pertukaran ion walaupun mekanisme

pembentukan kompleks masih dominan. Hasil desorpsi ion logam Ni(II) pada ketiga adsorben tersebut, dapat dibuat grafik

hubungan antara persentase terdesorpsi dengan reagen pendesorpsi seperti yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desorpsi ion logam Ni(II) pada kitosan-air, kitosan-am.sulfat dan kitosan sulfat-am.sulfat

Dari Gambar 2 dapat diketahui bahwa mekanisme adsorpsi ion logam Ni(II) pada ketiga adsorben, proses adsorpsi melalui mekanisme pembentukan kompleks mempunyai urutan persentase terdesorpsi sebagai berikut :

Kit-air > Kit- amonium sulfat > Kit.sulfat-amonium sulfat

Mekanisme pertukaran ion mempunyai urutan persentase sebagai berikut:

Kit-air < Kit- amonium sulfat < Kit.sulfat-amonium sulfat

Jadi pada adsorben kitosan, mekanisme adsorpsi ion logam Ni(II) didominasi oleh mekanisme pembentukan kompleks. Impregnasi kitosan dengan amonium sulfat meningkatkan kontribusi mekanisme

pertukaran ion dan mekanisme pembentukan kompleks mengalami penurunan, walaupun mekanisme melalui pembentukan kompleks masih tetap dominan.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Kapasitas adsorpsi ion logam Ni(II) pada kitosan dalam medium air adalah $10,72 \cdot 10^{-5}$ mol/g, relatif lebih kecil dibanding pada kitosan dalam medium amonium sulfat 0,1M yang mempunyai kapasitas adsorpsi sebesar $15,26 \cdot 10^{-5}$ mol/g sedangkan kapasitas adsorpsi ion logam Ni(II) yang terbesar adalah pada adsorben kitosan sulfat

dalam medium amonium sulfat 0,1 M yaitu sebesar $19,25 \cdot 10^{-5}$ mol/g.

2. Impregnasi kitosan dengan amonium sulfat meningkatkan kontribusi mekanisme pertukaran ion dan menurunkan mekanisme pembentukan kompleks mengalami penurunan, walaupun mekanisme melalui pembentukan kompleks masih tetap dominan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmaruzzaman, M.D., 2008, Adsorption of phenolic compounds on low-cost adsorbents: A review. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 143, 48-67.
- Aydın, Y.; Aksoy, N., 2009, Adsorption of chromium on chitosan: Optimization, kinetics and thermodynamics. *Chem. Eng. J.*, 151, 188-194.
- Babel, S.; Kurniawan, T.A., 2004, Cr(VI) removal from synthetic wastewater using coconut shell charcoal and commercial activated carbon modified with oxidizing agents and/or chitosan. *Chemosphere*, 54, 951-967.
- Chen, A.-H.; Liu, S.-C.; Chen, C.-Y.; Chen, C.-Y., 2008, Comparative adsorption of Cu(II), Zn(II) and Pb(II) ions in aqueous solution on the crosslinked chitosan with epichlorohydrin. *J. Hazard. Mater.*, 154, 184-191.
- Deng, Y.; Liu, D.; Du, G.; Li, X.; Chen, J., 2007, Preparation and characterization of hyaluronan/chitosan scaffold crosslinked by 1-ethyl-3-(3-dimethylaminopropyl) carbodiimide. *Polym. Int.*, 56, 738-745.
- Don, T.-M.; King, C.-F.; Chiu, W.-Y., 2002, Preparation of chitosan-graft-poly(vinyl acetate) copolymers and their adsorption of copper ion. *Polym. J.*, 34, 418-425.
- Guibal, E., 2004, Interactions of metal ions with chitosan-based sorbents: A review. *Sep. Purif. Technol.*, 38, 43-74.
- Jin, L.; Bai, R., 2002, Mechanisms of lead adsorption on chitosan/PVA hydrogel beads. *Langmuir.*, 18, 9765-9770.
- Kyzas, G.Z.; Kostoglou, M.; Lazaridis, N.K., 2009, Copper and chromium(VI) removal by chitosan derivatives—Equilibrium and kinetic studies. *Chem. Eng. J.*, 152, 440-448.
- Liu, B.; Cao, Y.; Wang, T.; Yuan, Q., 2007, Preparation of novel ZSM-5 zeolite-filled chitosan membranes for pervaporation separation of dimethyl carbonate/methanol mixtures. *J. Appl. Polymer Sci.*, 106, 2117-21
- Pradhan, S.; Shukla, S.S.; Dorris, K.L., 2005, Removal of nickel from aqueous solutions using crab shells. *J. Hazard. Mater.*, 25, 201-204.