

KINETIKA ADSORPSI ION LOGAM Ni(II) OLEH HIBRIDA AMINO SILIKA DALAM LARUTAN YANG MENGANDUNG ION LOGAM PESAING Cr(III)

ADSORPTION KINETICS OF Ni(II) METAL ION BY SILICA AMINO HYBRID IN SOLUTION CONTAINING Cr(III) METAL ION COMPETITORS

*Anita Mei Wulandari * dan Amaria*

Jurusan Kimia FMIPA, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang, Surabaya, 60231

e-mail: kuchikis_anit@yahoo.com

Abstrak. Penelitian tentang adsorpsi Ni(II) oleh hibrida amino silika dalam larutan yang mengandung ion logam pesaing Cr(III) telah dilakukan. Hibrida amino silika disintesis dengan dua proses yaitu sol gel dan grafting. Tujuan penelitian ini untuk 1)mengetahui gugus fungsional hibrida amino silika dari kedua proses, 2) pengaruh pH sistem, dan 3) model kinetiknya. Konsentrasi ion logam Ni(II) sisa pada percobaan pengaruh pH sistem diukur dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Penelitian ini mengikuti metode eksperimental. Hasil penelitian yang diperoleh adalah: 1) gugus fungsional hibrida amino silika proses sol gel dan grafting yang dikaji dengan spektra inframerah menunjukkan adanya serapan pada 1641, 86 dan 1643,73 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi tekuk $-\text{NH}_2$ serta 2937,88 dan 2931, 42 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ulur $-\text{CH}_2-$ dari aminopropil, 2) Adsorpsi ion logam Ni(II) terjadi secara maksimum pada pH 6 yaitu 46,3512 % untuk hibrida amino silika proses sol gel dan 66,5932% untuk hibrida amino silika proses grafting, adsorpsi ion logam Ni(II) dalam larutan yang mengandung ion logam pesaing Cr(III) terjadi secara maksimum pada pH 5 yaitu 13,1833% untuk hibrida amino silika proses sol gel dan 48,7998% untuk hibrida amino silika proses grafting, adanya ion Cr(III) membuat jumlah Ni(II) yang teradsorpsi sedikit berkurang, 3) Model kinetika yang sesuai untuk adsorpsi ion logam Ni(II) tanpa dan dengan ion logam pesaing Cr(III) oleh hibrida amino silika adalah orde satu mencapai kesetimbangan.

Kata Kunci: adsorpsiNi(II), hibrida amino silika, sol gel, grafting,

Abstract. The research of adsorption Ni(II) metal ion by silica amino hybrid in solution containing Cr(III) metal ion competitors has been done. Silica amino hybrid was made in two processes, sol gel and grafting. The purposes of this research was 1) to determine the functional group of silica amino hybrid from the two processes by, 2)the influence of pH system and 3) its kinetic model. The remains concentration of Ni(II) in the experimental influence of pH system was measured by Atomic Absorption Spectrophotometer. This research follows experimental method. The results obtained are: 1) the functional groups of silica amino hybrid sol-gel and grafting indicated that there were an uptake in 1641, 86 and 1643,73 cm^{-1} indicate the bending vibration of $-\text{NH}_2$ and also 2937, 88 and 2931, 42 cm^{-1} indicate the stretching vibration of $-\text{CH}_2-$ from aminoprophyl, 2) adsorption Ni(II) metal ion by silica amino hybrid occurring maximum at pH 6 is 46,3512 % for silica amino hybrid sol gel process; 66,5932% for silica amino hybrid grafting process, adsorption Ni(II) metal ion with Cr(III) metal ion competitors occurring maximum at pH 5 13,1833% for silica amino hybrid sol gel process; 48,7998% for silica amino hybrid grafting process, the present of ion Cr(III) reduced the number of Ni(II) adsorbed, and 3) adsorption Ni(II) with and without metal ion competitors follow first order reached equilibrium.

Keywords: adsorption Ni(II), silica amino hybrid, sol gel, grafting

PENDAHULUAN

Silika gel merupakan adsorben anorganik yang sering digunakan untuk proses adsorpsi karena mempunyai gugus fungsional silanol (Si-OH) dan siloksan (Si-O-Si) serta bersifat inert[1]. Penggunaan silika dalam proses adsorpsi memiliki keterbatasan. Hal tersebut dikarenakan atom O dalam silanol (Si-

OH) terikat langsung pada atom Si, sehingga elektron bebas pada atom O lebih tertarik untuk mempolarisasi atom Si dan atom H tidak mempunyai elektron untuk didonorkan kepada ion logam. Oleh karena itu berkembang suatu pemikiran untuk memodifikasi silika gel dengan menggunakan

senyawa organik. Modifikasi ini dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi pada permukaan silika gel[2].

Modifikasi silika gel dapat dilakukan dengan menggunakan senyawa 3-aminopropil trietoksisisilan sehingga menjadi hibrida amino silika. Hibrida amino silika telah berhasil disintesis dari natrium silikat dan digunakan untuk adsorpsi Ni(II)[3]. Hibrida amino silika yang dihasilkan mempunyai puncak – puncak serapan yang menunjukkan adanya gugus amin (-NH₂) dan rantai alifatik (-CH₂-). Sekam padi dapat menjadi sumber untuk membuat silika gel yang kemudian dimodifikasi dengan senyawa organik 3-aminopropil trietoksisisilan dan hasilnya digunakan untuk adsorpsi Zn(II) dan Cd(II), adsorpsi tersebut mengikuti model kinetika mengikuti model orde satu mencapai kesetimbangan[4]. Hibrida amino silika dapat pula disintesis dari silika gel Merck dan digunakan untuk adsorpsi ion logam Cd(II) dengan konstanta laju adsorpsi sebesar $11 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ serta mengikuti model kinetika orde 1 mencapai kesetimbangan [5].

Dalam penelitian ini dilakukan sintesis hibrida amino silika dengan dua proses yaitu sol gel yaitu penambahan senyawa yang akan diimobilkan dilakukan pada saat matriks berbentuk sol, kemudian menuju ke arah pembentukan padatan (gel) [3] dan *grafting* yaitu mereaksikan silanol dengan reagen silan dalam pelarut [6]. Penentuan gugus fungsional hibrida amino silika dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer Inframerah. Hibrida amino silika yang dihasilkan diuji kemampuan adsorpsinya dengan menggunakan larutan Ni(II). Parameter yang dikaji dalam penelitian ini adalah pengaruh pH sistem, waktu interaksi, dan penentuan model kinetika.

METODE PENELITIAN

Bahan

Silika Gel Ukuran 200-400 Mesh, Natrium Silikat, HCl berbagai konsentrasi, Natrium Sulfat Anhidrat, Toluena, Etanol, Dietil Eter, NiCl₂.6H₂O, CrCl₃.6H₂O p.a berasal dari Merck dan 3-Aminopropiltri-Etoksisisilan dari Aldrich, serta Aquademineral, dan Kertas Saring Whatman 42.

Alat

Spektrofotometer FTIR Pelkin Elmer, Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), pH Meter EUTECH *Instruments Ion* 510, Sentrifuge Centurion K 60, Shaker, Neraca Analitik, Tabung Sentrifuse,

Botol, Oven, Pompa Vakum, *Hot Plate*, *Magnetic Stirrer*, Labu Dasar Bulat Berleher tiga dan Peralatan Gelas.

PROSEDUR

Pembuatan Hibrida Amino Silika (Proses Sol Gel)

Dalam gelas kimia 100 mL dimasukkan larutan natrium silikat dari Merck ditambah aquades sampai 20 mL dan ditambah 2 mL 3-aminopropil trietoksisisilan kemudian diaduk dengan pengaduk magnet dan ditambah HCl 2M tetes demi tetes sampai terbentuk gel. Gel didiamkan selama satu malam dan selanjutnya dicuci dengan aquades sampai netral (pH 7). Kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 70 °C sampai berat konstan [7]. Hasilnya diberi kode HASa

Pembuatan Hibrida Amino Silika (Proses *Grafting*)

Tiga gram silika gel disuspensikan dalam 10 mL 3-aminopropiltrioksisisilan yang dilarutkan dalam toluena kering (10% v/v), kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* dalam sistem *refluk* pada suhu kamar selama 12 jam. *Slurry* hibrida amino silika yang terbentuk, kemudian dicuci dengan toluena, etanol, dan dietil eter secara bergantian, lalu dikeringkan secara vakum pada suhu 70°C selama 8 jam [8]. Hasilnya diberi kode HASb.

Pengaruh pH sistem

Dua puluh mg adsorben HASa dan HASb diinteraksikan dengan 10 mg/L larutan Ni(II) sebanyak 25 mL pada pH sistem 3, 4, 5, 6, dan 7. Pengaturan pH sistem dilakukan dengan penambahan HCL dan NaOH lalu dikocok dengan kecepatan 450 rpm selama 60 menit, kemudian disentrifuge dengan kecepatan 2500 rpm selama 10 menit. Filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya dengan menggunakan spektroskopi serapan atom untuk mengetahui konsentrasi Ni (II) sisa. Langkah yang sama dilakukan pada adsorpsi Ni(II) dalam larutan yang mengandung ion logam pesaing Cr(III). disentrifuge dengan kecepatan 2500 rpm selama 10 menit. Filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya dengan menggunakan spektroskopi serapan atom untuk mengetahui konsentrasi Ni (II) sisa. Langkah yang sama dilakukan pada adsorpsi Ni(II) dalam larutan yang mengandung ion logam pesaing Cr(III).

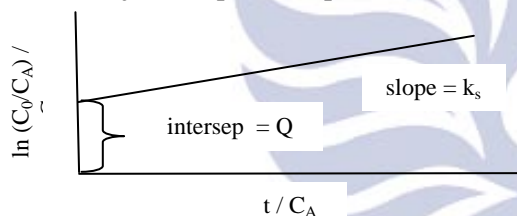
Penentuan Model Kinetika

Penentuan model kinetika dilakukan dengan dua tahap yaitu adsorpsi ion logam Ni(II) dalam berbagai variasi waktu yang menghasilkan data-data konsentrasi ion logam Ni(II) dan menerapkan data-data tersebut pada model kinetika orde satu mencapai kesetimbangan dan *pseudo second-order*.

Model kinetika orde satu mencapai kesetimbangan merupakan penyempurnaan bagi Model Langmuir-Hinshelwood[9]. Konstanta laju yang ditentukan dengan menggunakan model Langmuir-Hinshelwood memperoleh nilai negatif. Konstanta laju yang memiliki nilai negatif atau kurang dari nol adalah tidak realistis, sehingga hal ini diperbaiki oleh Santosa, *et al.* [10]. Model kinetika orde satu saat mencapai kesetimbangan dirumuskan seperti persamaan(1)

$$\frac{\ln C_0/C_A}{C_A} = k_s \frac{t}{C_A} + Q \quad (1)$$

C_A adalah konsentrasi spesi A dalam larutan (mol/L), C_0 adalah konsentrasi awal(mol/L), k_s adalah konstanta laju adsorpsi, dan Q adalah konstanta laju adsorpsi-desorpsi ($Q = k_s/k_d$) [10].

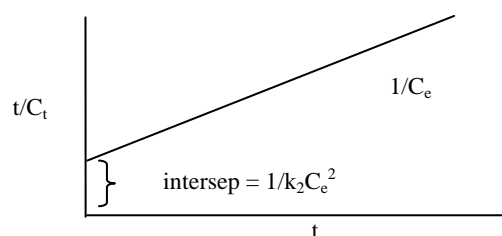


Gambar 1. Kurva linieritas $\ln(C_0/C_A)/C_A$ terhadap t/C_A

Model kinetika *pseudo second-order* sama halnya dengan model kinetika *second order*, dimana kedua reaktan yaitu adsorbat dan adsorben memberikan pengaruh pada hasil akhir. Pada umumnya model kinetika ini sesuai untuk sistem adsorpsi larutan pada permukaan zat padat dan sesuai untuk waktu interaksi antara adsorben dan adsorben yang panjang [11]. Model kinetika ini digunakan untuk adsorpsi kimia yang melibatkan pertukaran atau pemakaian elektron bersama yang terjadi antara adsorben dan adsorbat[12]. Model kinetika orde *pseudo second-order* dirumuskan seperti persamaan (2).

$$1/C_t = 1/k_2 C_e^2 + (1/C_e)t \quad (2)$$

c_e dan c_t adalah jumlah adsorbat yang teresap pada saat setimbang dan pada waktu t (mg/g), k_2 adalah konstanta laju adsorpsi *pseudo second-order*.



Gambar 2. Kurva linieritas t/C_t terhadap t

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Kimia Hibrida Amino Silika (sol gel) dan Hibrida Amino Silika (grafting)

Hasil karakterisasi spektra inframerah hibrida amino silika proses sol gel (HASa) dan proses grafting (HAS(b) disajikan pada Tabel 1. Spektra inframerah silika gel, HASa, dan HASb disajikan pada Gambar 3. Pada spektra silika gel dan HASa terdapat serapan pada bilangan gelombang 3464, 63 cm^{-1} dan 3420,27 cm^{-1} . Pada silika gel serapan pada bilangan gelombang 3464, 63 cm^{-1} adalah daerah vibrasi ulur -OH dari Si-OH sementara pada HASa serapan tersebut adalah vibrasi ulur -NH₂. Hal ini berarti telah terjadi pergeseran bilangan gelombang yang menandakan telah masuknya gugus -NH₂ yang didukung oleh serapan pada bilangan gelombang 1641, 86 cm^{-1} yang merupakan daerah untuk vibrasi tekuk -NH₂. Pada HASb terdapat serapan pada daerah 3459, 35 cm^{-1} . Serapan ini merupakan daerah vibrasi ulur dari -NH₂. Jika dibandingkan dengan spektra silika gel terjadi pergeseran bilangan gelombang. Hal ini menunjukkan bahwa gugus -NH₂ sudah terikat pada silika gel yang didukung oleh serapan pada 1643,73 yang menunjukkan vibrasi tekuk -NH₂. Pada spektra HASa dan HASb terdapat perbedaan spektra untuk vibrasi ulur dan tekuk -NH₂. Semakin besar massa atom yang terikat pada atom silika maka frekuensi vibrasi akan menurun [13]. Penambahan massa atom diakibatkan oleh masuknya gugus hibrida amino silika pada silika gel sehingga dapat menurunkan frekuensi vibrasi gugus -NH₂.

Tabel 1. Hasil karakterisasi spektra inframerah hibrida amino silika proses sol gel (HASa) dan proses grafting (HASb)

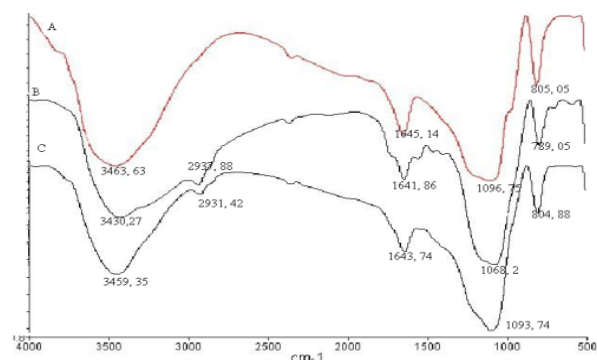
Gugus fungsional	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)		
	Silika gel	HAS (a)	HAS (b)
Vibrasi ulur -OH dari Si-OH	3464,63	-	-
Vibrasi ulur -NH ₂	-	3430,27	3459,35
Vibrasi tekuk -NH ₂	-	1641,86	1643,73
Vibrasi ulur -CH ₂ -	-	2937,88	2931,42
Vibrasi ulur asimetris Si-O dari Si-O-Si	1096,75	1068,72	1093,74
Vibrasi ulur simetris Si-O dari Si-O-Si	805,05	789,05	804,88

Pada silika gel terdapat serapan yang tampak pada bilangan gelombang 1096,75 cm⁻¹ yang merupakan serapan untuk vibrasi asimetris Si-O dari Si-O-Si, sedangkan pada HASa dan HASb serapan vibrasi ulur asimetris tampak pada bilangan gelombang 1068,72 cm⁻¹ dan 1093,74 cm⁻¹. Pada silika gel nampak serapan pada bilangan gelombang 805,05 cm⁻¹ sementara pada HASa dan HASb muncul pada 789,05 cm⁻¹ dan 804,88 cm⁻¹. Serapan tersebut merupakan vibrasi ulur simetris Si-O-Si [14]. Pada HASa dan b terdapat serapan pada 2937,88 dan 2931,42 cm⁻¹ yang merupakan vibrasi -CH₂- dari senyawa aminopropil.

Pengaruh pH Medium

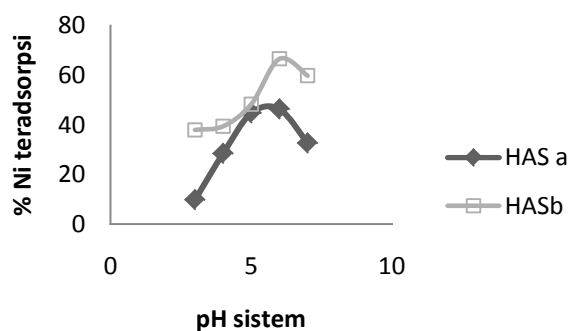
Adsorpsi ion logam Ni(II) oleh HAS (a) dan HAS (b) terjadi secara maksimum pada pH 6 yaitu masing – masing sebesar 46,3512% dan 66,5932%. Hal ini dapat dijelaskan karena pada pH 6 larutan nikel berada pada spesies Ni²⁺ [15] dan hibrida amino silika mengalami deprotonasi sehingga gugus amina pada hibrida amino silika bermuatan negatif [5]. Oleh karena itu terjadi gaya tarik menarik antara ion logam Ni(II) dengan amina dari hibrida amino silika. Pada pH 3, adsorpsi ion logam Ni(II) sangat kecil. Hal ini diperkirakan karena pada pH 3 larutan nikel berada pada spesies Ni²⁺ [15] dan gugus fungsional NH₂ pada adsorben hibrida amino silika mengalami protonasi sehingga menjadi bermuatan

positif[5], sehingga terjadi tolak menolak antara adsorbat dan adsorben. Pada pH adsorpsi Ni(II) juga kecil. Hal ini dapat dijelaskan pada pH 7 ion logam Ni(II) berada pada spesies Ni(OH)₄²⁻ dan hibrida amino silika juga berada pada spesies negatif karena mengalami deprotonasi, sehingga terjadilah tolak menolak diantara keduanya.



Gambar 3. Spektra FTIR: (a) Silika gel; (b) HAS a; (c) HAS b

Adsorpsi ion logam Ni(II) dalam larutan yang mengandung ion logam pesaing Cr(III) pada semua satuan pH mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena adanya Cr(III) yang lebih bersifat asam keras. Menurut teori Pearson tentang asam basa keras lunak [3] asam keras cenderung berikatan lebih kuat dengan basa keras dan asam lunak cenderung berikatan lebih kuat dengan basa lunak. Dalam penelitian ini gugus NH₂ lebih cenderung bersifat basa keras yang afinitasnya lebih kuat untuk berikatan dengan ion logam Cr(III) daripada dengan Ni(II) yang merupakan asam madya. Buhani dan Suharso [18] telah berhasil mensintesis hibrida amino silika dari natrium silikat dan menggunakannya dalam adsorpsi multielemen Cu, Zn, Mn, dan Fe. Kapasitas adsorpsi ion logam dengan hibrida amino silika meningkat dengan urutan Cu²⁺ < Fe²⁺ < Zn²⁺ < Mn²⁺. Adanya ion logam lain dalam proses adsorpsi dapat menyebabkan kompetisi antar ion logam tersebut untuk menempati sisi aktif dari hibrida amino silika. Kompetisi antar ion logam tersebut dijelaskan melalui prinsip asam basa keras lunak Pearson, asam keras dan basa keras akan membentuk interaksi yang kuat.



Gambar 4. Grafik pengaruh pH sistem pada adsorpsi ion logam Ni(II) oleh hibrida amino silika

Tabel 2. Hasil Adsorpsi Ni(II) oleh HASa dan HASb

pH	Ni(II)		Ni(II) dalam Ni(II) Cr(III)	
	HASa(%)	HASb(%)	HASa(%)	HASb(%)
3	9,8125	37,9161	8,64583	28,4867
4	28,4685	39,3841	11,3225	29,8779
5	44,7685	48,2634	13,1833	48,7998
6	46,3512	66,5932	11,8155	46,0171
7	32,6275	59,7935	11,2660	33,4949

Penentuan Model Kinetika

Penentuan model kinetika adsorpsi dilakukan melalui dua tahap. Tahap pertama adalah penentuan adsorpsi ion logam Ni(II) dalam berbagai variasi waktu (5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, dan 120) yang menghasilkan data-data konsentrasi ion logam Ni(II) sisa. Tahap kedua yaitu penerapan data-data tahap pertama dengan persamaan (1) dan (2).

Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa adsorpsi ion logam Ni(II) oleh hibrida amino silika baik a maupun b mengikuti model kinetika orde satu mencapai kesetimbangan dengan koefisien determinasi 0,717 dan 0,818 dan masing-masing mempunyai harga konstanta laju reaksi yaitu 1×10^{-3} . Laju ini lebih cepat jika dibandingkan dengan laju adsorpsi ion logam Ni(II) oleh silika gel yang dilakukan Rahmawati [16] karena silika gel pada penelitian ini telah dimodifikasi oleh senyawa organik 3-aminopropil trietoksisilan dan menghasilkan senyawa hibrida amino silika. Modifikasi silika gel dengan 3-aminopropil trietoksisilan dapat meningkatkan konstanta laju adsorpsinya.

Tabel 3. Parameter kinetika adsorpsi Ni(II) oleh HAS a dan HAS b

Adsorben	Model Kinetika			
	Orde satu mencapai kesetimbangan		Pseudo second-order	
	k_s (min^{-1})	R^2	k_s (min^{-1})	R^2
HAS (a)	1×10^{-3}	0,717	1,418	0,551
HAS (b)	1×10^{-3}	0,818	305,6	0,548
Silika gel*	$9 \cdot 10^{-5}$	0,633	$4,6415 \cdot 10^{-14}$	0,999

Model kinetika orde satu mencapai kesetimbangan menunjukkan bahwa hibrida amino silika mengadsorpsi ion logam Ni(II) melalui tahap cepat, setelah tahap cepat selesai berlangsunglah tahap lambat [17]. Gugus yang berperan dalam tahap cepat adalah gugus $-\text{NH}_2$. Sementara pada tahap lambat gugus yang berperan adalah gugus fungsional $-\text{OH}$ pada silanol dan atom O pada siloksan [4]. Gugus fungsional $-\text{NH}_2$ dalam hibrida amino silika lebih bersifat basa daripada gugus fungsional $-\text{OH}$ pada silanol, sehingga gugus fungsional $-\text{NH}_2$ lebih efektif dalam berikatan dengan ion logam Ni(II). Sementara itu, atom O pada siloksan merupakan gugus fungsional tahap lambat karena selain kurang efektif dalam mendonorkan elektron keberadaannya yang terletak di dalam sehingga ion logam Ni(II) memerlukan waktu lama untuk mencapainya [4]. Selain itu model kinetika orde satu mencapai kesetimbangan umum digunakan oleh adsorben yang telah mengalami modifikasi gugus fungsional pada permukaan sisi aktifnya.

Berdasarkan Tabel 4 diketahui bahwa adsorpsi ion logam Ni(II) dalam larutan yang mengandung ion logam pesaing Cr(III) oleh hibrida amino silika baik HASa maupun HASb mengikuti model kinetika orde satu mencapai kesetimbangan dengan nilai determinasi 0,884 dan 0,912. Keduanya mempunyai harga konstanta laju reaksi yaitu $2 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$. Laju ini lebih besar jika dibandingkan dengan laju adsorpsi ion logam Ni(II) oleh silika gel dan lebih kecil jika dibandingkan dengan adsorpsi dengan larutan Ni(II) tunggal. Adanya ion logam Cr(III) sebagai ion logam pesaing diduga menjadi penyebab kecilnya konstanta laju adsorpsi jika

dibandingkan dengan adsorpsi ion logam Ni(II) tunggal.

Tabel 4. Parameter kinetika adsorpsi Ni(II) oleh HAS a dan HAS b dalam larutan yang mengandung ion logam pesaing Cr(III)

Adsorb en	Model Kinetika			
	Orde satu mencapai kesetimbangan		Pseudo second-order	
	k_s (min ⁻¹)	R ²	k_s (min ⁻¹)	R ²
HAS (a)	2×10^{-3}	0,884	72,14	0,075
HAS (b)	2×10^{-3}	0,912	0,3218	0,010
Silika Gel*	9×10^{-5}	0,633	$4,6415 \times 10^{-14}$	0,999

*[16]

Berdasarkan teori asam basa keras lunak (HASB) yang diungkapkan Pearson, diketahui bahwa gugus fungsional –OH dan –NH₂ merupakan golongan basa keras namun kebasaaan–NH₂ lebih besar daripada –OH pada silanol. Ni(II) merupakan golongan asam madya dan Cr(III) merupakan golongan asam keras sehingga hibrida amino silika lebih memiliki afinitas yang kuat untuk berikatan dengan Cr(III) daripada dengan Ni(II). Adsorpsi ion logam Ni(II) oleh hibrida amino silika dalam larutan yang mengandung ion logam pesaing Cr(III) mengikuti model kinetika orde satu mencapai kesetimbangan.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa hibrida amino silika proses sol gel dan grafting mempunyai persamaan spektra inframerah pada serapan pada 1641, 86 dan 1643,73 cm⁻¹ yang menunjukkan vibrasi tekuk –NH₂, serapan pada bilangan gelombang 2937,88 dan 2931, 42 cm⁻¹ yang menunjukkan vibrasi ulur –CH₂- dari aminopropil. Adsorpsi Ni(II) dengan dan tanpa adanya ion logam pesaing Cr(III) terjadi secara maksimum pada pH 6, namun pada adsorpsi dengan adanya pesaing Cr(III) mengalami penurunan jumlah Ni(II) yang teradsorpsi. Adsorpsi Ni(II) tanpa dan dengan ion logam pesaing mengikuti model kinetika orde satu mencapai kesetimbangan dengan konstanta laju reaksi masing-masing 2×10^{-3} (min⁻¹).

DAFTAR PUSTAKA

1. Amaria, S.E. Cahyaningrum, R. Agustini, 2006. *Imobilisasi Saccharomyces cerevisiae Limbah Fermentasi Industri Bir melalui Pembentukan Sol Gel Silika dan Aplikasinya Untuk Adsorpsi Kation-kation Logam Berat*, Laporan Penelitian Hibah Pekerti Tahun II, Lembaga Penelitian, Universitas Negeri Surabaya.
2. Jal, P.K, Patel, s., and Mishra, B.K. 2004. Chemical Modification of Silica Surface by Immobilization of Functional Groups for Extractive Concentration of Metal Ions. *Talanta* 62, 1005-1028.
3. Sriyanti dan Taslimah. 2005. Sintesis Bahan Hibrida Amino Silika Dari Abu Sekam Padi Melalui Proses Sol Gel. *JKSA Vol. VIII, No. 1*.
4. Nuryono, Dewi. L, Kurniasari. MR, dan Narsito. Adsorpsi Zn(II) dan Cd(II) pada hibrida amino silika dari abu sekam padi. *UGM, Yogyakarta*.
5. Buhani, Narsito, Kunarti, Sri Eko., 2009. Amino and Mercapto-Silica Hybrid for Cd(II) Adsorption in Aqueous Solution. *Indo. J. Chem., 9(2), 170 – 176*.
6. Nuryono. 2010. Peranan Kimia dalam Pengembangan Teknologi Material Berbasis Silika. Pidato Pengukuhan Guru Besar pada Ilmu Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Madah. Yogyakarta.
7. Amaria, Nuryono, Kurnati. Eko Sri. 2007. Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Hibrida Silika Amino dari Abu Sekam Padi. *Jurnal Penelitian Matematika dan Sains Vol. 14, No. 1, Universitas Negeri Surabaya Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*.
8. Goswami, A., Singh, A.K., Venkataramani, B. 2003. 8-Hidroxyquinolin anchored to Silica Gel Via New Moderate Size Linker: Synthesis and Application as Metal Ion Collector for Their Flame Atomic Absorption Spectrometric Determination. *Talanta* 60: 1141-1154.
9. Nuryono, Suyanta, Narsito. 2005. Kinetics of Zn(II) and Cd(II) Adsorption on Mercaptopropyl Silica Hybrid Synthesized From Rice Husk Ash. *International Seminar on Enviromental Chemistry and Toxycology, Yogyakarta, Indonesia, April 26-27*

10. Santosa, S.J., Siswanta, D., Kurniawan, A., Rahmanto, W.H., 2007. Hybrid of Chitin and Humic Acid as High Performance Sorbent for Ni(II). *Surface Science*. 04.163.
11. Ho, Y.S. and McKay. 1999. Pseudo Second-Order Model for Sorption Processes. *Process Biochemistry* 34, 451-465.
12. Ho, Yuh-Shan. 2006. Review of Second-Order Models for Adsorption Systems. *Journal of Hazardous Materials B136 (2006) 681-689*.
13. Sastroamidjojo, Hardjono. 1992. *Spektroskopi*. Yogyakarta: Liberty.
14. Waseem. M, Mustofa. S, Naeem. A, Shah Kh, Shah, Irfan. 2009. Synthesis and Characterization of Silica by Sol Gel Method. *J Park Mater Soc* 3 (1).
15. Plyasunova, Natalia V., Yu Zhang and Mamoun Muhammed. 1997. Critical evaluation of Thermodynamics of Complex Formation of Metal Ions in Aquos Solutin. IV Hydrolysis and Hydroxo-Complexes of Ni^{2+} at 298, 15 K. Sweden: Departement of Material Chemistry, *Royal Institute of Technology, S-100 44 Stockholm*.
16. Rahmawati, Emilia. 2011. *Modifikasi Silika Gel Menggunakan 8-Hidroksi quinolin dan Kinetika Adsorpsinya Terhadap Ion Logam Ni(II) dalam Larutan*. Skripsi yang tidak dipublikasikan Jurusan Kimia FMIPA, UNESA, Surabaya.
17. Nuryono, Susanti VVH, Narsito. 2003. Kinetic Study on Adsorption of Chromium(III) to Diatomaceous Earth Pre-Treated with Sulfonic and Hydrochloric Acids. *Indo J Chem* 3:32-38
18. Buhani and Suharso. 2006. The Influence of pH Towards Multiple Metal Ion Adsorption of Cu(II), Zn(II), Mn(II), and Fe(II) on Humic Acid. *Indo. J. Chem.*, 6(1) 43- 46.