

## ADSORPSI ION EMAS(III) DALAM SISTEM MULTIOLOGAM Au/Ni/Ag

<sup>1</sup>Julita Manuhutu, <sup>2</sup>Nuryono, Sri Juari Santosa

<sup>1</sup>Department of Chemistry, FKIP, Pattimura University, Poka-Ambon

<sup>2</sup>Departement of Chemistry, FMIPA, Gadjah Mada University - Ambon

Diterima 7 Maret 2012/Disetujui 29 April 2011

### ABSTRACT

Sorption of gold(III) ion in multi-metal system Au/Ni/Ag on amino silica hybrid (ASH) column has been studied. ASH was synthesized by sol gel process with sodium silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) from rice husk ash (RHA) as precursor. ASH was synthesized by adding 3M of hydrochloride acid solution to the mixture of (3-aminopropyl)-trimethoxysilane and  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  solution until pH 7 (neutral). ASH was characterized by infrared (IR) spectroscopy and X-ray diffraction (XRD). Adsorption of multi-metal (Au/Ni/Ag) system was carried out with a column technique. The adsorbed metal ions [Au(III), Ni(II), and Ag(I)] were quantitatively calculated based on the difference of metal ion concentration before and after adsorption analyzed using atomic absorption spectroscopy (AAS). Desorption of Au(III), Ni(II), and Ag(I) from ASH was conducted by using thiourea in hydrochloride solution with variation of concentration. Desorbed metal ions were determined using AAS. The FTIR characterization indicated that ASH was successfully synthesized, as shown with the presence of specific absorption of functional groups such as silanol (Si-OH), siloxane (Si-O-Si), amino ( $-\text{NH}_2$ ), dan methylene ( $-\text{CH}_2-$ ). The XRD data showed that the structure of ASH was amorphous. Study of adsorption Au(III) on HSA column indicated that the Au(III) was adsorbed more than the other two metal ions.

**Keywords:** adsorption, desorption, gold, amino, silica

### ABSTRAK

Telah dilakukan kajian sorpsi ion emas (III) dalam sistem multilogam Au/Ni/Ag pada kolom hibrida amino silika (HAS) yang disintesis melalui proses sol gel dengan menggunakan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dari abu sekam padi sebagai prekursor. HAS disintesis dengan cara menambahkan larutan HCl 3M pada campuran (3-aminopropil)-trimetoksisilan dan  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  hingga pH 7 (netral). HAS dikarakterisasi dengan menggunakan spektroskopi inframerah (IR) dan difraktometri sinar-X (XRD). Adsorpsi-desorpsi sistem multilogam dilakukan dengan teknik kolom. Jumlah ion logam Au(III), Ni(II), Ag(I) yang teradsorpsi ditentukan secara kuantitatif berdasarkan selisih ion logam sebelum dan sesudah adsorpsi yang dianalisis dengan spektroskopi serapan atom (SSA). Desorpsi dilakukan terhadap ion logam dari HAS menggunakan larutan tiourea dalam HCl dengan variasi konsentrasi. Total logam terdesorpsi dihitung berdasarkan hasil analisis dengan SSA. Hasil karakterisasi dengan spektroskopi FTIR mengindikasikan keberhasilan pembuatan HAS dengan munculnya serapan dari gugus-gugus fungsional seperti silanol (Si-OH), siloksan (Si-O-Si), amino ( $-\text{NH}_2$ ), dan metilen ( $-\text{CH}_2-$ ). Data XRD menunjukkan bahwa HAS yang terbentuk mempunyai struktur amorf. Kajian adsorpsi Au(III) pada kolom HAS menunjukkan bahwa Au(III) teradsorpsi lebih banyak dibandingkan kedua ion logam yang lain.

### PENDAHULUAN

Emas merupakan logam mulia yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Emas tidak hanya digunakan sebagai bahan untuk perhiasan tetapi emas digunakan secara luas dalam berbagai bidang, seperti sebagai katalis, industri listrik dan elektronik, dan bahan tahan korosi disebabkan karena sifat fisika

dan kimianya yang spesifik (Peng dkk., 2009). Kebutuhan yang tinggi akan emas dan cadangan emas yang makin menipis menyebabkan kita harus melakukan *recovery* emas dari sumber-sumber sekunder seperti limbah elektronik dan limbah pertambangan yang masih mengandung emas harus dilakukan (Sakti, 2010).

Namun, untuk *recovery* emas dari sumber-sumber sekunder tersebut memiliki kelemahan yaitu kandungan emas dalam limbah elektronik dan pertambangan yang kecil dan masih berada dalam bentuk campuran logam. Peralatan analisis telah banyak berkembang untuk penentuan kandungan logam, namun kandungan logam dalam sampel yang lebih rendah dari batas deteksi teknik instrumental dapat menjadi masalah utama penentuan kadar logam tersebut (Rastegarzadeh, 2010).

Dengan demikian, diperlukan *pre-treatment* sampel untuk pemisahan dan prekonsentrasi. Ekstraksi fasa padat merupakan salah satu metode prekonsentrasi dan pemisahan logam yang telah banyak digunakan karena selektivitas tinggi, tidak menyebabkan adanya emulsi, ekonomis, sederhana, aman terhadap sampel berbahaya, dan cepat (Jiang dkk., 2006).

Metode ekstraksi fasa padat ini digunakan untuk adsorpsi secara selektif menggunakan adsorben antara lain berbasis silika, alumina (zeolit), dan tanah diatomae. Dari padatan anorganik yang disebutkan di atas, silika gel adalah padatan pendukung yang ideal untuk teknik ekstraksi fasa padat karena stabil dalam kondisi asam, *non swelling*, memiliki *mass exchange* yang tinggi, porositas tinggi, luas permukaan besar, dan stabil pada temperatur tinggi (Buhani dkk., 2010).

Adsorben silika gel dapat dibuat dari prekursor natrium silikat yang berasal abu sekam padi. Abu sekam padi berasal dari pembakaran sekam padi yang merupakan salah satu limbah proses pengolahan padi. Sekam padi merupakan limbah pertanian yang melimpah di Indonesia. Kelimpahan yang besar ini merupakan alasan pengembangan silika gel sebagai adsorben alternatif untuk emas.

Namun demikian kemampuan gugus aktif pada silika gel dalam mengikat ion logam berat tertentu kurang efektif. Rendahnya efektivitas silika gel untuk adsorpsi ion logam tertentu disebabkan oleh interaksi ion-ion logam dengan permukaan silika gel agak lemah. Upaya yang dilakukan untuk memperoleh material sesuai dengan yang diharapkan adalah dengan memodifikasi gugus aktif pada silika gel sehingga mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi desorpsi ion-ion logam.

Modifikasi silika gel untuk adsorpsi emas telah dilakukan oleh Tong dkk. (1990) yang memodifikasi silika gel dengan  $\gamma$ -aminopropiltrimetoksisilan untuk prekonsentrasi Au(III), Pt(IV), dan Pd(II), selain itu Bozkurt dan Merdivan (2008) juga memodifikasi silika gel menggunakan benzoylthiourea. Modifikasi silika gel dengan senyawa 3-aminopropil-trimetoksisilan menghasilkan hibrida amino silika telah dilakukan Limatahu (2007) untuk adsorpsi Ag(I), Ni(II), Cu(II), Pb(II) dan Cr(III) dan Sakti (2010) untuk adsorpsi ion Au(III).

Dalam penelitian ini dilakukan modifikasi permukaan silika gel dengan menggunakan senyawa (3-aminopropil)-trimetoksisilan dan natrium silikat yang berasal dari hasil peleburan abu sekam padi melalui proses sol gel. Hibrida amino silika yang dihasilkan diharapkan dapat meningkatkan selektivitas silika gel terhadap adsorpsi ion emas (III) dalam sistem multilogam Au/Ni/Ag. Menurut Lam dkk. (2008), pada keadaan asam gugus amino yang berasal dari aminopropil trimetoksisilan akan terprotonasi menjadi  $-\text{NH}_3^+$  dan Au(III) berada dalam bentuk  $\text{AuCl}_4^-$ , menyebabkan adanya interaksi elektrostatik antara  $-\text{NH}_3^+$  dan  $\text{AuCl}_4^-$ .

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini antara lain natrium silikat hasil penelitian Sakti (2010) yang disintesis dari abu sekam padi yang berasal dari kawasan pertanian di daerah Gunung Kidul Yogyakarta, akuades, larutan HCl 3M, 3-aminopropiltrimetoksisilan, indikator pH universal, akuademineralisasi, dan kertas saring Whatman no. 42. Larutan H<sub>2</sub>AuCl<sub>4</sub>, etanol 70%, tiourea, larutan induk Ni(II), larutan induk Ag(I).

Alat yang diperlukan untuk penelitian Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) (Perkin Elmer 3110), Difraktometer Sinar-X (Shimadzu 6000), Spektrofotometer Inframerah (Shimadzu FTIR-Prestige 21), kolom EFP (ukuran diameter 0,5 cm dan panjang 10 cm), ayakan ukuran 200 mesh (Retsch AS 200 Basic), tungku pemanas (Nabertherm L3/R), oven (Heraeus B5050), pengaduk magnetik (Thermolyne Cimarec 2), timbangan analitik (AND GR-200), pompa vakum, alat penggerus, corong Buchner, peralatan gelas dan plastik.

### Prosedur Kerja

#### Sintesis dan karakterisasi adsorben (hibrida amino silika)

Sebanyak 100 mL larutan natrium silikat hasil peleburan dari abu sekam padi dimasukkan dalam wadah plastik, kemudian ditambahkan 10 mL aminopropiltrimetoksisilan dan diaduk. Larutan HCl 3M tetes demi tetes ditambahkan hingga pH 7. Gel yang terbentuk kemudian didiamkan selama 3 hari, dibilas dengan menggunakan akuademineralisasi, dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 70°C. Padatan yang terbentuk kemudian digerus dan diayak dengan ayakan berukuran 200 mesh. Hibrida amino silika yang terbentuk kemudian dikarakterisasi kristalinitasnya dengan menggunakan difraktometer sinar-X dan gugus fungsional dengan menggunakan spektrofotometer FTIR.

#### Adsorpsi multilogam pada hibrida amino silika dalam kolom

**Pengepakan (*packing*) Kolom.** Kolom SPE kosong dan filter yang akan digunakan dicuci dengan akuades dan metanol. Setelah itu 0,5 g adsorben (HAS) dan 5 mL etanol 70% ditempatkan pada wadah plastik dan dihomogenkan dalam ultrasonic *batch* selama 5 menit. Adsorben yang telah dihomogenkan kemudian dialirkan dalam kolom dengan bantuan pompa vakum (laju alir rata-rata 1 mL/menit) sampai kondisi yang sesuai menempati kolom dan homogen. Bagian atas ditutup lagi dengan filter (*fritz*).

**Proses *Loading* Larutan Multilogam.** Larutan multilogam Au(III), Ag(I), Ni(II) 10 ppm sebanyak 10 mL dialirkan ke dalam kolom dengan laju alir rata-rata 1 mL/menit. Hasil larutan yang mengalir ditampung untuk dianalisis dengan AAS. Proses ini dilakukan sebanyak tiga kali tahapan dan dilakukan untuk tiga kolom.

## HASIL PENELITIAN

### 1. Sintesis Hibrida Amino Silika melalui Proses Sol-Gel

Proses pembuatan dan mekanisme reaksi hibrida amino silika yang dilakukan merujuk pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Limatahu (2007) dan Sakti (2010). Pembuatan hibrida amino silika dilakukan melalui proses sol gel dengan menambahkan larutan (3-aminopropil)-

trimetoksisilan pada larutan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) yang berasal dari hasil peleburan abu sekam padi. Campuran tersebut kemudian diasamkan dengan menambahkan larutan HCl 3M tetes demi tetes sampai pH 7. Menurut penelitian Kalapathy dkk. (2002), kadar Si dari silika gel yang dibuat dengan HCl lebih besar dibandingkan dengan silika gel yang dibuat dari asam lain seperti asam oksalat dan asam sitrat.

Pada akhir tahap ini akan terbentuk akuagel, yaitu gel yang pori-porinya masih mengandung air. Akuagel kemudian dicuci dengan menggunakan akuademineralisasi untuk menghilangkan garam NaCl yang kemungkinan terjebak dalam pori-pori silika. Akuagel kemudian dikeringkan dalam oven pada temperatur  $70^\circ\text{C}$ . Padatan yang didapat merupakan xerogel hibrida amino silika (HAS) seberat 13,76 gram.

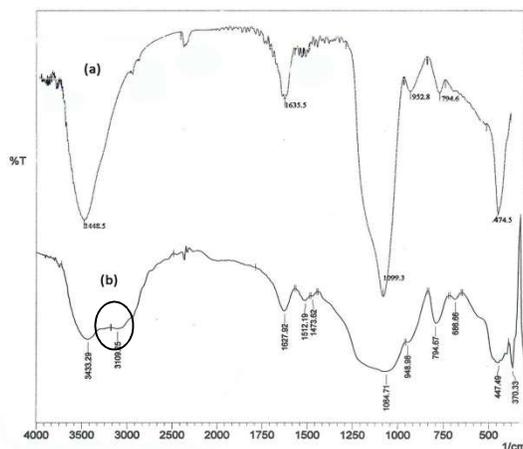
## 2. Karakteristik Hibrida Amino Silika

### Spektrometri inframerah

Metode spektroskopi inframerah dilakukan untuk mengidentifikasi gugus-gugus fungsional yang terdapat dalam hibrida amino silika hasil sintesis. Spektra hibrida amino silika hasil sintesis dibandingkan dengan spektra silika gel (Limatahu, 2007) disajikan pada Gambar 1.

Gambar 1 (a) merupakan spektra silika gel dan Gambar 2 (b) merupakan spektra inframerah dari hibrida amino silika hasil sintesis. Pada spektra 2(b) masih terlihat keberadaan gugus silanol dan siloksan tetapi dengan intensitas serapan yang berbeda dari silika gel. Perubahan ini disebabkan adanya penambahan senyawa organik (3-aminopropil)-trimetoksisilan. Penambahan senyawa ini menyebabkan munculnya serapan baru pada  $3109,25\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi ulur  $-\text{NH}$  dan pada bilangan gelombang  $1512,19\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi tekuk  $-\text{NH}$  dari amin primer.

Pita serapan yang melebar  $3433,29$  sampai  $3109,25\text{ cm}^{-1}$  diduga merupakan serapan dari gugus  $-\text{OH}$  silanol yang tumpang tindih dengan gugus  $-\text{NH}$ . Selain itu juga muncul serapan pada daerah  $2900\text{ cm}^{-1}$  (yang dilingkari) dan pada daerah  $1473,62\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi ulur  $-\text{C}-\text{H}$  dan  $-\text{C}-\text{C}-$  dari  $(-\text{CH}_2-)$  alifatik. Untuk gugus siloksan terlihat serapan pada bilangan gelombang  $794,67\text{ cm}^{-1}$  dan  $447,49\text{ cm}^{-1}$  adalah vibrasi ulur asimetris Si-O dan vibrasi tekuk Si-O-Si dari gugus siloksan. Gugus siloksan juga terdapat pada bilangan gelombang  $1064,71\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan serapan kuat dan tajam dari vibrasi ulur simetris Si-O.

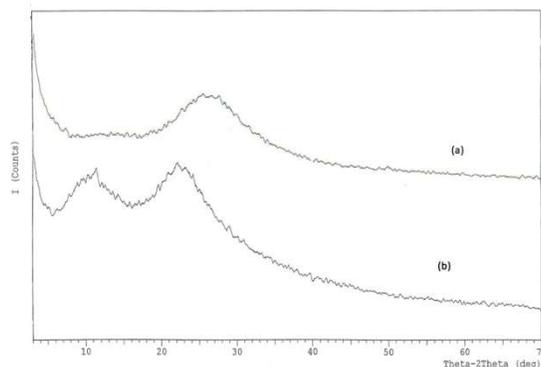


Gambar 1. Spektra IR (a) silika gel (Limatahu, 2007), (b) hibrida amino silika hasil sintesis

Intensitas serapan gugus silanol pada hibrida amino silika lebih kecil bila dibandingkan dengan silika gel, hal ini terjadi karena berkurangnya jumlah gugus silanol akibat terjadi kondensasi dengan senyawa organik (3-aminopropil)-trimetoksisilan. Dari hasil interpretasi spektra infra merah tersebut, dapat disimpulkan bahwa hibrida amino silika telah berhasil disintesis.

### Difraksi sinar-X

Karakterisasi dengan metoda difraksi sinar-X memberikan informasi mengenai struktur padatan yang dianalisis berupa pola difraksi yang sesuai dengan tingkat kristalinitasnya. Hasil karakterisasi hibrida amino silika hasil sintesis menggunakan metoda difraksi sinar-X disajikan pada Gambar 5.5.



Gambar 2. Difraktogram sinar-X (a) silika gel (Limatahu, 2007),  
(b) hibrida amino silika

Pada Gambar 2 (a) terlihat bahwa muncul puncak melebar pada sudut  $20-24^\circ$  dan pada Gambar 2 (b) juga terlihat puncak melebar pada sudut difraksi  $22^\circ$  yang menunjukkan bahwa silika gel dan hibrida amino silika hasil sintesis memiliki pola struktur amorf. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kalapathy dkk. (2002) yang menyatakan bahwa silika dengan puncak melebar pada sudut difraksi sekitar  $22^\circ$  menunjukkan struktur amorf. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi permukaan silika gel tidak mengakibatkan perubahan kristalinitas. Silika dengan struktur yang amorf cocok untuk diaplikasikan sebagai adsorben karena memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan silika yang memiliki struktur teratur.

### 3. Kajian Adsorpsi Ion Au(III) dalam Sistem Multilogam Au/Ni/Ag pada Hibrida Amino Silika

Proses adsorpsi terhadap ion Au(III) dalam sistem multilogam Au/Ag/Ni dilakukan pada adsorben HAS dengan menggunakan teknik kolom ekstraksi fasa padat. Kecepatan laju alir dijaga dengan rata-rata kecepatan 1 mL/menit. Selain itu juga perlu diperhatikan agar adsorben dalam kolom tidak dalam keadaan kering, karena akan mengganggu proses adsorpsinya.

Proses adsorpsi Au(III) dalam sistem multilogam Au/Ni/Ag pada hibrida amino silika (HAS) merupakan sistem simultan, sehingga pada saat interaksi akan terjadi kompetisi antara ion-ion logam tersebut untuk menempati situs-situs aktif pada adsorben. Pada Tabel 1 terlihat bahwa, total logam teradsorpsi dalam larutan multilogam Au/Ni/Ag secara berurutan adalah  $\text{Au(III)} > \text{Ag(I)} > \text{Ni(II)}$ . Pada penelitian ini, pH larutan yang multilogam yang digunakan untuk proses adsorpsi adalah 4. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya Sakti (2010) yang melaporkan bahwa kemampuan adsorpsi

maksimum Au(III) pada hibrida amino silika terjadi antara pH 3-5. Pada kisaran pH ini, gugus amino ( $-NH_2$ ) pada struktur hibrida amino silika akan terprotonasi membentuk gugus amonium ( $-NH_3^+$ ) dan ion Au(III) berada dalam bentuk  $AuCl_4^-$  (Lam dkk. 2008). Muatan berlawanan yang dimiliki oleh adsorben dengan adsorbat menyebabkan terjadinya interaksi antara adsorben dan ion Au(III). Ion emas dapat teradsorpsi melalui interaksi ionik maupun reaksi kompleksasi. Hal inilah yang menyebabkan Au(III) teradsorpsi lebih banyak daripada Ni(II) dan Ag(I).

Dalam penelitian ini adsorpsi multilogam Au(III), Ni(II) dan Ag(I) dilakukan dalam medium air sehingga memiliki kecenderungan membentuk kompleks akua oktahedral dari masing-masing ion logam Ag dan Ni. Ion Au (III) larut dalam larutan HCl membentuk kompleks  $AuCl_4^-$  sedangkan Ni(II) dan Ag(I) membentuk kompleks masing-masing  $[Ni(H_2O)_6]^{2+}$ ,  $[Ag(H_2O)_6]^+$  (Hamdiani, 2010).

Muatan Ni(II) dan Ag(I) yang sama dengan muatan amonium diharapkan dapat menyebabkan tolakan sehingga Ni(II) dan Ag(I) tidak teradsorpsi. Namun, pada Tabel 1 terlihat bahwa ion logam Ag(I) dan Ni(II) masih teradsorpsi dengan presentase 90%. Hal ini kemungkinan disebabkan karena tidak semua gugus amina terprotonasi menjadi amonium dan karena adanya variasi gugus aktif pada permukaan hibrida amino silika karena proses kondensasi yang tidak berlanjut.

Tabel 1. Jumlah ion logam yang teradsorpsi pada adsorben

Kolom	Jenis Ion Logam	Jumlah Ion Logam (mg)		% Teradsorp
		Awal	Teradsorp	
I	Au(III)	0,41	0,41	<b>98,71</b>
	Ni(II)	0,42	0,39	<b>92,02</b>
	Ag(I)	0,38	0,37	<b>98,23</b>
II	Au(III)	0,41	0,40	<b>98,35</b>
	Ni(II)	0,42	0,40	<b>93,80</b>
	Ag(I)	0,38	0,37	<b>97,97</b>
III	Au(III)	0,40	0,40	<b>99,83</b>
	Ni(II)	0,48	0,48	<b>99,43</b>
	Ag(I)	0,38	0,38	<b>99,79</b>

Kemungkinan pertama yaitu gugus amina tidak semuanya terprotonasi menyebabkan terjadinya reaksi antara gugus amina dengan ion logam. Ion logam dalam bentuk kompleks akua oktahedral,  $[M(H_2O)_6]^{n+}$  bereaksi dengan  $NH_2$  pada hibrida amino silika. Kemungkinan selanjutnya yaitu variasi gugus aktif pada permukaan HAS akibat proses kondensasi yang tidak berlanjut hingga tahap akhir sehingga masih ada gugus silanol. Adsorpsi ion logam juga masih dapat terjadi pada situ aktif silanol. Keberadaan gugus silanol ini menyebabkan terjadinya adsorpsi ion Ag(I) dan Ni(II) pada hibrida amino silika. Adanya ligan  $H_2O$  yang terikat pada ion logam Ni(II) dan Ag(I) memungkinkan terjadinya ikatan antara oksigen dari ligan  $H_2O$  dari kompleks logam-logam tersebut dengan atom H pada gugus silanol. Ikatan hidrogen dapat juga terjadi antara oksigen pada gugus siloksan dengan atom H dari ligan  $H_2O$  yang terikat pada Ag(I) dan Ni(II). Hal inilah yang menyebabkan Ni(II) dan Ag(I) dapat teradsorpsi pada HAS.

Pada tabel dapat dilihat bahwa kemampuan adsorpsi Ni(II) lebih kecil dari Ag(I). Hal ini disebabkan: ukuran ion Ag(I) lebih besar daripada Ni(II). Dalam bentuk terhidrat, interaksi elektrostatik antara ion logam dengan H<sub>2</sub>O menyebabkan jari-jari hidrasi menjadi kecil (jika jari-jari ionnya besar), sehingga ukuran logam terhidrat [Ag(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub>]<sup>+</sup> lebih kecil daripada [Ni(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub>]<sup>2+</sup> dan menyebabkan mobilitas dalam air akan lebih cepat (tinggi) maka memiliki kemampuan adsorpsi lebih besar.

## KESIMPULAN

1. Penambahan senyawa (3-aminopropil)-trimetoksisilan pada natrium silikat menyebabkan terbentuknya hibrida amino silika melalui proses sol-gel.
2. Pada keadaan asam, gugus amino terprotonasi menjadi gugus NH<sub>3</sub><sup>+</sup> dan Au(III) berada dalam bentuk AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup> menyebabkan terjadinya interaksi elektrostatik sehingga terjadi adsorpsi Au(III).

## DAFTAR PUSTAKA

- Bozkurt, S.S., Merdivan, M., 2009, Solid Phase Extraction of Gold (III) on Silica Gel Modified With Benzoylthiourea Prior to Its Determination by Flame Atomic Absorption Spectrometry, *Environ. Monit. Assess.*, 158, 15-21
- Brinker, C.J., dan Scherer, W. J., 1990, *Sol Gel Science: The Physics and Chemistry Sol-Gel Processing*, Academic Press, San Diego
- Buhani, Narsito, Nuryono, Kunarti, E.S., 2009, Amino and Mercapto-Silica Hybrid for Cd(II) Adsorption in Aqueous Solution, *Indo. J. Chem*, 9(2), 170-176
- Buhani, Narsito, Nuryono, Kunarti, E.S., 2010, Production of Metal Ion Imprinted Polymer From Mercapto-Silica through Sol-Gel Process as Selective Adsorbent of Cadmium, *Desalination*, 251, 83-89
- Deschenes, G., 1998, Leaching of Gold from a Chalcopyrite Concentrate by Thiourea, *Hydrometallurgy*, 20, 179-202
- Hamdiani S., 2010, Adsorpsi-Desorpsi dan Selektivitas Hibrida Merkapto Silika terhadap Ion Emas (III) dalam Sistem Multilogam Au/Cu, Au/Ni, dan Au/Cu/Ni, *Tesis*, Program Pascasarjana, FMIPA UGM, Yogyakarta
- Huheey, E.J., Keiter. E.A., Keiter, R.L., 1993, *Inorganic Chemistry Principle of Structure and Reactivity 4<sup>th</sup> edition*, Harper Collins College Publisher, New York
- Jiang, N., Chang, X., Zheng, H., Hea, Q., Hua, Z., 2006, Selective Solid-Phase Extraction of Nickel(II) Using a Surface-Imprinted Silica Gel Sorbent, *Anal. Chim. Acta.*, 577, 225-231
- Kalapathy, U., Proctor, A., Shultz, J., 2002, An Improved Method for Production of Silica From Rice Hull Ash, *Bioresource Technology.*, 85, 285-289
- Lacoste-Bouchet, P., Deschnes, G., Ghali, E., 1998, Thiourea Leaching of a Copper-Gold Ore Using Statistical Design, *Hydrometallurgy*, 47, 189-203
- Lam, K.F., Fong, C.M., Yeung, K.L, Mckay, G., 2008, Selective Adsorption of Gold from Complex Mixtures Using Mesoporous Adsorbent, *J. Chem. Eng.*, 145, 185-195
- Li, J., dan Miller, J.D., 2007, Reaction Kinetics of Gold Dissolution in Acid Thiourea Solution Using Ferric Sulfate as Antioxidant., *Hydrometallurgy*, 89, 279-288

- Limatahu, N.A., 2007, Kajian Adsorpsi Multilogam Ag(I), Ni(II), Cu(II), Pb(II) dan Cr(III) pada Hibrida Amino Silika dari Abu Sekam Padi, *Tesis*, Program Pascasarjana, FMIPA UGM, Yogyakarta
- Martell, E.A., dan Hancock, R.D., 1996, *Metal Complexes in Aqueous Solution*, Plenum Press, New York
- Nuryono, Kunarti, E.S., 2009, *Teknologi sol-gel, modifikasi silika dan aplikasinya*, Kelompok Material Jurusan Kimia FMIPA UGM, Yogyakarta
- Oscik, J., 1982, *Adsorption*, John Willey and Sons, New York
- Peng, L., Guang-feng, L., Da-lin, C., Shao-yi, C., Ning, T., 2009, Adsorption Properties of Ag(I), Au(III), Pd(II) and Pt(IV) Ions on Commercial 717 Anion-Exchange Resin, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China.*, 19, 1509-1513
- Sastrohamidjojo, H., 1992, *Spektroskopi Infra Merah*, Liberty, Yogyakarta
- Sakti, S.C.W., 2010, Sintesis dan Karakterisasi Hibrida Amino Silika Tercetak Ionik Sebagai Adsorben Ion Au(III), *Tesis*, Program Pascasarjana, FMIPA UGM, Yogyakarta
- Taslimah, S., Nuryono, Narsito, 2005, Sintesis bahan hibrida amino-silika dari abu sekam padi melalui proses sol gel, *JKSA*, 8(1)
- Tong, A., Akama, Y., 1990, Selective Preconcentration of Au( III), Pt( IV) and Pd( II) on Silica Gel Modified with  $\gamma$ -aminopropyltriethoxysilane, *Anal. Chim. Acta.*, 230, 179-181
- Walcarius, A., Etienne, M., Bessie`re, J., 2002, Rate of Access to the Binding Sites in Organically Modified Silicates. 1. Amorphous Silica Gels Grafted with Amine or Thiol Groups, *Chem. Mater.*, 14, 2757-2766