

DESORPSI ION EMAS(III) DALAM SISTEM MULTILOGAM Au/Ni/Ag DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI TIOUREA-HCl

Julita Manuhutu¹, Nuryono², Sri Juari Santosa²

¹Department of Chemistry, FKIP, Pattimura University, Poka - Ambon

²Departement of Chemistry, FMIPA, Gadjah Mada University – Yogyakarta

Diterima 22 September 2017/Disetujui 25 Oktober 2017

ABSTRACT

Desorption of gold(III) in multi-metal system Au/Ni/Ag on amino silica hybrid (ASH) column have been studied. ASH was synthesized by sol gel process with sodium silicate (Na_2SiO_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 Na_2SiO_3 solution until pH 7 (neutral). ASH was characterized by infrared spectroscopy (IR) and X-ray diffraction (XRD). Adsorption of multi-metal (Au/Ni/Ag) was carried out with a column technique. The adsorbed metal ions [Au(III), Ni(II), and Ag(I)] were quantitatively using atomic absorption spectroscopy (AAS). Desorption of Au(III), Ni(II), and Ag(I) at ASH was conducted by using thiourea in hydrochloride solution with variation of concentration. Total desorption of metal ions was calculated based on AAS analysis. For desorption of multi-metal (Au / Ni / Ag), Au (III) was eluted using 1M HCl is 16,60%; using 0,5 M thiourea in 1M HCl is 57,45%, and with 1M thiourea in 1M HCl is 59,12%.

Keywords: *desorption, gold, amino, silica*

ABSTRAK

Telah dilakukan kajian desorpsi 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 (Na_2SiO_3) dari abu sekam padi sebagai prekursor. HAS disintesis dengan cara menambahkan larutan HCl 3M pada campuran (3-aminopropil)-trimetoksisilan dan Na_2SiO_3 hingga pH 7 (netral). HAS dikarakterisasi dengan menggunakan spektroskopi inframerah (IR) dan difraktometri sinar-X (XRD). Desorpsi sistem multilogam dilakukan dengan teknik kolom. Jumlah ion logam Au(III), Ni(II), Ag(I) yang teradsorpsi ditentukan 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. Untuk desorpsi multilogam Au/Ni/Ag, Au(III) yang dielusi dengan HCl 1M sebanyak 16,60%; dengan tiourea 0,5M dalam HCl 1M sebanyak 57,45% dan dengan eluen tiourea 1M dalam HCl 1M sebanyak 59,12%. Stabilitas HAS masih tetap konstan sampai penggunaan ketiga.

Kata kunci: *desorpsi, emas, amino, silika*

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 γ -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. 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 AuCl_4^- , menyebabkan adanya interaksi elektrostatik antara $-\text{NH}_3^+$ dan AuCl_4^- .

Desorpsi yang dilakukan bertujuan untuk melepaskan logam yang terikat pada adsorben. Menurut Lacoste-Bouchet dkk. (1998) desorpsi atau *leaching* emas dalam industri dan tambang umumnya menggunakan sianida sebagai larutan pendesorpsi, tapi sianida mempunyai banyak kelemahan, antara lain tidak ramah lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan manusia sehingga penggunaannya dibatasi. Hal ini menyebabkan dikembangkannya eluen yang lebih ramah lingkungan dan tidak berbahaya bagi manusia. Salah satu eluen yang saat ini banyak digunakan adalah larutan tiourea.

Desorpsi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk *recovery* dan regenerasi adsorben yang telah digunakan. Dalam penelitian ini juga dikaji desorpsi Au(III) dalam sistem multilogam Au/Ni/Ag pada hibrida amino silika.

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 H₂AuCl₄, 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.

Desorpsi 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*).

Desorpsi multilogam dari hibrida amino silika. Setelah proses *loading* ion logam, dilakukan proses desorpsi dengan eluen berbeda. Kolom I yang telah dibebankan sampel larutan multilogam kemudian dialiri dengan eluen tiourea 1M dalam HCl 0,5M sebanyak 3 kali tahapan, masing-masing 10 mL aliran per tahapan. Hasil elusi (eluat) ditampung dalam wadah plastik dan selanjutnya dianalisis dengan AAS. Kolom II juga dilakukan elusi dengan cara yang sama dengan menggunakan eluen tiourea 1M dalam HCl 1M. Kolom III dilakukan elusi secara skuensing yaitu dengan menggunakan eluen berturut-turut HCl 1M, tiourea 0,5M dalam HCl 1M, tiourea 1M dalam HCl 1M.

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 (Na_2SiO_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°C . Padatan yang didapat merupakan xerogel hibrida amino silika (HAS) seberat 13,76 gram.

2. Karakteristik Hibrida Amino Silika

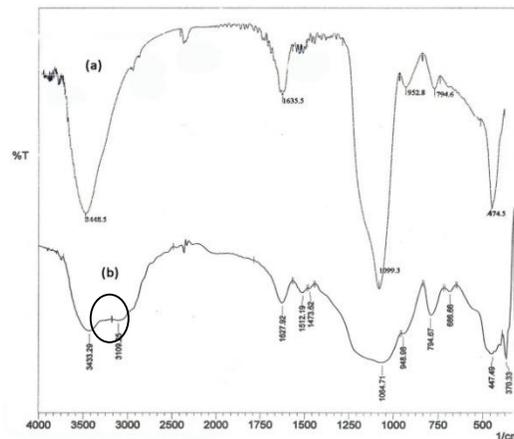
Spektrometri inframerah

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 -NH dan pada bilangan gelombang $1512,19\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi tekuk -NH dari amin primer.

Pita serapan yang melebar $3433,29$ sampai $3109,25\text{ cm}^{-1}$ diduga merupakan serapan dari gugus -OH silanol yang tumpang tindih dengan gugus -NH . Selain itu juga muncul serapan pada daerah 2900 cm^{-1} (yang dilingkari) dan pada daerah $1473,62\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi ulur -C-H dan -C-C- dari $(\text{-CH}_2\text{-})$ 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.

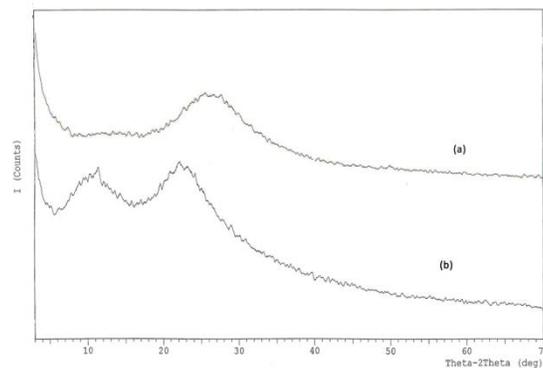


Gambar 1. Spektra IR (a) silika gel (Limatahu, 2007),
(b) hibrida amino silika hasil sintesis

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 2.



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° dan pada Gambar 2 (b) juga terlihat puncak melebar pada sudut difraksi 22° 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° 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. Desorpsi Au(III) dari Hibrida Amino Silika dalam Sistem Multilogam Au/Ni/Ag

Kajian desorpsi dilakukan untuk mengetahui kemudahan hibrida amino silika untuk melepaskan ion emas yang telah teradsorpsi pada sistem multilogam Au/Ni/Ag. Dasar pemilihan tiourea adalah kemampuan tiourea untuk membentuk kompleks stabil dengan ion emas. Selain itu tiourea merupakan senyawa yang memiliki toksisitas yang lebih rendah dan ramah lingkungan dibandingkan dengan sianida (Hamdiani, 2010).

Ion Au(III) terikat secara elektrostatis dengan gugus amino pada hibrida amino silika. Penambahan tiourea menyebabkan Au(III) menjadi tidak stabil dan tereduksi menjadi ion Au(I). Ion Au(I) kemudian bereaksi dengan tiourea membentuk kompleks berdasarkan reaksi: $Au^+ + 2SC(NH_2)_2 \rightleftharpoons [Au(SC(NH_2)_2)_2]^+$

Penambahan asam akan menstabilisasi dan mencegah tiourea mengalami degradasi, sehingga dapat mengurangi konsumsi tiourea. Ion klorida (Cl⁻) yang berasal dari penambahan HCl berfungsi sebagai kompetitor bagi kompleks AuCl₄⁻ pada permukaan hibrida amino silika sehingga emas akan terdesorpsi dari permukaan HAS oleh larutan tiourea dalam HCl (Lacoste-Bouchet dkk., 1997).

Berdasarkan Tabel 1, jumlah ion Au(III) dan Ag(I) terdesorpsi lebih banyak dibandingkan Ni(II). Hal ini disebabkan oleh, atom S yang berperan sebagai gugus pendesorpsi dalam tiourea bersifat lunak, sehingga menurut prinsip asam basa keras lunak (HSAB) Au dan Ag yang bersifat lunak akan membentuk kompleks yang jauh lebih stabil dibandingkan dengan pembentukan kompleks dengan logam Ni yang bersifat menengah.

Tabel 1. Jumlah ion logam terdesorpsi pada adsorben pada sistem multilogam Au/Ni/Ag

Eluen	Jumlah Ion Logam	Au(III)	Ni(II)	Ag(I)
HCl 1M	teradsorpsi (mg)	0,41	0,48	0,38
	terdesorpsi (mg)	0,07	0,00	0,00
	% terdesorpsi	16,60	0,31	0,37
Tiourea 0,5M dlm HCl 1M	teradsorpsi (mg)	0,41	0,39	0,37
	terdesorpsi (mg)	0,23	0,02	0,21
	% terdesorpsi	57,45	4,95	57,37
Tiourea 1M dlm HCl 1M	teradsorpsi (mg)	0,41	0,40	0,38
	terdesorpsi (mg)	0,24	0,02	0,22
	% terdesorpsi	59,12	5,42	58,06

Selain itu, dalam larutan, ligan dengan atom donor yang berukuran besar seperti S akan membatasi kemampuannya membentuk kompleks stabil dengan atom-atom logam yang memiliki ukuran lebih kecil. Kompleks yang terbentuk dengan atom yang ukurannya lebih kecil akan menyebabkan bilangan koordinasi ion logam lebih rendah dari seharusnya, karena ion logam harus memberikan ruang bagi atom donor yang berukuran besar (Martell dan Hancock, 1916).

Berdasarkan ukuran atom, Au > Ag > Ni sehingga Au akan membentuk kompleks yang lebih stabil dibandingkan Ag dan Ni, Ag akan membentuk kompleks yang lebih stabil dibandingkan Ni.

Au(III) dan Ag(I) yang terdesorpsi dalam sistem multilogam Au/Ni/Ag hanya sekitar 50%. Hal ini disebabkan karena desorpsi dilakukan dalam sistem multilogam sehingga terjadi kompetisi masing-masing logam untuk membentuk kompleks dengan tiourea

Selain itu, dalam larutan, ligan dengan atom donor yang berukuran besar seperti S akan membatasi kemampuannya membentuk kompleks stabil dengan atom-atom logam yang memiliki ukuran lebih kecil. Kompleks yang terbentuk dengan atom yang ukurannya lebih kecil akan menyebabkan bilangan koordinasi ion logam lebih rendah dari seharusnya, karena ion logam harus memberikan ruang bagi atom donor yang berukuran besar (Martell dan Hancock, 1916).

Berdasarkan ukuran atom, Au>Ag>Ni sehingga Au akan membentuk kompleks yang lebih stabil dibandingkan Ag dan Ni, Ag akan membentuk kompleks yang lebih stabil dibandingkan Ni. Au(III) dan Ag(I) yang terdesorpsi dalam sistem multilogam Au/Ni/Ag hanya sekitar 50%. Hal ini disebabkan karena desorpsi dilakukan dalam sistem multilogam sehingga terjadi kompetisi masing-masing logam untuk membentuk kompleks dengan tiourea.

KESIMPULAN

1. Penambahan senyawa (3-aminopropil)-trimetoksisilan pada natrium silikat menyebabkan terbentuknya hibrida amino silika melalui proses sol-gel.
2. Desorpsi Au(III) pada HAS dalam sistem multilogam menghasilkan Au(III) terdesorpsi hampir 100%.

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 4th 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., Deschne, 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 γ -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