

## ADSORPSI PALADIUM (II) OLEH PROTEIN BAKTERI TERMOFILIK

Laksmi Dewi Kasmiarno

Universitas Pertamina, Jalan Teuku Nyak Arief, Simprug, Grogol Selatan, RT.7/RW.8, Grogol Sel., Kby.  
Lama, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12220  
Tel : (021) 29044308  
Email address : [laksmi.dewi@universitaspertamina.ac.id](mailto:laksmi.dewi@universitaspertamina.ac.id)

### *Abstrak*

*Kebutuhan logam mulia seperti paladium (Pd) semakin meningkat, sehingga dibutuhkan metode pertambangan khusus untuk mengambil logam mulia tersebut dari alam, yang dapat menyebabkan meningkatnya biaya produksi. Salah satu cara efektif untuk mengambil logam mulia dengan biaya rendah namun tingkat selektivitas yang tinggi adalah dengan menggunakan mikroorganisme atau turunannya seperti protein yang dapat mengadsorpsi metal secara langsung. Dalam penelitian ini, protein yang berasal dari bakteri termofilik digunakan sebagai biosorbent untuk mengadsorb logam Paladium yang berupa larutan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh pH terhadap proses biosorpsi paladium terhadap protein dengan metode pengendapan oleh aseton. Hasil yang diperoleh adalah pengendapan oleh aseton merupakan metode analisa dan pemulihan protein yang cocok dengan rasio protein dan aseton, 1:6. Biosorpsi paladium pada kondisi asam dengan pH 3 memperoleh hasil adsorpsi optimal dengan kapasitas adsorpsi 712.74 mg Pd/g protein, pada kondisi pH tinggi, kelarutan akan menurun karena cenderung membentuk reaksi pengendapan sehingga sukar untuk bereaksi dengan protein sebagai biosorben*

**Kata kunci :** bakteri termofilik, paladium, protein.

## ADSORPTION OF PALLADIUM BY THERMOPHILIC BACTERIAL PROTEINS

### *Abstract*

*The demands of paladium (Pd) have markedly increased. the process of noble metal mining requires employment of expensive technology, making the cost of mining process higher than received economic benefits.. One of the effective ways to take metal with low mining process cost and high selectivity is using microorganisms or their derived products (such as proteins) to directly adsorb the metals. In this study, proteins derived from thermophilic bacteria were used as biosorbent to adsorb palladium. The purpose of this research is to get the optimum adsorption using initial pH variable. Protein recovery was using precipitation method by acetone with volume ratio 1:6. The optimum adsorption condition occurred at pH 3 with an adsorption capacity of 712.74 mg Pd/g protein. At higher pH conditions, the solubility of compound will decrease as it tends to form a precipitation reaction so it is difficult to react with proteins as biosorbents*

**Keywords:** palladium, protein, thermophilic bacteria

## PENDAHULUAN

Paladium termasuk dalam golongan logam mulia yang memiliki properti fisika dan kimia yang sangat unik. Paladium ini mempunyai peranan sangat penting dalam berbagai bidang seperti perangkat elektronik, bahan bakar, dan katalis. Sebagai katalis, paladium digunakan dalam berbagai macam industri, seperti pertanian dan kesehatan (Ramesh dkk., 2008). Katalis paladium digunakan pada dunia industri dan kimia sintesis, karena paladium sangat cocok pada penggunaan sistem homogen karena tingkat selektivitasnya (Zeng dkk, 2014). Selain itu juga digunakan pada aplikasi lampu dan optikal seperti lampu LEDs, laser, dan berbagai perangkat elektronik yang ekonomis dan ramah lingkungan.

Metode yang paling sering digunakan untuk mendapatkan logam mulia adalah dengan melakukan proses penggalian dan pertambangan. Selain itu, logam mulia juga dapat ditemukan pada produk sampingan pada aliran limbah di industri proses panas bumi (geotermal), pengolahan air laut, pengolahan air industri, dan berbagai jenis industri lainnya. Paladium yang terkandung dalam jenis industri ini memiliki konsentrasi kecil dan berada dalam fasa larutan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan logam murni yang telah larut dalam berbagai jenis pelarut, seperti yang terdapat pada industri geotermal. Ada berbagai metode yang dapat dilakukan untuk memurnikan logam dari pelarutnya seperti pengendapan dengan bahan kimia, koagulasi, pertukaran ion, dan teknologi membran. Pengendapan dengan menggunakan bahan kimia, meskipun mudah karena logam-logam akan mengendap dengan bantuan koagulan atau dengan mengatur tingkat keasamannya, namun membutuhkan larutan inorganik dalam jumlah banyak dan akan menjadi limbah yang dapat mencemari lingkungan. Pengolahan dengan cara teknologi membran dan pertukaran ion dapat meningkatkan kemurnian, tingkat selektivitas, dan tidak menghasilkan limbah kimia seperti proses pengendapan namun biaya yang dikeluarkan dengan menggunakan metode ini sangat tinggi (Lo dkk, 2014). Metode secara biologi merupakan salah satu alternatif untuk mendapatkan kembali logam mulia yang berasal dari pengolahan industri limbah. Metode ini menggunakan makhluk hidup, seperti mikroorganisme dan turunannya seperti protein dan sel mati yang dapat mengabsorb logam mulia dengan tingkat selektivitas yang tinggi (Veglio dkk, 1997). Salah satu metode secara biologi yang dapat diterapkan untuk mendapatkan logam mulia adalah biosorpsi dan bioakumulasi.

Biosorpsi dan bioakumulasi merupakan metode pengadsorpsi logam dengan menggunakan biomassa dan turunannya. Bioakumulasi dan biosorpsi memiliki perbedaan yang signifikan yaitu

bioakumulasi melibatkan organisme yang masih hidup, sedangkan biosorpsi hanya melibatkan organisme yang sudah mati dan turunannya. Bioakumulasi dapat didefinisikan bahwa ion-ion logam akan masuk ke dalam sel, diakumulasi dalam intraselular, dan akan melewati membran sel kemudian akan melewati siklus metabolisme dari sel tersebut. Sedangkan pada metode biosorpsi, ion-ion logam diambil oleh organisme yang telah mati dan turunannya seperti protein, alga, dsb (Romero dkk, 2006). Bioakumulasi memiliki kekurangan, diantaranya dari segi biaya karena dibutuhkan penanganan dan pemeliharaan untuk organisme yang masih hidup, pada bioakumulasi terjadi reaksi absorpsi pada ion-ion logam yang diserap, sedangkan pada biosorpsi hanya terjadi reaksi adsorpsi. Untuk regenerasi organisme dan turunannya, biosorpsi memiliki keunggulan dibandingkan dengan bioakumulasi karena pada bioakumulasi ion-ion logam akan masuk ke dalam sel organisme dan ikut bereaksi pada sistem metabolisme organisme tersebut.

Beberapa penelitian membuktikan bahwa biosorpsi merupakan metode yang efektif dalam menghilangkan kandungan logam pada limbah dengan biaya yang rendah dan tidak mencemari lingkungan (Kumar, dkk, 2009). Mikroorganisme seperti bakteri, yeast, dan alga terbukti dapat mengambil logam dari berbagai larutan limbah (Ibrahim dkk, 2004; Gutnick dkk, 2000; Aksu dkk, 2005). Biosorpsi logam adalah metode pengikatan ion-ion logam dengan dinding sel atau membran sel organisme karena perbedaan gugus fungsi elektronegativitas, pada dinding sel atau membran sel terdapat protein membran yang dapat mengikat ion-ion logam tersebut (Huang dkk, 2003). Interaksi antara protein dengan ion-ion logam ini memegang peranan penting dalam sistem biologi untuk penyerapan nutrisi dan zat besi (Isab dkk, 1997). Beberapa penelitian melaporkan bahwa protein murni yang berasal dari ovalbumin, lisozim, dan bovine serum albumin (BSA) dapat mengadsorpsi logam mulia (Maruyama dkk, 2007). Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa protein merupakan salah satu alternatif bahan pengadsorpsi untuk ion metal.

Penelitian ini memfokuskan pada proses biosorpsi logam paladium menggunakan protein dari bakteri termofilik. Metode untuk pemurnian protein digunakan pengendapan dengan aseton.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan alat.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah protein, tripton, ekstrak yeast,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $NaCl$ ,  $KNO_3$ ,  $NaNO_3$ ,  $Na_2HPO_4$ , Asam Nitritotri-asetic,  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ,  $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ ,  $COCl_2 \cdot 6H_2O$ ,

$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , larutan paladium, HCl, NaOH.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah membran ultrafiltrasi *Amicon* 10 kDa, *Bradford assay* (*Sigma*), ELISA OD<sub>595</sub>.

#### Prosedur Penelitian.

Percobaan ini menggunakan protein yang berasal dari perkebangbiakan bakteri termofilik yang tahan terhadap suhu tinggi. Bakteri termofilik dikultivasi pada medium- termus (*Tenreiro*, 1995). Kandungan pada 1 liter media thermus adalah 1 g tripton, 1 g ekstrak yeast, 0.1 g  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0.008 g NaCl, 0.1 g  $\text{KNO}_3$ , 0.690  $\text{NaNO}_3$ , 0.110 g  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , dan 10 ml larutan trace elements yang terdiri dari 12.8 g Asam Nitritriasetic, 1.35 g  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.1 g  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 0.024 g  $\text{COCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 0.1 g  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 0.1 g  $\text{ZnCl}_2$ , 0.025 g  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 0.010 g  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , dan 0.024 g  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Kemudian protein dipisahkan dengan cara sentrifugasi dengan kecepatan 10,000 rpm pada suhu 4 °C selama 10 menit. Setelah itu, protein yang didapatkan ditingkatkan konsentrasinya hingga 10 kali dari konsentrasi awalnya dengan menggunakan membran ultrafiltrasi *Amicon* 10 kDa. Konsentrat protein kemudian dibilas dengan air terdeionisasi sebanyak 3 kali.

#### Pemurnian protein menggunakan metode pengendapan dengan aseton

Protein dengan konsentrasi 50mg/L sebanyak 5mg/L ditambahkan larutan aseton murni (99%) dengan perbedaan rasio volum antara protein dan aseton yaitu 1:1; 1:2; 1:3; 1:4; 1:5; 1:6; 1:7; 1:8 (*Crowell*, 2013). Campuran larutan aseton dan protein didiamkan selama 60 menit. Kemudian disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 10,000 rpm pada suhu 4 °C. Pelet protein yang didapatkan dipisahkan dari larutan supernatan. Pelet protein tersebut kemudian dikeringkan pada oven 30 °C selama 20menit. Kemudian ditambahkan air terdeionisasi sebanyak 5 ml. Protein kemudian dianalisa dengan menggunakan *Bradford assay* (*Sigma*) dan diukur konsentrasi protein dengan ELISA OD<sub>595</sub>.

#### Biosorpsi logam paladium dan analisa protein yang bereaksi dengan paladium

Protein dengan konsentrasi 50 mg/L ditambahkan 100 mg/L larutan paladium dengan rasio volum yang sama, masing-masing sebanyak 2.5 ml. Larutan paladium digunakan larutan standar dari High Purity Standard Inc, USA, pada percobaan ini digunakan kontrol variabel yaitu 2.5 ml larutan paladium 100 mg/L yang ditambahkan 2.5 ml air terdeionisasi. Setelah itu dilakukan pengontrolan pH awal dengan menambahkan asam klorida (HCl) dan Natrium hidroksida (NaOH). pH yang digunakan dengan range pH 1, pH 2, pH 3, pH 4, pH 5, pH 6,

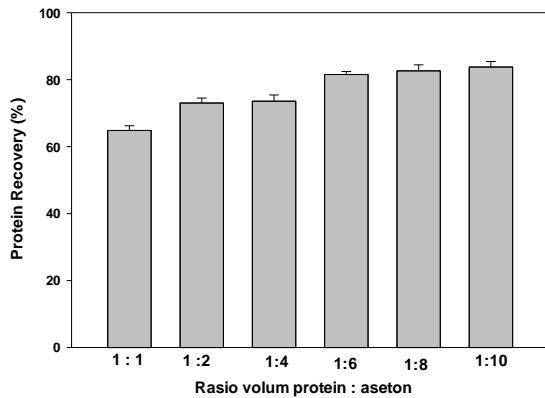
pH 7, dan pH 8. Masing-masing campuran larutan protein dengan logam paladium dan kontrol variabel yang telah diatur pH-nya kemudian didiamkan selama 60 menit dalam suhu ruangan. Kemudian campuran larutan ditambahkan aseton murni (99%) dengan rasio 1:6. Setelah itu didiamkan selama 30 menit dalam suhu ruangan. Campuran larutan dan aseton disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 10,000 rpm pada suhu 4 °C. Kemudian pelet yang telah didapatkan dikeringkan pada suhu 30 °C selama 20 menit. Metode penelitian ini dilakukan sebanyak 2 kali untuk dilakukan analisa adsorpsi logam dan analisa kadar protein yang bereaksi dengan logam. Untuk analisa adsorpsi logam ditambahkan 5 M Asam Nitrit sebanyak 5ml untuk pengukuran kandungan logam paladium dengan ICP (*Inductively Coupled Plasma*) merek Jobin-Yvon ICP Optical Emission Spectrometer JY 2000-2 oleh Horiba Scientific. Inc. ICP menggunakan gas argon dan Photoluminescence (PL) diatur pada 12-13, G pada 0.2-0.3, dan tekanan gas argon pada 6psig. Untuk analisa kadar protein yang bereaksi dengan paladium dilakukan penambahan dengan air terdeionisasi sebanyak 5 ml. Kemudian dianalisa dengan *Bradford assay* menggunakan ELISA OD<sub>595</sub>.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Protein dihasilkan dari kultivasi bakteri kemudian dianalisa kadar protein dengan menggunakan metode *Bradford assay* dan ELISA OD<sub>595</sub>. Pemulihan protein (*Protein recovery*) dilakukan dengan metode pengendapan menggunakan larutan aseton murni (*Ma et al.*, 1996).

#### Pemurnian protein menggunakan metode pengendapan dengan aseton

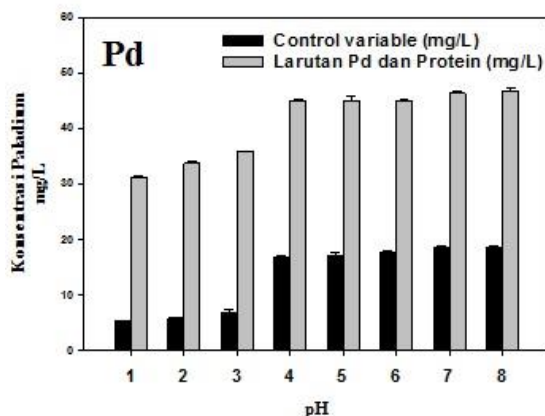
Dalam penelitian ini kondisi pengendapan protein dengan menggunakan aseton akan diuji dengan menggunakan perbedaan rasio volum antara protein dan aseton, dengan rasio yang digunakan adalah 1:1; 1:2; 1:3; 1:4; 1:5; 1:6; 1:7; dan 1:8. Sebagai contoh, untuk rasio volum 1:1, 2.5 ml larutan protein dengan konsentrasi 50 mg/l ditambahkan dengan larutan aseton sebanyak 2.5 ml, pada suhu ruangan dan didiamkan selama 30 menit. Dari Gambar 1. diperoleh hasil bahwa semakin banyak aseton yang ditambahkan pada larutan protein, maka semakin tinggi tingkat pemulihan proteinnya, pada rasio volum protein-aseton 1:1 didapatkan pemulihan proteinnya mencapai 64.8%. Nilai pemulihan protein terus meningkat hingga mencapai 81.6% pada rasio volum 1:6. Kemudian pada rasio 1:8 dan 1:10, pemulihan protein mencapai angka yang hampir sama yaitu 82.6% dan 83.7%.



**Gambar 1.** Pengaruh perbandingan rasio volum protein : aseton dalam pemurnian protein.

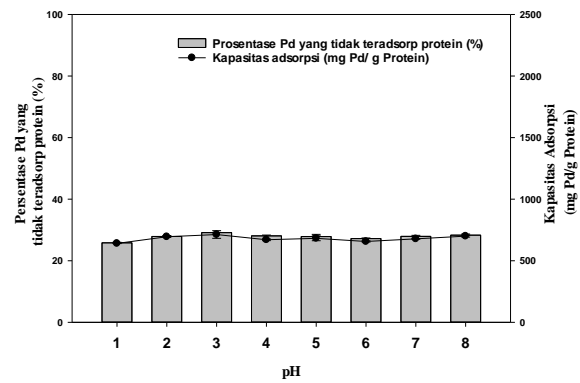
**Adsorpsi logam paladium dan analisa protein yang bereaksi dengan paladium**

PH awal pada penellitian ini, divariasikan dari pH 1 hingga pH 8 untuk mengetahui kondisi optimal dari reaksi biosorpsi logam paladium dan protein. Natrium oksida dan asam klorida digunakan untuk mengatur pH larutan sesuai dengan pH awal yang dikehendaki. Saat pengaturan pH rendah (rentang 1-3), larutan logam paladium dan protein akan terlarut dengan baik. Hasil yang berbeda didapatkan pada saat pH mendekati suasana basa. Larutan logam paladium dan protein, ketika pH nya semakin meningkat, semakin banyak pelet yang terbentuk pada larutan. Hal ini dapat dijelaskan karena logam paladium akan bereaksi dengan ion-ion oksida yang berasal dari natrium oksida dan membentuk logam oksida, dimana ini akan sangat mudah untuk terbentuk endapan, pada sampel kontrol, semakin tinggi pH awal maka semakin banyak terbentuk endapan. Namun pada rentang pH 4-pH 8, perbedaan endapan tidak terlalu signifikan seperti pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Pengaruh pengaturan pH awal pada adsorpsi paladium oleh protein

Logam paladium yang terserap oleh protein dianalisa dengan menggunakan metode pengendapan oleh aseton. Metode ini juga dapat mengetahui jumlah pemulihan protein (*protein recovery*). pH merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi, yang tidak hanya berpengaruh pada ikatan antara logam dan biosorben, tetapi juga kondisi larutan dimana terjadi ikatan logam dengan biosorben (Fiol et al., 2006). Setiap logam memiliki perbedaan kondisi optimum untuk pH awal, karena pH mempengaruhi kondisi pengendapan, dan ketersediaan ion-ion logam pada larutan tersebut.

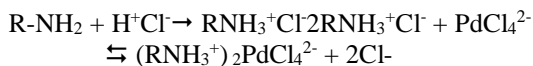


**Gambar 3.** Persentase protein dan kapasitas adsorpsi paladium oleh protein pada perbedaan pH awal

Kapasitas adsorpsi dari logam paladium yang berikatan dengan protein dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$q = \frac{\text{logam Pd yang teradsorpsi di protein } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{\text{Analisa protein dengan ELISA } OD_{595} \left(\frac{\text{g}}{\text{L}}\right)} - \frac{\text{variabel kontrol (logam Pd dan air)} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{\text{Analisa protein dengan ELISA } OD_{595} \left(\frac{\text{g}}{\text{L}}\right)}$$

Untuk biosorpsi logam paladium, kapasitas adsorpsi pada pH 1-pH 3 meningkat dengan nilai 640.13 - 712.74 mg Pd/g protein. Pada rentang pH 4-pH 5 cenderung konstan, dan cenderung turun pada rentang pH 6 - 8. Hal ini dapat dijelaskan karena pada saat pH rendah, kondisi larutan berada pada suasana asam, dimana banyak ion-ion hidrogen dan klorida. Jumlah ion klorida akan membentuk kloro-anion yang akan bereaksi dengan gugus fungsi amino dari protein (Ghassary dkk, 2005). Protonasi dari gugus fungsi amina dari protein akan membentuk sinyal elektrostatis yang akan menyebabkan terjadinya pembentuk anion logam kompleks dan akan meningkatkan kondisi adsorpsi dari protein untuk logam paladium. Dalam suasana asam, ion-ion paladium akan berada dalam kondisi stabil yaitu Pd (II). Ion-ion ini akan membentuk senyawa yang stabil terutama dengan gugus fungsi amino dari protein (Zhou dkk, 2010). Interaksi pada logam anion dan situs aktif protein ditunjukkan pada reaksi di bawah ini :



Saat kondisi basa, terjadi penurunan pada tingkat adsorpsi logam paladium oleh protein. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada pH tinggi kelarutan senyawa logam kompleks akan menurun dan cenderung membentuk reaksi pengendapan, sehingga logam paladium sukar bereaksi dengan protein (Ruiz dkk, 2000). Dalam berbagai literatur, bahwa didapatkan kapasitas adsorpsi yang cenderung tinggi pada saat pH rendah (Guibal dkk, 2002; Ma dkk., 2006).

### SIMPULAN

Protein yang dihasilkan dari bakteri termofilik secara efektif dapat menjadi biosorben untuk logam paladium. Pengukuran logam paladium dan protein yang bereaksi dianalisa dengan menggunakan pengendapan oleh aseton. Rasio volum optimum untuk protein dan aseton adalah 1:6. Untuk logam Pd, kondisi optimum adsorpsi berada pada pH 3 dengan kapasitas adsorpsi adalah 712.74 mg Pd/g protein, pada kondisi pH tinggi, kelarutan senyawa akan menurun karena cenderung membentuk reaksi pengendapan sehingga sukar untuk bereaksi dengan protein sebagai biosorben.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aksu, Z. 2005. *Application of biosorption for the removal of organic pollutants: A review*. Proc. Biochem. 40, 997-1026
- Crowell, A. M., Wall, M. J., Doucette A. A. 2013. *Maximizing recovery of water-soluble proteins through acetone Precipitation*. Analytical Chimica Acta 796 : 48-54
- Fiol, N., Villaescusa, I., Martínez, M., Miralles, N., Poch, J. 2006. 'Serarol, Sorption of Pb(II), Ni(II), Cu(II) and Cd(II) from aqueous solution by olive stone waste'. *Sep. Purif. Technol.* 50, 132-140,
- Ghassary, P., Vincent, T., Marciano, J. S., Macaskie, L. E., Guibal, E. 2005. *Palladium and Platinum recovery from bicomponent mixtures using chitosan derivatives*. Hydrometallurgy 76 131-147
- Guibal, E., Von Offenber N., Vincent, T., Tobin, J. M. 2002. *Sulfur derivatives of chitosan for palladium sorption*. Reactive and Functional Polymers (50): 149-163
- Gutnick, D. L., & Bach, H. 2000. *Engineering bacterial biopolymers for the biosorption of heavy metals; new products and novel formulations*. Appl. Microb. Biotechnol. 54, 451-460.
- Huang, C. C., Su, C. C., Hsieh, J. L., Tseng, C. P., Lin, P. L., Chang, J. S. 2003. *Polypeptides for heavy-metal biosorption: capacity and specificity of two heterogeneous MerP proteins*. Enzyme Microb. Technol. :33, 379-385.
- Ibrahim, H., Kandel, S. F., Moawad, H. 2004. 'Biosorption of heavy metals from waste water using *Pseudomonas sp.*'. *Electronic Journal of Biotechnology*;7(1):40-47.
- Isab, A. A., Sadler, P. J. 1997. *Reactions of gold (III) ions with ribonuclease A and methionine derivatives in aqueous solution*. Biochim. Biophys. Acta: 492, 322-330.
- Kumar J. I. N., Oommen, C., Kumar, R. N. 2009. *Biosorption of heavy metals from aqueous solution by green marine microalgae from Okha Port, Gulf of Kutch, India*. American-Eurasian J Agric & Environ Sci ;6(3):317-23.
- Lo, Y. C., Cheng, C. L., Han Y. L., Chen B. Y., Chang J. S. 2014. *Recovery of high-value metals from geothermal sites by biosorption and bioaccumulation*. Bioresource Technology 160 : 182-190
- Ma, H., Liao, X. P., Liu, B., Bi, S. 2006. *Recovery of platinum (IV) and palladium (II) by bayberry tannin immobilized collagen fiber membrane from water solution*. J. Membr. Sci. 278 373-380.
- Ma, J., Stoter, G., Verweij, J., Schellens, J. H. M. 1996. *Comparison of ethanol plasma protein precipitation with plasma ultrafiltration and trichloroacetic acid protein precipitation for the measurement of unbound platinum concentration*. Cencer Chemother Pharmacol 38 : 391-394
- Maruyama, T., Matsushita, H., Shimada, Y., Kamata, I., Hanaki, M., Sonokawa, S., Kamiya, N., Goto, M. 2007. *Proteins and Protein-Rich Biomass as Environmentally Friendly adsorbents selective for precious metal ions*. Environ. Sci. Technol : 41, 1359-1364.
- Ramesh, A., Hasegawa H., Sugimoto W., Maki T., Ueda K. 2008. *Adsorption of gold(III), platinum(IV) and palladium(II) onto glycine modified crosslinked chitosan resin*. Bioresource Technology 99(9) : 3801-9
- Romera E., Gonzalez F., Ballester A., Blazquez M. L., Munoz J. A. 2007. *Comparative study of biosorption of heavy metals using different types of algae*. Bioresource Technology;98:3344-53.
- Romero M.C., Reinoso E.H., Urrutia M.I., Kiernan A.M. 2006. 'Biosorption of heavy metal by *Talaromyces helices*: a trained fungus for copper and biphenyl detoxification'. *Electronic Journal of Biotechnology* ;9(3):221-26.

- Ruiz, M., Sastre, E. 2000. *Palladium sorption on glutaraldehydecrosslinked chitosan*. *React. Funct. Polym.* 45 155.
- Song, X., Chang, M.H., Pecht, M. 2013. *Rare earth elements in lighting and optical applications and their recycling*. *JOM* 65 (10), 1276-1282
- Tenreiro, S., Nobre M. F., and Da Costa M. S. 1995. *Thermus silvanus sp. nov. and Thermus chliarophilus sp. nov., two new species related to Thermus ruber but with lower growth temperatures*. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 45:633-639.
- Veglio, F., Beolchini, F. 1997. *Removal of metals by biosorption: a review*. *Hydrometallurgy*: 44, 301-316.
- Zeng, M., Qi, C., Yang, J., Wang, B., Zhang, X, M. 2014. 'A highly efficient and stable palladium catalyst entrapped within the cross-linked chitosan membrane for heck reactions'. *Industrial and Engineering Chemistry Journal* 53 :10041-10050
- Zhou, L., Xu J., Liang H. X., Liu Z. 2010. 'Adsorption of platinum(IV) and palladium(II) from aqueous solution by magnetic cross-linking chitosan nanoparticles modified with ethylenediamine'. *Journal of Hazardous Materials* 182: 518-524