

# **PENELITIAN AWAL EKSTRAKSI EMAS DAN LOGAM LAINNYA DARI TANAMAN AKAR WANGI (*Vetiveria zizanioides*) MENGGUNAKAN METODE KLOORINASI BASAH**

## ***Preliminary Research on Gold and Other Metals Extraction from Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*) Using Wet Chlorination Method***

MARSEN ALIMANO<sup>1</sup> dan REBIET R. RINJANI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara  
Jalan Jenderal Sudirman No. 623 Bandung 40211  
Telp. (022) 6030483, Fax. (022) 6003373  
e-mail: [alimano@tekmira.esdm.go.id](mailto:alimano@tekmira.esdm.go.id)

<sup>2</sup> Puslitbang Sumber Daya Air, Bandung  
Jalan Ir. H. Djuanda Bandung 40135

---

### **ABSTRAK**

Ekstraksi emas (Au) dengan metode sianidasi berpotensi memberikan dampak buruk bagi lingkungan. Diperlukan alternatif lain untuk mengganti senyawa sianida. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah klorinasi. Telah dilakukan ekstraksi Au dari jaringan tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*) dengan metode klorinasi. Pada penelitian ini digunakan HCl dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebagai oksidator Au. Kadar Au diukur dengan menggunakan *Graphyte Furnace Atomic Absorption Analysis* (GF-AAS). Hasil analisis menunjukkan Au dapat diekstrak dari percontoh abu jaringan tanaman. Kadar Au terukur pada percontoh berturut-turut 1,05; 1,29; dan 4,22 mg/kg.

Kata kunci: emas, akar wangi, *Vetiveria zizanioides*, ekstraksi, klorinasi.

### **ABSTRACT**

*Cyanidation method for gold (Au) extraction has a negative impact to environment. An alternative method is needed to substitute cyanide or other toxic compounds. Chlorination method could be an alternative method to be used. In this experiment, Au has been extracted from plant tissue of Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*) using chlorination method, where HCl and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> as an oxidant of Au. The Au concentration was measured by Graphyte Furnace Atomic Absorption Analysis (GF - AAS), and the result of analysis shows that Au could be successfully extracted from plant tissue samples. Au concentration in the samples were 1.05; 1.29 and 4.22 mg/kg respectively.*

*Keywords: gold, vetiver, *Vetiveria zizanioides*, extraction, chlorination.*

---

### **PENDAHULUAN**

Emas (Au) termasuk ke dalam golongan logam mulia. Dalam kegiatan penambangan emas primer, terdapat dua macam batuan bijih, yaitu yang memiliki kadar emas tinggi dan kadar

rendah. Umumnya batuan yang memiliki kadar emas rendah disimpan atau ditimbun untuk digunakan pada masa mendatang apabila harga pasar emas sedang tinggi. Sebagai bagian dari konservasi sumber daya mineral emas, serta untuk mendapatkan perolehan emas secara

ekonomis dari bijih emas berkadar rendah, maka dilakukan penelitian untuk mengekstrak emas dari sedimen tersebut dengan cara yang lebih ramah lingkungan, salah satunya adalah *phytomining* atau fitomining. Saat ini telah dilakukan fitomining Au menggunakan tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*) untuk mengekstrak atau mengakumulasi Au dari sedimen tersebut. Sehingga tahapan kedua dalam proses fitomining adalah mengekstrak emas dalam bentuk ion yang telah terakumulasi untuk dijadikan bulion.

Tidak hanya Akar Wangi, fitomining Au telah dikembangkan dengan menggunakan berbagai spesies tanaman, seperti bunga matahari (*Helianthus annuus*), sawi (*Brassica juncea*), dan jagung (*Zea mays*) (Rodriguez *dkk.*, 2006; Marshall *et al.*, 2007; Kumar dan Yadav, 2009; Wilson-Corral *dkk.*, 2011). Pada penelitian-penelitian tersebut digunakan senyawa pengkelat yang berbeda-beda, yakni natrium sianida (NaCN), natrium bisulfit (NaHSO<sub>3</sub>), ammonium thiosianat (NH<sub>4</sub>SCN), ammonium thiosulfat ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dan thiourea (SC(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) *dkk.*, 2013; Aromaa *dkk.*, 2015). Au yang dapat diserap oleh *Helianthus annuus* sebanyak 52 mg/kg, sedangkan Au yang berhasil diakumulasi oleh *Brassica juncea* sebanyak 326 mg Au/kg biomassa kering. Pada penelitian-penelitian tersebut digunakan HCl dan HNO<sub>3</sub> untuk mengekstrak Au dari jaringan tanaman.

Metode umum yang digunakan untuk proses pelindian Au adalah sianidasi. Namun senyawa golongan sianida memiliki efek toksik bagi lingkungan (Donato *dkk.*, 2007; Ebel *dkk.*, 2007). Aspek lingkungan menjadi penyebab utama dikembangkannya proses pelindian Au dengan menggunakan senyawa non-sianida.

Metode ekstraksi Au yang umum oleh industri adalah pirometalurgi, hidrometalurgi, dan biohidrometalurgi (Jadhav dan Hocheng, 2012). Pada pirometalurgi, Au diekstrak dengan memberikan temperatur dan tekanan tinggi pada mineral sedangkan pada hidrometalurgi Au diekstrak dengan melarutkan mineral dalam larutan kimia. Menurut Natesh *dkk.* (2015), sumber Au kedua di dunia berasal dari hasil pemurnian menggunakan metode hidrometalurgi. Dalam metode biohidrometalurgi, proses pemurnian Au dibantu dengan menggunakan mikroorganisme.

Berbagai macam pelarut telah diteliti untuk digunakan pada metode hidrometalurgi. Umumnya digunakan pelarut asam karena memiliki kemampuan untuk melarutkan logam (Kamberović *dkk.*, 2009). Beberapa asam yang dapat digunakan adalah H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, dan HCl (Nguyen *dkk.*, 2010; Ficeriová, 2012; Agacayak *dkk.*, 2014; Alafara *dkk.*, 2015). Pada penelitian ini digunakan metode hidrometalurgi dengan klorinasi menggunakan pelarut HCl.

Hasil penelitian De Michelis *dkk.* (2013) menunjukkan bahwa proses klorinasi terbukti memiliki kinetika reaksi yang lebih cepat dibandingkan dengan sianidasi. Ion klorida (Cl<sup>-</sup>) diketahui memiliki keelektronegatifan tinggi sehingga dapat dengan mudah berikatan dengan ion logam bermuatan positif. Metode klorinasi umumnya digunakan untuk *recovery* logam-logam mulia, yakni Pt, Pd, dan Au (Cui dan Zhang, 2008). Berbagai metode klorinasi Au, di antaranya menggunakan gas klorin Cl<sub>2</sub> (proses Deetken/Mears), penambahan *bleaching powder*, dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (proses Munktell), serta penggunaan KMnO<sub>4</sub>, garam, dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (proses Black-Etard). Pada penelitian ini digunakan larutan asam klorida (HCl) sebagai sumber Cl<sup>-</sup> dan asam peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) sebagai prekursor O<sub>2</sub>. Penggunaan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> terbukti dapat meningkatkan persentase Au yang dapat diekstraksi hingga 0,2% (Pratama dan Suprpto, 2011).

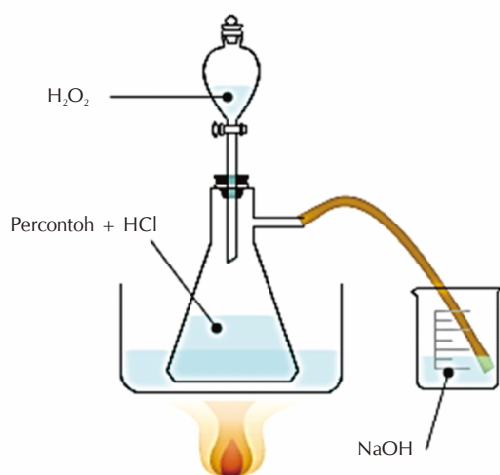
Pengabuan sebagai salah satu preparasi percontoh dapat mempengaruhi jumlah Au yang dapat diekstrak. Karbon sebagai material organik dapat mengganggu proses pelarutan Au. Pada proses klorinasi, Au memiliki kecenderungan mengendap atau teradsorpsi pada material organik di mineral (Ahtiainen dan Lundstrom, 2016). Karena itu, pada penelitian ini digunakan percontoh tanaman Akar Wangi yang telah mengalami pengabuan terlebih dahulu. Penelitian ini merupakan penelitian awal untuk mengetahui kemampuan metode klorinasi sebagai pengekstrak Au dari percontoh tanaman Akar Wangi.

## METODE

Pada penelitian ini digunakan hasil pengabuan tanaman Akar Wangi pada penelitian sebelumnya, yakni penelitian fitomining emas

(Au) menggunakan tanaman Akar Wangi. Pada penelitian tersebut digunakan ammonium thiosulfat  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$  sebagai senyawa pengkelat Au. Analisis kimia dilakukan di Laboratorium Pengujian Puslitbang tekMIRA dan Laboratorium Pengujian Pusat Sumber Daya Geologi.

Karakteristik percontoh sedimen dari tapak kegiatan tambang Cibaliung dianalisis dengan metode XRD, XRF, SEM, mineragrafi, dan *Graphyte Furnace Atomic Absorption Analysis* (GF-AAS). Selanjutnya, abu sisa kegiatan penelitian sebelumnya (fitomining emas) yang dipakai pada penelitian ini diambil sebanyak 3 (tiga) percontoh secara *random* (acak). Proses ini menggunakan metode klorinasi basah dengan pelarut HCl dan oksidator  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Reagen lain yang digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH). Semua reagen yang digunakan berupa *pro-analysis* (p.a), kecuali NaOH. Beberapa peralatan yang digunakan adalah labu büchner, *funnels* (corong pisah), *rubber-prop*, selang plastik, gelas kimia, *hot plate*, pengaduk magnet, dan penangas air. Skema alat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema alat reaksi klorinasi

Sebanyak  $\pm 5$  gram percontoh abu dilarutkan menggunakan 20 mL HCl 20% dalam labu büchner. Larutan kemudian dipanaskan di atas penangas air hingga  $\pm 60^\circ\text{C}$  sambil diaduk. Selanjutnya labu ditutup dengan prop yang tersambung dengan corong pisah berisi 5 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  20%. Ujung selang plastik dicelupkan dalam larutan NaOH dalam gelas kimia. *Valve* corong pisah dibuka agar  $\text{H}_2\text{O}_2$

menetes ke dalam larutan. Larutan terus dipanaskan sambil diaduk selama 2 jam. Temperatur larutan dijaga sekitar  $60^\circ\text{C}$ .

Larutan selanjutnya disaring untuk diambil filtratnya. Kadar Au dalam filtrat dianalisis menggunakan metode GF-AAS. Selain kadar Au, logam lain yang dianalisis adalah Cu, Pb, Zn, dan Ag.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis difraksi sinar-x (X-RD) menunjukkan percontoh sedimen dari tapak kegiatan tambang Cibaliung mengandung mineral kuarsa, pirit, kalsit, sianidin, dan monmorilonit, dengan mineral dominan-kuarsa dan pirit.

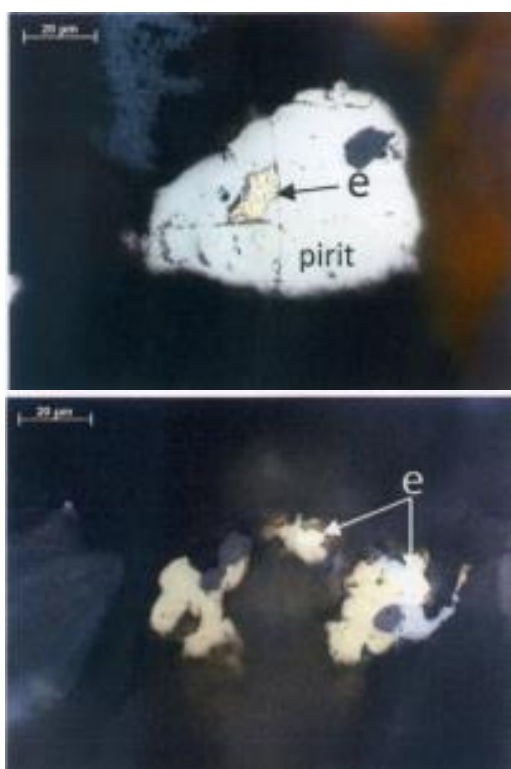
Fotomikrograf sedimen Cibaliung menunjukkan Au terinklusi pada pirit ( $\text{FeS}_2$ ) dan kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ) seperti diperlihatkan pada Gambar 2.

Foto hasil SEM pada Gambar 3 menunjukkan bahwa partikel Au yang terinklusi pada pirit berkisar antara 3 – 9  $\mu\text{m}$ . Hasil analisis SEM menunjukkan terdapat rongga di antara partikel pirit yang berukuran hingga 11  $\mu\text{m}$ .

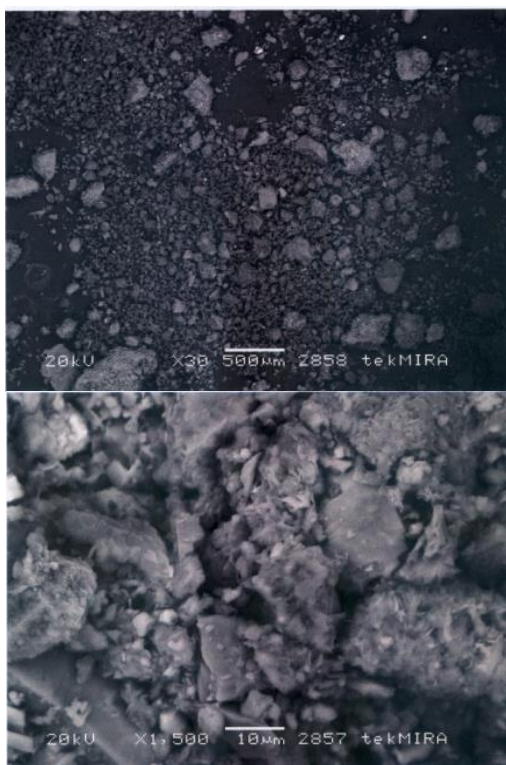
Dari hasil pengukuran GF-AAS, kadar Au dalam sedimen sebesar 3,70 ppm. Logam dengan kadar tinggi pada percontoh sedimen adalah seng (Zn), 200 ppm, dan timbal (Pb), 105 ppm. Logam lain yang terkandung dalam sedimen adalah tembaga (Cu) dan perak (Ag) masing-masing sebesar 61 dan 37,8 ppm.

Percontoh abu yang digunakan pada penelitian ini merupakan hasil pengabuan Akar Wangi. Pada proses fitomining Au digunakan  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$  sebagai senyawa pengkelat logam. Hasil pengukuran konsentrasi Au pada percontoh yang diekstrak menggunakan metode klorinasi disajikan pada Tabel 1. Konsentrasi Au terkecil yang terdeteksi pada percontoh adalah 1,05 ppm.

Ketiga percontoh merupakan percontoh acak sisa penelitian fitomining yang berdiri sendiri tanpa ada perlakuan apapun dan bukan merupakan pemodelan suatu rancangan percobaan. Tabel 1 menunjukkan bahwa metode klorinasi mampu pula mengekstrak logam lain, seperti Ag, Pb, Zn, dan Cu.



Gambar 1. Emas (e) terinklusi pada pirit (atas) dan kalkopirit (bawah)

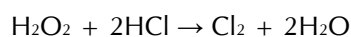


Gambar 2. Hasil SEM sedimen Cibaliung

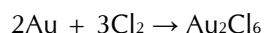
Tabel 1. Konsentrasi logam pada percontoh yang diekstrak menggunakan metode klorinasi

Percontoh	Konsentrasi Logam (mg/kg)				
	Au	Ag	Pb	Zn	Cu
Percontoh 1	1,05	13,94	32,49	141,29	23,79
Percontoh 2	1,29	21,24	91,38	141,26	34,03
Percontoh 3	4,22	43,88	204,60	186,58	123,3

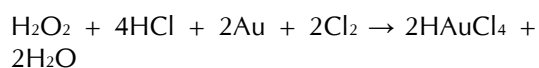
Dalam ekstraksi Au dengan metode klorinasi dihasilkan ion kompleks  $AuCl_4^-$  yang terlarut dalam larutan.  $AuCl_4^-$  merupakan bentuk ion dari  $AuCl_3$ . Dalam HCl,  $AuCl_3$  akan membentuk asam hidroklorida ( $HAuCl_4 \cdot xH_2O$ ) (Housecroft *dkk.*, 2005).  $HAuCl_4 \cdot 4H_2O$  terlarut dalam air maupun etanol (Lide, 2007). Reaksi yang terjadi pada klorinasi adalah:



Reaksi pembentukan gas klor dipercepat dengan pemanasan pada sistem larutan.



Persamaan reaksi total pembentukan asam emas kloro ( $HAuCl_4$ ):

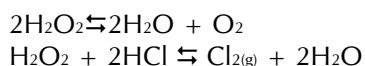


Jumlah mol asam emas kloro yang terbentuk dalam larutan sebanding dengan jumlah mol emas dalam bentuk logamnya. Gas klorin ( $Cl_2$ ) akan dinetralkan oleh NaOH. Selain Au, ion  $Cl^-$  juga akan membentuk kompleks dengan logam lain. Reaksi pembentukan kompleks logam-klorida umumnya merupakan reaksi oksidasi. Tabel 2 menguraikan nilai potensial reduksi ( $E^\circ$ ) dari reaksi pembentukan kompleks logam dengan ion  $Cl^-$ .

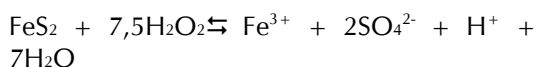
Tabel 2. Nilai potensial reduksi ( $E^\circ$ ) reaksi pembentukan kompleks logam- $Cl^-$  (Vanýsek, 2010)

Reaksi	Potensial Reduksi ( $E^\circ$ )
$AuCl_4^- + 3e^- \rightleftharpoons Au(s) + 4Cl^-$	1,002 V
$AgCl(s) + e^- \rightleftharpoons Ag(s) + Cl^-$	0,2223 V
$Cu^{2+} + Cl^- + e^- \rightleftharpoons CuCl(s)$	0,559 V

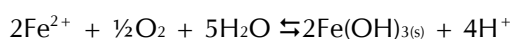
Berdasarkan Tabel 2, nilai  $E^\circ \text{AuCl}_4^-$  cukup besar. Hal ini mengindikasikan bahwa Au mudah teroksidasi oleh  $\text{Cl}^-$  dengan kehadiran oksidator, misalnya  $\text{O}_2$ . Pada penelitian ini, oksidasi diperoleh dari proses pemanasan dan penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Dalam air,  $\text{H}_2\text{O}_2$  akan terurai menjadi air dan  $\text{O}_2$ . Sedangkan di dalam asam klorida,  $\text{H}_2\text{O}_2$  akan bereaksi dan menghasilkan gas klorin  $\text{Cl}_2$ . Reaksi penguraian  $\text{H}_2\text{O}_2$  adalah sebagai berikut (Farhat *dkk.*, 2010):



Pada proses klorinasi biasanya digunakan tekanan tinggi, hingga 873 K (Ojeda *dkk.*, 2009), namun pada penelitian ini pemanasan dilakukan hanya hingga  $60^\circ\text{C}$ . Pemanasan akan meningkatkan temperatur dan tekanan sistem larutan. Pemanasan merupakan salah satu cara untuk menghasilkan reaksi oksidasi. Pemanasan akan mempercepat pembentukan gas klor pada reaksi  $\text{H}_2\text{O}_2$  dengan HCl sehingga oksidasi Au oleh gas klor akan berlangsung lebih cepat. Jumlah mol gas kloro lebih banyak dari pada jumlah mol emas sehingga reaksi akan bergeser ke kanan, menghasilkan kompleks emas klorida. Menurut (Hasab *dkk.* (2013), tekanan tinggi dapat menghilangkan sulfida pada larutan dan mempermudah pengikatan Au. Seperti diketahui Au pada penelitian ini terinklusi pada mineral ferro-sulfida, maka oksidasi diperlukan untuk mempermudah pembentukan senyawa kompleks Au. Penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  akan melarutkan Fe pada pirit. Reaksi yang terjadi adalah:



Menurut (Ochromowicz dan Chmielewski, 2011), beberapa logam yang dapat menghambat proses pelindian Au, di antaranya adalah Fe, Si, dan As. Didukung oleh hasil penelitian Hasab *dkk.* (2014), adanya Fe dapat menurunkan kecepatan reaksi pelarutan Au.  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  merupakan produk samping dari oksidasi pirit.  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dapat akan mengendap pada pH asam sehingga larutan akan jenuh. Reaksi pembentukan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  adalah sebagai berikut:



Walaupun terdapat pembentukan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , kompleks  $\text{AuCl}_4^-$  tetap terbentuk sehingga Au dalam percontoh dapat terdeteksi. Hal ini mengindikasikan bahwa ekstraksi Au dari percontoh abu dapat dilakukan dengan metode klorinasi.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, klorinasi dengan HCl dan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dapat digunakan sebagai salah satu alternatif metode ekstraksi Au dari jaringan tanaman. Proses klorinasi dapat dilakukan pada temperatur rendah karena ditambahkan  $\text{H}_2\text{O}_2$  sebagai oksidator untuk membantu proses oksidasi oleh pemanasan. Kadar Au terukur pada percontoh abu adalah 1,05; 1,29 dan 4,22 mg/kg. Logam lain, seperti Pb, Zn, Ag, dan Cu, juga dapat terekstraksi dengan metode ini. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan optimasi metode klorinasi untuk mengetahui efektivitasnya dalam mengekstraksi Au dari jaringan tanaman.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara atas terselenggaranya penelitian dalam bidang fitoekstraksi emas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agacayak, T., Aras, A., Aydogan, S. dan Erdemoglu, M. (2014) "Leaching of chalcopryrite concentrate in hydrogen peroxide solution," *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 50(2), hal. 657–666. doi: 10.5277/ppmp140219.
- Ahtiainen, R. dan Lundstrom, M. (2016) "Preg-robbing of gold in chloride-bromide solution," *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 52(1), hal. 244–251. doi: 10.5277/ppmp160121.
- Alafara, A., Kuranga, I., Rafiu, B. dan Folahan, A. (2015) "Quantitative leaching of a Nigerian chalcopryrite ore by nitric acid," *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(2), hal. 115. doi: 10.4314/bajopas.v7i2.20.
- Aromaa, J., Rintala, L., Kahari, M. dan Forsen, O. (2015) "Dissolution of gold with cyanide

- replacing agents," *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 51(1), hal. 269–279. doi: 10.5277/ppm150124.
- Cui, J. dan Zhang, L. (2008) "Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review," *Journal of Hazardous Materials*, hal. 228–256. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.02.001.
- Dasna, I. W., Parlan dan Susiyadi, D. M. (2013) "Pemisahan emas dari batuan alam dengan metode reduktor ramah lingkungan," in *Seminar Nasional FMIPA UNDIKSHA III Tahun 2013*. Prosiding Seminar Nasional MIPA, hal. 345–351.
- Donato, D. B., Nichols, O., Possingham, H., Moore, M., Ricci, P. F. dan Noller, B. N. (2007) "A critical review of the effects of gold cyanide-bearing tailings solutions on wildlife," *Environment International*, 33(7), hal. 974–984. doi: 10.1016/j.envint.2007.04.007.
- Ebel, M., Evangelou, M. W. H. dan Schaeffer, A. (2007) "Cyanide phytoremediation by water hyacinths (*Eichhornia crassipes*)," *Chemosphere*, 66(5), hal. 816–823. doi: 10.1016/j.chemosphere.2006.06.041.
- Farhat, K., Batonneau, Y., Kappenstein, C. dan Théron, M. (2010) "Decomposition of hydrogen peroxide: influence of the shape of catalyst support," in *46th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit*. Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics. doi: 10.2514/6.2010-6985.
- Ficeriová, J. (2012) "Mechanical activation and electrolysis of gold from goldsmith's waste," *Acta Montanistica Slovaca*, 17(1), hal. 42–46.
- Hasab, M. G., Rashchi, F. dan Raygan, S. (2013) "Chloride-hypochlorite oxidation and leaching of refractory sulfide gold concentrate," *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 49(1), hal. 61–70. doi: 10.5277/ppmp130106.
- Hasab, M. G., Rashchi, F. dan Raygan, S. (2014) "Kinetic studies for gold leaching of a refractory sulfide concentrate by chloride-hypochlorite solution," *Iranian Journal of Materials Science and Engineering*, 11(2), hal. 37–47.
- Jadhav, U. U. dan Hocheng, H. (2012) "A review of recovery of metals from industrial waste," *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 54(2), hal. 159–167.
- Kamberović, Ž., Korać, M., Ivšić, D., Nikolić, V. dan Ranitović, M. (2009) "Hydrometallurgical process for extraction of metals from electronic waste, Part I: Material characterization and process option selection," *AMES Scientific Paper*, 15(4), hal. 231–243. doi: 661.061.34:628.4.043.
- Kumar, V. dan Yadav, S. K. (2009) "Plant-mediated synthesis of silver and gold nanoparticles and their applications," *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 84(2), hal. 151–157. doi: 10.1002/jctb.2023.
- Lide, D. R. (2007) *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 88th ed, Boca Raton, Fla. 88th ed. CRC Press. doi: 10.1136/oem.53.7.504.
- Marshall, A. T., Haverkamp, R. G., Davies, C. E., Parsons, J. G., Gardea-Torresdey, J. L. dan van Agterveld, D. (2007) "Accumulation of gold nanoparticles in Brassica Juncea," *International Journal of Phytoremediation*, 9(3), hal. 197–206. doi: 10.1080/15226510701376026.
- De Michelis, I., Olivieri, A., Ubaldini, S., Ferella, F., Beolchini, F. dan Vegliò, F. (2013) "Roasting and chlorine leaching of gold-bearing refractory concentrate: Experimental and process analysis," *International Journal of Mining Science and Technology*, 23(5), hal. 709–715. doi: 10.1016/j.ijmst.2013.08.015.
- Natesh, P. P., Govindaradjane, S. dan Kumar, S. P. (2015) "Methodological review on recovery of gold from E-waste in India," *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 8(2), hal. 268–272.
- Nguyen, N. V., Jeong, J., Jha, M. K., Lee, J. C. dan Osseo-Asare, K. (2010) "Comparative studies on the adsorption of Au(III) from waste rinse water of semiconductor industry using various resins," *Hydrometallurgy*, 105(1–2), hal. 161–167. doi: 10.1016/j.hydromet.2010.09.003.
- Ochromowicz, K. dan Chmielewski, T. (2011) "Solvent extraction in hydrometallurgical processing of polish copper concentrates," *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 46, hal. 207–218.
- Ojeda, M. W., Perino, E. dan Ruiz, M. del C. (2009) "Gold extraction by chlorination using a pyrometallurgical process," *Minerals Engineering*, 22(4), hal. 409–411. doi: 10.1016/j.mineng.2008.09.002.

- Pratama, C. F. dan Suprpto (2011) "Pengaruh penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pada sianidasi emas dari batuan mineral," in *Prosiding Tugas Akhir Semester Genap 2010/2011*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam - Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rodriguez, E., Schez-Salcido, B., Peralta-Videa, J. R., Parsons, J. G., Romero, J., Delgado, M., Cruz, G. dan Gardea-Torresdey, J. L. (2006) "Phytomining gold: soil trials," in *231st American Chemical Society National Meeting*. Atlanta, GA: Division of Environmental Chemistry, hal. 384–389.
- Vanýsek, P. (2010) "Electrochemical series," in *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 91st ed. CRC Press, hal. 8–20.
- Wilson-Corral, V., Anderson, C., Rodriguez-Lopez, M., Arenas-Vargas, M. dan Lopez-Perez, J. (2011) "Phytoextraction of gold and copper from mine tailings with *Helianthus annuus* L. and *Kalanchoe serrata* L.," *Minerals Engineering*, 24(13), hal. 1488–1494. doi: 10.1016/j.mineng.2011.07.014.

