

PEMISAHAN EMAS DARI BATUAN ALAM DENGAN METODE REDUKTOR RAMAH LINGKUNGAN

I Wayan Dasna, Parlan, Dwi Mei Susiyadi

Jurusan Kimia, Universitas Negeri Malang

idasna@um.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memisahkan emas pada batuan alam menggunakan metode natrium bisulfit yang ramah lingkungan. Penelitian terdiri dari tahap-tahap: penetapan kondisi optimum metode natrium bisulfit menggunakan larutan standar emas dan penerapan metode natrium bisulfit pada batuan alam yang berada di salah satu wilayah Jawa Timur. Karakterisasi emas yang dihasilkan dianalisis dengan XRF dan EDX. Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi minimum larutan emas yang dapat dipisahkan dengan metode natrium bisulfit adalah 400 ppm. Metode natrium bisulfit dapat memisahkan emas dari batuan alam yang diperoleh pada dua daerah di Jawa Timur dan menghasilkan rendemen sebesar 1,020% serta memiliki kemurnian sebesar 88,12%.

Kata kunci: emas, batuan alam, natrium bisulfit

1. Pendahuluan

Pemisahan emas dari batuan-batuan di alam merupakan kajian yang menarik karena emas merupakan logam mulia dengan nilai ekonomi yang tinggi. Emas diperoleh dengan cara mengisolasi dari batuan bijih emas. Metode isolasi emas yang saat ini banyak digunakan untuk eksploitasi emas skala industri adalah metode sianida dan metode amalgamasi (Steele *dkk*, 2000). Eksplorasi emas dari batuan atau tambang emas yang dikelola oleh masyarakat pada umumnya juga menggunakan metode sianida dimana emas tidak murni yang dipisahkan dari batuan dioksidasi dengan larutan kalsium sianida kemudian direduksi dengan logam Zn. Pada tahap ini akan diperoleh emas yang masih bercampur dengan logam lain. Pemurnian emas kemudian dilakukan dengan melarutkan emas dengan raksa dimana emas larut dalam raksa dan logam-logam pengotor lainnya tidak larut. Emas kemudian dipisahkan dengan cara pemanasan dimana raksa akan menguap dan emas yang lebih murni dapat diperoleh.

Pemisahan emas dengan metode tersebut sangat efektif dan mudah sehingga hampir semua penambangan tradisional menggunakan metode tersebut. Hanya saja, limbah yang dibuang ke lingkungan yang berupa cairan mengandung sianida dan gas yang mengandung raksa sangat berbahaya bagi pelestarian lingkungan dan kesehatan manusia. Limbah sianida merupakan racun yang sangat berbahaya bagi biota air dan tidak mudah terurai menjadi spesi yang tidak berbahaya. Demikian juga uap raksa merupakan racun yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia dan bahkan dapat

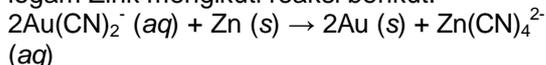
mengendap pada ikan dan hewan sehingga membahayakan konsumen ikan tersebut. Oleh sebab itu sangat penting dicari upaya atau metode baru untuk pemisahan emas secara konvensional yang tidak membahayakan manusia dan lingkungannya.

Secara kimia, metode sianida memiliki keunggulan antara lain proses ekstraksi yang sederhana dan memiliki kemurnian emas 80% (Supriyadijaja, 2009). Metode sianida juga memiliki beberapa kelemahan, antara lain proses berjalan sangat lambat dan menggunakan natrium sianida yang sangat beracun. Sianida bisa larut dalam air, sedimen dan biota laut, akibatnya terjadi kontaminasi pada biota laut, sehingga dikhawatirkan keanekaragaman hayati mengalami kepunahan (Mukaddis, 2008). Penelitian Lutvi (2009) menyatakan bahwa kegiatan pengolahan emas dengan metode amalgamasi dan proses sianidasi memberikan dampak negatif terhadap kualitas air dan sedimen disekitar lokasi pengolahannya.

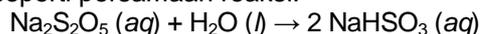
Penelitian tentang pemisahan emas menggunakan pelarut air raja pada *waste printed circuit board* (WPCB) telah dilakukan Park (2008) yang memiliki persen massa emas 93%. Penelitian tentang natrium bisulfit juga dilakukan oleh Pitoi *dkk* (2008) yang menyatakan bahwa natrium bisulfit dapat menurunkan sianida bebas yang berasal dari proses pengolahan emas menggunakan proses sianidasi. Penambahan natrium bisulfit dengan katalis Cu pada limbah proses sianidasi dapat menurunkan kadar sianida bebas pada limbah tersebut. Pada penelitian-penelitian

tersebut natrium bisulfit digunakan untuk mengurangi kadar sianida yang digunakan dalam proses reduksi ion emas menjadi emas.

Pada proses pemisahan ion-ion emas dari larutan terjadi proses reduksi dimana ion Au(III) akan direduksi menjadi Au. Pada proses ini diperlukan reduktor. Pada proses sianida terjadi reduksi oleh logam Zn mengikuti reaksi berikut.



Pada proses tersebut limbah akan mengandung ion kompleks dari sianida dan sangat berbahaya untuk lingkungan. Pada pemisahan emas yang melibatkan Natrium bisulfit, ion bisulfit akan mengalami oksidasi (sebagai reduktor) yang berfungsi sama dengan Zn pada proses pemisahan dengan sianida. Oleh sebab itu, jika ion emas ada dalam bentuk ion bukan sianida maka pemisahan dengan bisulfit dapat dilakukan. Larutan natrium bisulfit dapat dihasilkan dari pelarutan natrium metabisulfit dengan air seperti persamaan reaksi:



Natrium bisulfit dapat menjadi agen pereduksi untuk larutan yang kaya emas seperti terlihat pada persamaan reaksi. Bijih emas dilarutkan dengan air raja sehingga dihasilkan larutan yang mengandung kompleks tetrakloroaurat(III). Cara mendapatkan emas murni dari larutan emas yaitu dengan cara mereduksi larutan emas tersebut dengan natrium bisulfit (Alicia, 2012).



Prinsip metode ini adalah reduksi dengan reduktor lemah yang ramah lingkungan. Larutan yang mengandung ionion sulfat atau bisulfat dan ion halogen akan mudah dinetralkan oleh lingkungan baik oleh bakteri yang menyukai sulfur atau dengan cara konvensional melalui penambahan air kapur. Pemilihan natrium bisulfit disebabkan di samping ramah lingkungan juga mempunyai harga yang terjangkau. Alasan yang paling penting menggunakan natrium bisulfit yaitu tidak adanya zat berbahaya yang dihasilkan saat mereduksi emas dari senyawa kompleks tetrakloroaurat (III). Pada penelitian ini digunakan sampel batuan yang mengandung emas diambil dari beberapa daerah di Jawa Timur yaitu di suatu tempat di Tulung Agung dan Banyuwangi. Untuk menjaga keamanan daerah tersebut batuan tersebut selanjutnya disebut batuan alam Jawa Timur. Studi awal melalui uji XRF

menunjukkan bahwa persentase emas dalam batuan alam Jawa Timur dengan kode sampel X1 sebesar 6,12%. Kandungan lainnya adalah Kalsium 88 %, Silika 1,2%, belerang 0,06 % besi 1,41 % sisanya yaitu Mn, In, Eu dan Cu.

2. Metode Penelitian

Penelitian merupakan penelitian eksperimen. Penelitian dilakukan dalam dua tahap yaitu 1) penetapan kondisi optimum metode natrium bisulfit pada larutan standar emas, 2) penerapan metode natrium bisulfit pada batuan alam Jawa Timur. Karakterisasi emas yang dihasilkan dianalisis dengan XRF dan EDX. Penetapan kondisi optimum metode natrium bisulfit menggunakan larutan standar emas meliputi pembuatan larutan standar emas menggunakan emas murni, uji konsentrasi minimum metode natrium bisulfit dan pemisahan emas pada larutan standar menggunakan metode sianida dan metode natrium bisulfit

1. Larutan Standar Emas

Sebanyak 1,04 gram emas murni (99%) dilarutkan dalam 80 mL larutan air raja yang dibuat dari campuran HCl pekat dan HNO₃ pekat dengan perbandingan 1:3. Pelarutan dilakukan dengan proses pengadukan menggunakan pengaduk magnet hingga homogeny sehingga seluruh emas terlarut. Konsentrasi larutan setelah penambahan air raja yaitu 13000 ppm.

2. Uji efektifitas penggunaan Natrium Bisulfit

Bisulfit Larutan standar emas 13000 ppm diencerkan pada konsentrasi berturut-turut 1000 ppm, 900 ppm, 800 ppm, 700 ppm hingga 100 ppm. Masing-masing konsentrasi ditambah 5 mL larutan natrium bisulfit 1M dan dibuat grafik pengamatan untuk konsentrasi minimal larutan standar emas yang masih bisa mengendapkan emas pada saat penambahan larutan natrium bisulfit.

3. Pemisahan Emas dari Larutan Standar Emas dengan Metode Sianida

Larutan standar emas diambil 5 mL dan ditambah larutan NaOH 2 M sampai pH 11. Setelah itu ditambah dengan larutan NaCN 1% 15 mL, ditutup dengan aluminium foil dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 24 jam. Hasil dari pengadukan tersebut ditambah 0,5 gram seng foil. Seng foil diambil dengan cara didekantasi dan dibakar dengan alat pembakar. Emas yang terbentuk dicuci dengan asam nitrat kemudian dikeringkan dan ditimbang dengan

timbangan analitik. Setelah ditimbang, dianalisis dengan EDX.

4. Pemisahan Emas dari Larutan Standar Emas dengan Metode Natrium Bisulfit

Sebanyak 5 mL larutan standar emas ditambah dengan 5 mL larutan NaHSO_3 1 M. Endapan yang terbentuk diambil dengan cara didekantasi dan dilakukan pencucian dua kali menggunakan aquades dan larutan HCl 32%. Hasil dari pencucian endapan dipanaskan sampai filtrat menguap, lalu ditimbang endapan kering yang tersisa. Diulangi langkah sebelumnya sampai tahap penimbangan. Setelah itu dibakar dengan suhu 1100°C . Emas yang terbentuk ditimbang dan dianalisis dengan EDX.

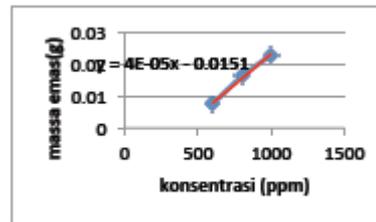
5. Penerapan Metode Natrium Bisulfit pada Batuan Alam Jawa Timur

Sebanyak 6,0081 gram dihaluskan dengan mortar hingga 75 mesh. Hasil penghalusan batuan alam dibakar pada suhu 1000°C . Pasir hasil pembakaran ditambah dengan 10 mL larutan HCl 32% dan diaduk selama 2 jam dengan pengaduk magnet. Hasil dari pengadukan disaring dengan kertas saring. Residu pada proses penyaringan ditambahkan 20 mL air raja dan diaduk selama 3 jam dengan pengaduk magnet kemudian didekantasi. Filtrat diuji kualitatif dengan SnCl_2 untuk memastikan ada emas yang terkandung dalam filtrat. Filtrat ditambah 5 mL larutan NaHSO_3 1 M. Endapan yang terbentuk dicuci dua kali menggunakan HCl 32% dan aquades kemudian diuapkan. Endapan ditimbang dan dibakar dengan alat pembakar. emas yang terbentuk ditimbang dengan neraca analitik. Kemudian dianalisis dengan EDX.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

1. Uji Konsentrasi efektifitas Metode Natrium Bisulfit

Uji efektifitas metode natrium bisulfit dengan penambahan natrium bisulfit pada larutan standar emas dengan konsentrasi 100 ppm sampai 1000 ppm dilakukan untuk mengetahui konsentrasi minimum pada larutan standar emas saat penambahan natrium bisulfit. Larutan standar emas Konsentrasi 100-300 ppm tidak menghasilkan endapan, konsentrasi 400- 1000 ppm dihasilkan endapan. Uji konsentrasi minimal larutan standar emas dengan metode natrium bisulfit dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Konsentrasi larutan emas yang dapat diendapkan emasnya dengan metode bisulfit

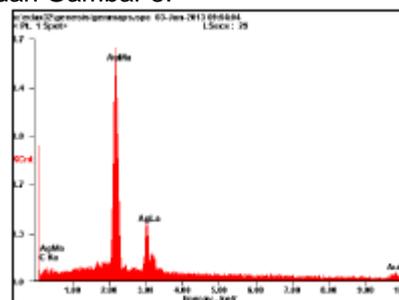
Pengendapan larutan emas dengan penambahan larutan natrium bisulfit pada konsentrasi di bawah 400 ppm tidak diperoleh endapan. Dengan demikian dapat diketahui bahwa konsentrasi larutan minimal ion emas yang dapat diendapkan dengan metode natrium bisulfit adalah 400 ppm.

2. Pemisahan Emas dari Larutan Standar Emas dengan Metode Sianida dan Metode Natrium Bisulfit

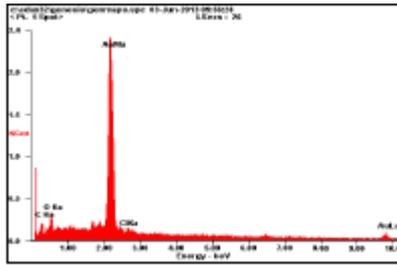
Pemisahan emas dari larutan standar emas dengan metode sianida dan metode natrium bisulfit bertujuan untuk membandingkan keefektifan kedua metode dalam pemisahan emas dari larutan standar emas.

Emas yang diperoleh dari metode sianida sebesar 0,0334 g, yang berasal dari 5 mL hasil pelarutan emas murni seberat 1,04 g dengan 80 mL air raja. Rendemen emas dapat diperoleh adalah 51,38%. Sedangkan Hasil emas yang diperoleh dari metode natrium bisulfit sebesar 0,0534 g, yang berasal dari 5 mL hasil pelarutan emas murni seberat 1,04 g dengan 80 mL air raja. Rendemen emas dapat diperoleh menggunakan metode bisulfit adalah 82,15%.

Hasil karakterisasi dengan EDX secara kualitatif menghasilkan kurva hubungan antara konsentrasi komponen dengan energi dari emas hasil pemisahan. Spektrum energi hasil pemisahan emas pada larutan standar emas menggunakan metode natrium bisulfit dan metode sianida dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Spektrum Energi Hasil Pemisahan Emas pada Larutan Standar emas metode sianida



Gambar 3. Spektrum Energi Hasil Pemisahan Emas pada Larutan Standar emas metode bisulfit

Berdasarkan spektra EDX yang disajikan pada Gambar 2 dan 3 dapat diketahui bahwa hasil pemisahan kedua metode adalah emas namun masih belum murni. Pemisahan dengan metode sianida (Gambar 2) menunjukkan bahwa emas hasil pemisahan masih mengandung perak (Ag). Unsur ini berasal dari campuran emas yang digunakan sebagai standar karena kemurnian emas standar adalah 99%. Keadaan ini menunjukkan bahwa pemisahan dengan metode sianida tidak saja mengendapkan emas tetapi juga unsur-unsur yang digunakan sebagai campuran emas seperti perak.

Pemisahan dengan bisulfit terhadap larutan standar emas yang sama dapat memisahkan emas namun masih berisi pengotor lain seperti C, O, dan Cl. Unsur-unsur C paling mungkin berasal dari *coating* yang digunakan sebagai penutup sampel sebelum dianalisis EDX. Berdasarkan reaksi yang berlangsung (lihat bagian 1) tidak terdapat hasil reaksi yang mengandung C dan O. Sedangkan Cl dapat berasal dari $AuCl_4^-$ yang belum beraksi dan masih melekat pada permukaan emas yang dihasilkan. Keadaan ini dapat terjadi karena larutan bisulfit merupakan reduktor lemah. Secara kuantitatif, kemurnian hasil pemisahan larutan emas standar dengan kedua metode disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Unsur-unsur yang terkandung pada emas hasil pemisahan dengan metode sianida

Unsur	Metode sianida	
	Wt(%)	At(%)
Au	78.36	41.07
Ag	16.63	15.92
C	05.00	43.01

Tabel 2. Unsur-unsur yang terkandung pada emas hasil pemisahan dengan metode bisulfit

Unsur	Metode Natrium Bisulfit	
	Wt(%)	At(%)
Au	83.21	25.72
Cl	00.89	01.52
C	09.70	49.17
O	06.20	23.58

Berdasarkan data pada Tabel 1 dan 2 dapat diketahui bahwa pemisahan larutan emas standar dengan metode sianida mengandung unsur emas 78,36% dan perak 16,63%. Sedangkan pemisahan sampel yang sama dengan metode bisulfit menghasilkan emas dengan kandungan unsur emas 83,21% dan tidak mengandung unsur logam yang lain.

Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa metode bisulfit dapat berfungsi sebagai reduktor ion emas (III) untuk menghasilkan emas. Reduktor bisulfit dapat berfungsi yang sama dengan metode ion sianida yang digunakan dalam pemisahan emas dari larutannya. Berdasarkan persentase emas yang dapat diendapkan dapat diketahui bahwa pemisahan emas dengan menggunakan reduktor bisulfit lebih tinggi dibandingkan dengan metode sianida. Pemisahan sampel dengan konsentrasi emas yang sama, penggunaan reduktor bisulfit menghasilkan rendemen lebih besar dan kandungan emas lebih tinggi dibandingkan dengan pemisahan emas menggunakan metode sianida. Keadaan ini dapat dinyatakan bahwa metode bisulfit lebih efektif memisahkan larutan yang mengandung emas dibandingkan dengan metode sianida.

3. Penerapan Metode Pengendapan Emas Menggunakan Natrium Bisulfit Pada Batuan Alam Jawa Timur

Batuan alam yang telah dianalisis dengan XRF dan diketahui mengandung emas dalam kadar yang kecil perlu dipekatkan terlebih dahulu. Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa reduktor bisulfit hanya mampu mereduksi ion emas yang ada dalam larutan dengan konsentrasi minimal 400 ppm. Untuk mencapai konsentrasi tersebut sampel harus dipekatkan terlebih dahulu dengan cara menghomogenkan unsur-unsur atau senyawa-senyawa lain yang mengganggu. Senyawa pertama yang dihilangkan adalah senyawa besi. Untuk mengurangi kandungan besi dipisahkan dengan cara konvensional yaitu dengan menarik senyawa besi menggunakan magnet. Sampel yang telah dibuat menjadi serbuk dimasukkan magnet

secara berulang sehingga sampel yang mengandung besi tertarik oleh magnet. Proses ini hanya dapat meningkatkan sebagian kecil konsentrasi emas dalam sampel.

Proses pemekatan selanjutnya digunakan pembakaran sampel pada 1000°C. Pembakaran ini bertujuan untuk menghilangkan senyawa-senyawa karbonat dan bikarbonat untuk diubah menjadi gas karbondioksida. Sisa sampel kemudian direaksikan dengan asam klorida (HCl) pekat untuk memperoleh larutan yang mengandung emas dan ion-ion logam lainnya. Bila terdapat sampel yang belum larut, ditambahkan air raja (aqua regia) sampai semua sampel larut. Proses yang dilakukan untuk mengendapkan larutan

emas dari batuan X1 dengan metode bisulfit disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan data pada Tabel 3, dari sekitar 6 g sampel X1 yang dilarutkan dalam air raja kemudian direduksi menggunakan larutan natrium bisulfit diperoleh endapan emas sebelum dibakar sebesar 0,066g dan setelah dibakar untuk memperoleh emas yang lebih murni diperoleh massa emas sebesar 0,06 g. Dengan demikian massa emas yang dapat diendapkan dengan cara ini mencapai 1% dari massa baruan. Bila ditinjau dari kandungan emas dalam batuan dari hasil XRF, sampel X1 mengandung 6,10% emas (massa batuan 6,0g) atau 0,36g per 6 g sampel. Emas yang dapat diendapkan sebanyak 16,67%. Berdasarkan hasil tersebut masih cukup kecil.

Tabel 3. Pengendapan emas dari sampel X1 menggunakan reduktor bisulfit

Tahapan Penelitian	Pengamatan
1. Sampel X1 (6,0081g)	
a) Dihaluskan dengan mortar	a) Batuan menjadi serbuk.
b) Dibakar pada suhu 1000 °C	b) Serbuk merah kecoklatan
c) Ditambah 10 mL larutan HCl 32% dan diaduk selama 2 jam	c) Terbentuk filtrat dan residu
d) Didekantasi	d) Filtrat berwarna oranye dan endapan berwarna coklat kemerahan
e) Residu hasil dekantasi ditambah 20 mL air raja dan diaduk selama 3 jam lalu didekantasi	e) Terbentuk residu dan filtrat. Filtrat dan endapan berwarna kuningMassa residu 5,2 g
f) Ditambah 5 mL NaHSO ₃ 1 M dan dibiarkan sampai terendap sempurna lalu didekantasi	f) Terbentuk endapan hitam dan filtrat tidak berwarna.
g) Endapan dicuci dengan HCl 32% kemudian diuapkan dan dicuci ulang dengan aquades kemudian diuapkan	g) Endapan berwarna coklat muda
h) Endapan kering ditimbang	h) Massa endapan 0,0655 g
i) Endapan kering dibakar dengan alat pembakar	i) Terbentuk butiran emas
j) Emas yang terbentuk ditimbang	j) Massa emas 0,0613 g

Penggunaan metode yang sama terhadap sampel X2 dengan kandungan emas dalam sampel yang lebih rendah yaitu 0,06% dari 13 kg sampel yang diproses dengan tahap-tahapan yang sama diperoleh endapan emas sebanyak 0,0113 g (0,378%).

Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa reduktor bisulfit dapat mengendapkan emas dari larutan emas dan dapat diterapkan pada larutan batuan yang mengandung emas. Metode ini belum efektif mengendapkan seluruh ion emas yang ada dalam batuan karena beberapa faktor seperti: (1) pemekatan sampel batuan tidak mudah dilakukan terutama pada sampel yang kandungan emasnya sangat kecil. Pemekatan secara konvensional dapat membuang sampel yang masih mengandung emas. (2) Pada proses pelarutan sampel dapat terjadi bahwa belum semua emas yang ada dalam sampel diubah menjadi ion emas(III) sehingga sulit direduksi oleh reduktor lemah seperti bisulfit. Namun demikian, metode ini membawa keuntungan dibandingkan dengan metode sebelumnya yaitu: (1) limbah dari proses reduksi berupa cairan yang mengandung ion sulfat dan ion klorida yaitu campuran yang bersifat asam tetapi tidak beracun sebagaimana limbah sianida. Penambahan batu kapur ke dalam limbah campuran akan dapat menetralkan limbah tersebut sehingga menjadi limbah yang dapat diolah oleh lingkungan. (2) metode reduktor bisulfit dapat mengendapkan emas lebih efektif dibandingkan metode sianida dengan harga yang sangat murah. Dengan demikian metode ini dapat diterapkan pada sampel emas yang mengandung emas dalam bentuk senyawa (bukan logam emas) sehingga reduksi dapat dilakukan secara langsung tanpa harus menambahkan air raja.

4. Kesimpulan

Metode natrium bisulfit dapat digunakan untuk memisahkan emas dari batuan yang mengandung emas dan lebih efektif dibandingkan dengan metode sianida. Hal ini dapat dibuktikan dari nilai massa emas yang diperoleh, rendemen emas yang dihasilkan dan kemurnian emas pada metode natrium bisulfit lebih tinggi daripada metode sianida. Rendemen emas yang diperoleh dari metode natrium bisulfit sebesar 82,15% sedangkan pada metode sianida menghasilkan rendemen sebesar 51,38%. Emas yang diperoleh pada metode natrium bisulfit memiliki kemurnian sebesar

83,21% lebih tinggi daripada metode sianida yang memiliki kemurnian 78,36%. Metode natrium bisulfit dapat digunakan pada konsentrasi larutan emas lebih dari 400 ppm. Rendemen yang diperoleh dari pemisahan emas batuan Alam Jawa Timur dengan metode natrium bisulfit sebesar 1,020 % untuk X1 dan sebesar 0,378% untuk X2.

DAFTAR PUSTAKA

- Alicia. (2012). *What is exactly chemical process and why gold drops*. Gold Refining Forum(online),(<http://goldrefiningforum.com>).diakses 10 Juni 2013.
- Deschenes. G. (1998). Leaching of Gold from Chalcopyrite Concentrate by Thiourea. *Hydrometallurgy*, 20: 180 – 202.
- Housecroft, C. E & Sharpe, A. G. (2005). *Inorganic Chemistry 2nd ed*. England: Ashford Colour Press Ltd., Gosport.
- Lutvi M. & Damayanti R. (2009). *Karakterisasi Merkuri dalam Sedimen dan Air Pada Pengolahan Tailing Amalgamsi di Kegiatan Pertambangan Emas Rakyat Secara Sianidasi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral: Prosiding Pertambangan.
- Kasongo, K. (2008). *Enhanced Leaching of Gold and Silver from A Zinc Refinery Residue in Cyanide Media: Effect of Alkaline Pre-treatment of Jarosite Minerals*. South Africa: Tshwan University of Technology.
- Kurnia, A. (2011). *Peningkatan Kualitas Bijih Emas Kadar Rendah dengan Metode Hidrometallurgi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Park, Y. J & Fray, D. J. (2008). Recovery of High Purity Precious Metals from Printed Circuit Boards. *Journal of Hazardous Materials*. 164: 1152-1158.
- Pitoy, M. M., Wuntu, A. D., & Koleangan, H. S. J. (2008). *Detoksifikasi Sianida pa Tailing Tambang Emas dengan Natrium Metabisulfit (Na₂S₂O₅) dan Hidrogen Peroksida (H₂O₂)*. Manado: UNSRAT Manado
- Rusli, A. M. (2009). *Pengembangan Metode Ekstraksi Emas terhadap Batuan Berkadar Emas Rendah*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Simanjuntak, FN. (2010). *Penentuan Kandungan Bijih Emas dari Batuan Penambangan Masyarakat Desa Beuteung-Aceh dengan Metode Sianidasi dan Pemurnian secara Elektrolisis*. Medan: Universitas Sumatra Utara.

- Steele, I. M., L. J., Gaspar, J. C., McMahon, G., Marquez, M. A. & Vasconcellos, M. A. Z. (2000). Comparative Analysis of Sulfides for Gold using SXRF and SIMS. *The Canadian Mineralogist*, 38: 1 – 10.
- Supriyadijaja, A & Widodo. (2009). *Studi Penggunaan H₂O₂ pada Pelarutan Bijih Emas Sukabumi Selatan dengan Larutan Sianida*. Sukabumi selatan: LIPI.
- Svehla, G. (1979). *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimakro*. Jakarta : PT Kalman Media Pusaka.
- Ucar. G. (2009). Kinetics of sphalerite dissolution by sodium chlorate in hydrochloric acid. *Hydrometallurgy*, 96: 39-43.
- Wijayanti, F. A. (2012). *Peningkatan Kandungan Emas Dari batuan Mineral Melalui Penghilangan Unsur-unsur Mayor*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Malang.
- Zipperian, D. dan Raghavan. (1998). Gold and Silver Extraction by Ammoniacal Thiosulfate Leaching from Rhyolite Ore. *Hydrometallurgy*, 20: 203 – 300