

ANALYSIS OF MERCURY (Hg) DISTRIBUTION IN THE WAEAPO RIVER IRRIGATION AREA, BURU REGENCY, MALUKU PROVINCE, GOLD MINING WITHOUT PERMISSION RESULT IN *BOTAK* MOUNTAIN AREA

Analisis Sebaran Merkuri (Hg) pada Area Irigasi Sungai Waeapo, Kab. Buru, Provinsi Maluku Akibat Penambangan Emas Tanpa Ijin di Areal Gunung Botak

**Febrian M. Salatutin¹, Chudeya Y. Batawi¹, Camellia Y. Lessil¹,
Yusthinus T. Male^{1,*}**

¹*Chemistry Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Pattimura University, Kampus Poka, Jl. Ir. M. Putuhena, Ambon 97134*

**Corresponding author, e-mail: yusmale @fmipa.unpatti.ac.id*

Received: June 2015 Published: July 2015

ABSTRACT

The Waeapo River has 13 watersheds, which are irrigated area for thousand hectare of rice field in the District of Buru. Buru District is one of the area that can supply thousands of tones of rice. But, yields to be reduced by the presence of gold mining activities in the Botak Mountain. Gold mining activities not only impact for the decline in yields, but also impact on the quality of rice by mercury pollution generated by mining waste. This research aims to determine the accumulation of mercury in sediment of Waeapo river. The research method is used survey and analysis method. In this research, observations were done and field sampling with the laboratory analyze. The result showed that concentration of analyzed mercury at four point, one point has exceeded standard of mercury limits in the sediment, i.e 0,1 ppm

Keywords: Botak mountain, Environment, Mercury, Gold Mining

PENDAHULUAN

Aktivitas pertanian/persawahan di Kabupaten Buru, menggunakan Sungai Waeapo sebagai area irigasi. Berdasarkan letak geografis dari Sungai Waeapo memiliki 13 daerah aliran sungai yang berada di antara daerah persawahan. Setiap tahunnya Kabupaten Buru dapat menghasilkan padi hingga puluribu-an ton. Penghasilan ini menjadi berkurang pada tahun 2012 hingga 2013, dengan adanya aktivitas pertambangan emas di Gunung Bota, Kabupaten Buru. Aktivitas pertambangan emas dapat mempengaruhi bukan hanya menurunkan penghasilan per tahun, tetapi dapat mengurangi kualitas padi yang dihasilkan, yang dipengaruhi oleh merkuri yang dipakai sebagai bahan utama dalam mengekstraksi emas.

Proses pengolahan emas yang dilakukan pada umumnya menggunakan dua metode yaitu

metode sianidasi dan amalgamasi. Namun, pada daerah pertambangan emas ini, proses pengolahan dilakukan menggunakan metode amalgamasi. Metode amalgamasi merupakan proses ekstraksi emas dengan cara mencampurkan bijih emas dengan merkuri (air raksa) (Veiga dkk., 2009).

Merkuri merupakan logam berat yang murah dan mudah diakses serta banyak digunakan dalam proses ekstraksi emas dari bijihnya. Penggunaan merkuri pada proses ekstraksi emas dapat mempengaruhi populasi manusia serta lingkungan dengan menyebabkan efek yang merugikan kesehatan (Zolnikov, 2012). Dampak dari pencemaran merkuri telah ditemukan pada beberapa Negara seperti, di Teluk Minamata, Jepang. Pada tahun 1953-1956, di Teluk Minamata telah ditemukan puluhan bahkan ratusan orang mengalami gangguan kesehatan yang dipengaruhi oleh akumulasi metil

merkuri dalam tubuh. Metil merkuri yang ditemukan dalam tubuh penderita, dihasilkan melalui ikan yang dikonsumsi oleh masyarakat. Hal ini disebabkan oleh limbah industri yang mengandung merkuri langsung dibuang ke Laut atau Teluk Minamata, sehingga ikan yang dikonsumsi masyarakat telah terakumulasi metil merkuri (Ekino dkk., 2007).

Masalah pencemaran merkuri terjadi di beberapa Negara yang diakibatkan oleh pertambangan emas tanpa izin (PETI), seperti di Filipina, Appleton dkk., (1999) telah menganalisis merkuri di hilir Sungai Diwalwal. Ditemukan pada air sungai merkuri yang teranalisis sebesar 2906 µg/L dan pada sedimen sungai sebesar > 20 mg/Kg, dan di Italia, Covelli dkk., (2009) telah menganalisis merkuri pada Sungai Isonzo yang membawa limbah pertambangan ke Teluk Trieste, ditemukan 4,1 - 52,4 ng/L merkuri di air dan 0,82 - 5,69 mg/g merkuri di sedimen, serta di Ratatotok, Sulawesi Utara, Indonesia, Polii dan Sonya, (2002). Penelitian mereka terkait masalah pencemaran merkuri pada DAS Buyat, dan kandungan merkuri yang terdeteksi di Sungai Buyat berkisar antara 0,00032 mg/L - 0,00049 mg/L. Adanya merkuri di lokasi ini disebabkan karena adanya kegiatan pertambangan rakyat di bagian hulu sungai.

Pada November 2011, cadangan emas ditemukan di Gunung Botak, Pulau Buru, Provinsi Maluku, Indonesia. Sejak tahun 2012, daerah PETI di Gunung Botak telah menggunakan merkuri untuk mengekstraksi bijih emas. Proses pengolahan emas membutuhkan air dalam jumlah yang besar, sehingga umumnya unit pengolahan diletakkan di pinggir sungai. Kondisi ini mengakibatkan limbah yang mengandung merkuri terdistribusi ke dalam Sungai Wamsai serta Teluk Kayeli. Pada pertambangan Gunung Botak, merkuri yang ditemukan dalam kolam limbah sebesar 680 mg/Kg dan pada sedimen Sungai Wamsait dan Teluk Kayeli sebesar 0,35 - 7,66 mg/Kg (Male dkk., 2013).

Penggunaan merkuri yang tidak terkontrol pada daerah PETI di Gunung Botak, akan sangat mempengaruhi kualitas lingkungan. Apabila hujan, semua limbah akan terdistribusi ke dalam sungai dalam jumlah yang besar. Sungai Waeapo merupakan salah satu sungai tempat distribusi

limbah pertambangan emas ke Teluk Kayeli. Dengan fungsi utama Sungai waeapo sebagai area irigasi bagi ribuan hektar sawah, maka hal ini perlu diperhatikan dengan mengetahui konsentrasi merkuri yang telah terdistribusi dan terakumulasi pada Sungai Waeapo.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui konsentrasi merkuri yang telah terakumulasi dan terdistribusi di Sungai Waeapo. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan informasi penting dalam kaitannya dengan kandungan logam berat merkuri di Sungai Waeapo.

METODOLOGI

Bahan

Bahan yang digunakan mulai dari, es batu, sampel sedimen, H₂SO₄ pekat, HNO₃ pekat, SnCl₂.2H₂O, KMnO₄, HClO₄, larutan induk Hg (NO₃)₂, Hydroxyl-aminehydrochlorid, dan akuades.

Alat

Alat yang digunakan mulai dari, *Eickman Grab Sampler (EGS)*, kantong plastik, wadah plastik, *Global Positioning System (GPS)*, kotak es, sarung tangan lateks, kertas saring, lemari pendingin, mangkuk dan sendok plastik, oven, timbangan analitik, penangas air, seperangkat alat gelas, ayakan 100 mesh, dan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Uap Dingin/ *Mercuri Analyzeri (Analytic Jena)*.

Prosedur Kerja

Persiapan atau pra survei

Kegiatan pada tahap persiapan adalah mempersiapkan beberapa alat dan bahan yang diperlukan dalam proses penelitian lapangan atau pengambilan sampel seperti; kantong plastik, kotak es, GPS, EGS, kotak es, alat tulis dan alat transportasi, serta alat lain yang dibutuhkan dalam proses pengambilan sampel.

Penelitian lapangan

Penelitian lapangan bertujuan untuk mengumpulkan data sumber daya tanah/sedimen melalui pengamatan karakteristik sedimen pada setiap lokasi. Untuk menetapkan koordinat titik di peta atau lokasi pengamatan di lapangan secara akurat digunakan alat GPS. Untuk keperluan analisis di laboratorium, contoh

sedimen diambil pada beberapa sungai dengan jumlah 1 sampai dengan 4 titik untuk setiap sungai yang dianalisis. Penetapan titik observasi dilakukan dengan metode taktis tanpa mengabaikan variasi lapangan. Pengambilan sampel sedimen sungai pada kedalaman 1 sampai 4 meter dengan menggunakan EGS. Sedimen yang telah diambil diisi dalam kantong plastik yang berlabel dan diletakkan dalam kotak es. Setelah itu sampel dibawa ke laboratorium untuk proses selanjutnya.

Penelitian laboratorium

Analisis sampel sedimen di laboratorium dimaksudkan untuk mengetahui sifat-sifat kimia yang tidak dapat ditentukan secara kuantitatif di lapangan.

a. Persiapan sampel sedimen

Setelah penelitian lapangan, sampel dimasukkan dalam lemari pendingin sebelum proses selanjutnya. Untuk proses persiapan, sampel dikeluarkan dari lemari pendingin dan dibiarkan pada suhu ruang hingga es pada sampel mencair. Kemudian dengan menggunakan peralatan serba plastik (wadah, mangkuk, dan sendok) dipergunakan untuk memisahkan kotoran yang ada pada sedimen berupa batu, kerang dan kotoran lainnya. Tiga sampel yang diambil dari satu titik kemudian dicampur hingga merata dan dijadikan satu sampel. Selanjutnya sampel tersebut diletakkan dalam mangkuk plastik dan dimasukkan ke dalam oven selama 4 hari pada suhu 30°C untuk menghilangkan kadar air pada sampel hingga kering. Sampel yang telah kering dihaluskan dengan menggunakan mortar dan alu serta diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Setelah sampel halus, ditimbang sebanyak 5 gram dengan timbangan analitik, kemudian sampel dimasukkan dalam kantong plastik yang telah diberi label dan siap untuk dianalisis lebih lanjut. Prosedur ini dilakukan untuk semua sampel.

b. Pembuatan kurva baku dan pembacaan sampel

Dari larutan induk merkuri Hg (Hg 100 ppm), dipipet sebanyak 1 mL, kemudian dimasukkan dalam labu takar 100 mL. Setelah itu larutan diencerkan dengan akuades sampai dengan tanda batas pada labu takar hingga

menghasilkan larutan induk Hg 1 ppm atau 1000 ppb. Dari larutan induk Hg 1000 ppb, dipipet sebanyak 0,1 mL, kemudian dimasukkan dalam labu takar 10 mL. Larutan diencerkan dengan akuades sampai tanda batas pada labu takar hingga menghasilkan larutan induk Hg 10 ppb. Pada larutan induk Hg 10 ppb yang telah dibuat, dipakai untuk membuat konsentrasi standar dengan rentang sebagai berikut : 0,1 ppb; 0,2 ppb; 0,4 ppb; 0,8 ppb. Untuk membuat konsentrasi standar dilakukan dengan dipipet dari larutan induk masing-masing sebanyak: 0,1 mL; 0,2 mL; 0,4 mL; 0,8 mL menggunakan mikro pipet. Selanjutnya masing-masing larutan dimasukkan dalam tiap-tiap labu takar 10 mL. Larutan tersebut selanjutnya diencerkan dengan akuades hingga tanda batas. Pada tahap analisis masing-masing larutan hasil pengenceran sebanyak 10 mL dituangkan dalam tabung reaksi. Pada tiap-tiap tabung reaksi ditambahkan larutan KMnO_4 0,1 mL kemudian larutan dikocok. Setelah dikocok, pada larutan tersebut ditambahkan larutan hydroxylaminehydrochloride 0,1 mL kemudian larutan dikocok lagi. Sebelum dianalisis menggunakan *Mercuri Analyzer*, sampel ditambahkan dengan larutan $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,5 mL dan siap dianalisis.

c. Preparasi sampel sedimen

Sampel sedimen yang telah ditimbang sebanyak 5 gram pada tahap persiapan, diambil sebanyak 1 gram dan dimasukkan dalam erlenmeyer 100 mL. Selanjutnya ditambahkan larutan H_2SO_4 pekat 5 mL dan larutan HNO_3 : HClO_4 (1:1) 5 mL, setelah itu erlenmeyer dipanaskan di atas penangas air hingga menghasilkan larutan jernih dan keluar asap putih (proses ini dilakukan di dalam lemari asam). Hasil larutan yang diperoleh disaring dan diletakan dalam labu takar 50 mL. Larutan hasil penyaringan tersebut diencerkan dengan akuades hingga tanda batas. Prosedur ini dilakukan untuk semua sampel sedimen. Setelah proses preparasi sampel selesai, proses selanjutnya ialah pembuatan blanko dengan perlakuan yang sama dengan proses preparasi sampel, namun tanpa menggunakan sampel sedimen. Setelah pembuatan blanko selesai, maka dari larutan hasil preparasi dipipet 10 mL larutan sampel, kemudian larutan tersebut dimasukkan dalam tabung reaksi. Setelah itu ditambahkan 0,1 mL

larutan KMnO_4 0,1% pada sampel kemudian dikocok. Setelah selesai pengocokkan ditambahkan 0,1 mL larutan hydroxyl-aminehydrochloride kemudian larutan dikocok kembali. Setelah pengocokkan ditambahkan 0,5 mL larutan $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan siap untuk dianalisis menggunakan *Mercury Analyzer*.

Perhitungan Hg total dengan rumus :

$$\text{Hg Total (ppb)} = \frac{(\text{Hg analisis} - \text{Blanko}) \times \text{Volume Akhir} \times \text{Fp}}{\text{Berat Sampel}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keadaan Umum Lokasi Pengambilan Sampel

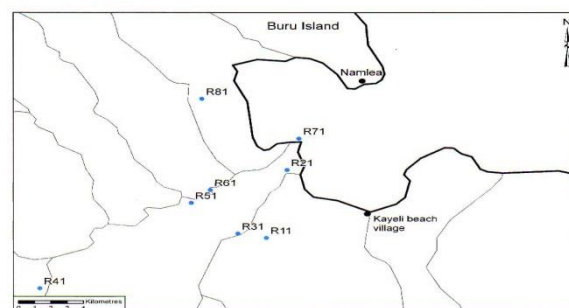
Lokasi pengambilan sampel ditentukan berdasarkan adanya aktivitas Pertambangan Emas Tanpa Izin (PETI) di Kabupaten Buru, tepatnya pada daerah Gunung Botak. Kegiatan pertambangan ini telah berlangsung selama ± 3 tahun, tepatnya pada November 2011 (Male dkk., 2013), serta dikelola secara tradisional oleh masyarakat. Dengan adanya aktivitas pertambangan, mengakibatkan banyak penambang yang datang dari berbagai daerah di Indonesia untuk melakukan aktivitas pertambangan di Gunung Botak.

Dengan bertambahnya penambang di Gunung Botak Kabupaten Buru, mengakibatkan perluasan daerah pertambangan serta daerah pengolahannya. Perluasan daerah pengolahan, mulai dari daerah Wamsait hingga daerah Waeapo. Pada kedua daerah ini terdapat dua sungai yang merupakan tempat distribusi seluruh material pertambangan maupun pertanian, yaitu Sungai Waelata dan Sungai Waeapo.

Pada daerah pertambangan ini, penambang menggunakan bahan merkuri (air raksa) sebagai bahan utama dalam proses pengolahan bijih emas. Proses ini disebut metode amalgamasi. Metode ini membutuhkan banyak air, sehingga umumnya penambang memilih menempatkan unit pengolahannya pada daerah aliran sungai bahkan pada pinggir sungai. Hal ini apabila hujan, semua limbah material pertambangan dapat terbawa ke sungai dan laut dalam jumlah yang besar. Berikut adalah gambaran umum Pulau Buru dan Daerah Penelitian pada Sungai Waeapo, diperlihatkan pada Gambar 1 dan 2.

Hasil penelitian diperoleh melalui dua tahapan penelitian, yakni tahapan penelitian lapangan dan tahapan penelitian laboratorium. Hasil analisis parameter fisika dan kimia pada sampel penelitian di Sungai Waeapo diperlihatkan pada Tabel 1.

Map 2: River samples



Gambar 1. Peta Pulau Buru dan Daerah Lokasi Penelitian

Berdasarkan data hasil analisis pada Tabel 1, memperlihatkan akumulasi distribusi merkuri pada Sungai Waeapo, yang disebabkan oleh adanya aktivitas pertambangan emas tanpa izin. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Veiga, dkk. (2009), melaporkan pengolahan emas yang dilakukan dengan menggunakan metode amalgamasi, memungkinkan hilangnya merkuri bersama limbah dalam satu kali pengolahan sebesar 25-30%. Dengan demikian, aktivitas pertambangan emas yang berlangsung di Pulau Buru, dapat mencemari lingkungan oleh merkuri yang terbuang dari limbah pertambangan.

Konsentrasi Merkuri dalam Sedimen

Sampel pertama di Sungai Waeapo diambil pada hulu sungai tepat pada Jembatan Waeapo. Konsentrasi merkuri yang teranalisis pada titik ini (R4) sebesar 0,102 ppm. Konsentrasi merkuri yang teranalisis pada lokasi ini masih di bawah batas standar merkuri dalam sedimen. Pada lokasi ini tidak ditemukan adanya unit pengolahan emas, namun dengan ditemukannya konsentrasi merkuri yang terakumulasi pada titik ini, memperlihatkan adanya penyebaran unit pengolahan di daerah sekitar.

Sampel kedua dan ketiga pada Sungai Waeapo diambil pada bagian antara hulu sungai dan muara Sungai Waeapo (atau pada bagian tengah dari Sungai Waeapo). Kedua lokasi (R5

dan R6) diperlihatkan pada Gambar 1, dan Tabel 1. Pada kedua titik, konsentrasi merkuri yang teranalisis sebesar 0,005 ppm untuk sampel R5, dan 0,002 ppm untuk sampel R6. Konsentrasi merkuri yang masih rendah pada kedua titik ini, dipengaruhi oleh arus sungai yang sangat besar serta kedalaman sungai yang hanya 1,0-2,5 meter, sehingga material yang terbawa dari hulu sungai tidak mengalami sedimentasi pada lokasi ini, namun terbawa langsung ke hilir sungai hingga ke laut.

Sampel keempat pada Sungai Waeapo diambil pada bagian hilir sungai, tepat pada Desa Kaki Air. Lokasi pada titik (R7) diperlihatkan pada Gambar 1, dan Tabel 1. Konsentrasi merkuri yang teranalisis pada titik ini sebesar 0,031 ppm. Merupakan konsentrasi terkecil di bagian hilir sungai dibandingkan dengan hilir Sungai Wamsait. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungannya, karena lokasi ini terbuka ke laut,

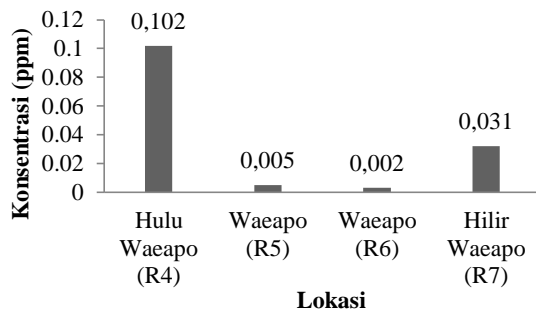
sehingga semua material dari hulu sungai terbawa langsung menuju laut. Arus sungai yang besar memungkinkan tidak terjadinya sedimentasi pada titik ini, sehingga konsentrasi merkuri yang terakumulasi pada titik ini masih di bawah batas standar merkuri dalam sedimen.

Analisis Sebaran Merkuri

Akumulasi merkuri pada sedimen Sungai Waeapo, disebabkan oleh distribusi merkuri dari daerah hulu yang dihasilkan dari limbah pengolahan emas. Berdasarkan data hasil analisis konsentrasi pada keempat lokasi sampel di Sungai Waeapo, ditemukan konsentrasi merkuri yang masih rendah yaitu sebesar 0,003 - 0,102 ppm. Perbandingan konsentrasi keempat titik lokasi pengambilan sampel di Sungai Waeapo diperlihatkan pada Gambar 3.

Tabel 1. Hasil pengukuran variabel utama penelitian

No	Kode Sampel	Lokasi Sampel (sedimen)	Koordinat (GPS)	PARAMETER		
				Kedalaman (meter)	Tekstur Sedimen	Konsentrasi Merkuri (Hg)
						Sungai
1	R41	Hulu Sungai Waeapo	S 03°26'30.0" E126°55'41.5"	2	Berpasir	0,102
	R42			2.5		
	R43			2		
2	R51	Sungai Waeapo	S 03°22'32.7" E127°00'45.4"	2.5	Berpasir	0,005
	R52			2		
	R53			2		
3	R61	Sungai Waeapo	S 03°21'57.0" E127°01'23.7"	1	Berpasir	0,003
	R62			1,5		
	R63			1		
4	R71	Hilir Sungai Waeapo	S 03°19'34.1" E127°04'21.2"	4	Berpasir	0,032
	R72			3.5		
	R73			4		



Gambar 3. Konsentrasi merkuri pada DAS Waeapo

Dari hasil analisis konsentrasi merkuri, terlihat bahwa merkuri telah terdistribusi dalam Sungai Waeapo. Walaupun konsentrasi yang ditemukan masih di bawah batas standar merkuri dalam sedimen. Dengan demikian, Sungai Waeapo belum tercemar oleh merkuri pada saat ini. Namun, apabila aktivitas pertambangan terus berlangsung, maka sungai ini pun akan tercemar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Konsentrasi merkuri yang teranalisis pada beberapa lokasi pengambilan sampel pada Sungai Waeapo ditemukan konsentrasi merkuri sebesar 0,003 - 0,102 ppm.
2. Konsentrasi merkuri yang ditemukan pada Sungai Waeapo yang terdistribusi dari hulu hingga hilir sungai semakin rendah, sehingga sungai ini belum tercemar oleh merkuri. Namun, hal ini menjadi ancaman bagi daerah pertanian dan perikanan jika aktivitas pertambangan terus dilakukan secara bebas.

DAFTAR PUSTAKA

Appleton, J.D., Williams, T.M., Breward, N., Apostol, A., Miguel, J., dan Miranda, C., 1999. Mercury contamination associated with artisanal gold mining on the island of Mindanao, the Philippines. *The Science of The Total Environment*, 228: 95-109.

Covelli, S., Acquavita, A., Piani R., Predonzani, S., dan De Vittor, C., 2009. Recent contamination of mercury in an estuarine environment (Marano lagoon, Northern Adriatic, Italy). *Journal Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 82 : 273-284.

Delongchamp, T.M., Ridal, J.J., Lean, D.R.S., Poissant, L., dan Blais, J.M., 2010. Mercury transport between sediments and the overlying water of the St. Lawrence River area of concern near Cornwall, Ontario. *Journal Environmental Pollution*. 158 : 1487-1493.

Ekino, S., Susa M., Ninomya, T., Imamura, K., dan Kitamura, T., 2007. Minamata disease revisited: An update on the acute and chronic manifestations of methyl mercury poisoning. *Journal of the Neurological Sciences* 262 : 131-144

Inswiasri dan Martono, H., 2007. Pencemaran di wilayah tambang emas rakyat. *Jurnal Media Litbang Kesehatan*. 17 : 42-50.

Male, Y.T., Brushett, A.J.R., Pocock, M., dan Nanlohy, A., 2013. Recent mercury Contamination from artisanal gold mining on Buru Island, Indonesia – Potential future risks to environmental health. *Journal Marine Pollution Bulletin*. 77 : 428-433.

Mirda, Patadungan, Y.S., dan Isrun, 2013. Status Logam Berat Merkuri (Hg) dalam Tanah pada Kawasan Pengolahan Tambang Emas di Kelurahan Poboya, Kota Palu. *e-J. Agrotekbis* 1 (2): 127-134.

Polii, B.J., dan Sonya, D.N., 2002. Pendugaan Kandungan Merkuri dan Sianida di Daerah Aliran Sungai (DAS) Buyat Minahasa. *EKOTON* Vol. 2, No. 1: 31-37.

Sudarsono, A.S., 2003. *Pengantar Pengolahan dan Ekstraksi Bijih Emas*. Departemen Teknik Pertambangan Institut Teknologi Bandung.

Sugiyarto, K.H., dan Suyanti, R.D., 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Edisi Pertama. Penerbit Graha Ilmu Yogyakarta.

Susanna, T.S., dan Samin, 2007. Unjuk kerja metode uji total merkuri (Hg) dalam contoh bahan biologis menggunakan alat CV-AAS. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan –BATAN, Yogyakarta.

Vahter, M., Akesson, A., Liden, C., Ceccatelli, S., dan Berglund, M., 2007. Gender

- differences in the disposition and toxicity of metals. *Journal Environmental Research*. 104 : 85-95.
- Veiga, M.M., Nunes, D., Klein, B., Shandro, J.A., Velasquez, P.C., dan Sousa, R.N., 2009. Mill Leaching: a Viable Substitute for Mercury Amalgamation in the Artisanal Gold Mining Sector. *Journal of Cleaner Production* 17 : 1373-1381.
- Widowati, W., Sastiono, A., dan Rumampuk, R.J., 2008. *Efek Toksik Logam*. Edisi Pertama. Penerbit ANDI Yogyakarta.
- Zolnikov, T.R., 2012. Limitations in Small Artisanal Gold Mining Addressed by Educational Components Paired with Alternative Mining Methods. *Journal Science of the Total Environment* 419 : 1-6.